

М. Л. Дашкоў А. Г. Песнякевіч А. М. Галавач

# БІЯЛОГІЯ



11

М. Л. Дашкоў А. Г. Песнякевіч А. М. Галавач

# БІЯЛОГІЯ

Вучэбны дапаможнік для 11 класа  
ўстаноў агульнай сярэдняй адукацыі  
з беларускай мовай навучання  
(з электронным дадаткам  
для павышанага ўзроўню)

Пад рэдакцыяй *М. Л. Дашкова*

*Датушчана*  
*Міністэрствам адукацыі*  
*Рэспублікі Беларусь*

Мінск «Народная асвета» 2021

Правообладатель Народная асвета

УДК 57(075.3-161.3)  
ББК 28.0я721  
Д21

Пераклад з рускай мовы *К. І. Чэрнікавай*

Аўтары:

*М. Л. Дашкоў* (уводзіны, разд. 1, 3, 6, 8, прыклады рашэння задач, слоўнік асноўных тэрмінаў і паняццяў); *А. Г. Песнякевіч* (разд. 4, 5, 7); *А. М. Галавач* (разд. 1, 2, 3, 8)

Рэцэнзенты:

кафедра біялогіі ўстановы адукацыі «Беларускі дзяржаўны  
медыцынскі ўніверсітэт» (кандыдат біялагічных навук, дацэнт,  
загадчык кафедры *У. В. Давыдаў*); настаўнік біялогіі вышэйшай  
кваліфікацыйнай катэгорыі дзяржаўнай установы адукацыі  
«Гімназія № 146 г. Мінска» *Л. Р. Грыгор'ева*

Электронны дадатак для павышанага ўзроўню  
размешчаны на рэсурсе [profil.adu.by](http://profil.adu.by)

ISBN 978-985-03-3617-0

© Дашкоў М. Л., Песнякевіч А. Г.,  
Галавач А. М., 2021  
© Чэрнікава К. І., пераклад на беларускую мову, 2021  
© Афармленне. УП «Народная асвета»,  
2021

Правообладатель Народная асвета

## Дарагія сябры!

Раздзел школьнага курса біялогіі, які вывучаецца ў 10-м і 11-м класах, прысвечаны разгляду агульных заканамернасцей жывой прыроды. У гэтым навучальным годзе вы працягнеце знаёмства з найважнейшымі прыроднымі працэсамі і з’явамі, законамі існавання і ўзаемадзеяння біялагічных сістэм рознага ўзроўню арганізацыі.


Вы даведаецеся, як пабудаваны і функцыянуюць клеткі жывых арганізмаў, якія рэчывы ўваходзяць у іх састаў і ў чым заключаецца біялагічная роля гэтых злучэнняў. Вы пазнаёміцеся з няклетачнымі формамі жыцця, пашырыце свае ўяўленні пра працэсы жыццядзейнасці і механізмы іх рэгуляцыі. Таксама вы вывучыце заканамернасці эвалюцыі жывых арганізмаў, іх спадчыннасці і зменлівасці. Атрыманыя веды дапамогуць вам знайсці адказы на многія пытанні пра жывую прыроду, сфарміраваць цэласную навуковую карціну навакольнага свету, спатрэбіцца ў штодзённым жыцці.


Вучэбны дапаможнік уключае восем раздзелаў, падзеленых на параграфы. Кожны раздзел пачынаецца з кароткага ўступу і заканчваецца рубрыкай **ПАДВЯДЗЁМ ВЫНІКІ**, якая змяшчае асноўныя вынікі па дадзенай тэме.


Тэкст параграфаў уключае асноўны і дадатковы матэрыял. Самыя важныя тэрміны і паняцці вылучаны **тлустым шрыфтам**, іншыя адзначаны *курсівам*.



Дадатковы матэрыял адзначаны вертыкальнай лініяй. Ён дазваляе пашырыць, паглыбіць ці канкрэтызаваць веды, азнаёміцца з цікавымі біялагічнымі фактамі.

Тэкст параграфаў забяспечаны малюнкамі, схемамі і табліцамі, якія дапамогуць вам наглядна ўявіць біялагічныя аб’екты, абагульніць інфармацыю пра іх і лепш засвоіць матэрыял, які вывучаецца.


У канцы кожнага параграфа на каляровым фоне з піктаграмай  прыводзяцца кароткія вынікі. Гэта галоўная інфармацыя па вывучаемым матэрыяле, на якую трэба звярнуць асаблівую ўвагу.

Пасля кожнага параграфу прыводзяцца пытанні і заданні, абазначаныя піктаграмай . Некаторыя з іх адзначаны зорачкай (\*). Каб паспяхова справіцца з такімі пытаннямі і заданнямі, трэба асабліва пастарацца і ў шэрагу выпадкаў выкарыстаць веды, атрыманыя пры вывучэнні папярэдніх раздзелаў біялогіі ці іншых прадметаў.

Некаторыя параграфы змяшчаюць рубрыку «Мае біялагічныя даследаванні», якая абазначана піктаграмай . У ёй прапануюцца заданні, якія дапамогуць вам пашырыць круггляд і замацаваць матэрыял, які вывучаецца, на практыцы. Многія з гэтых заданняў вы зможце зрабіць дома. Для выканання некаторых з іх спатрэбіцца спецыяльнае абсталяванне (напрыклад, мікраскоп) ці рэактывы, работа з якімі патрабуе няўхільнага выканання правілаў тэхнікі бяспекі. Такія заданні рэкамендуецца рабіць у школе пад кіраўніцтвам настаўніка. Важна адзначыць, што выкананне заданняў рубрыкі «Мае біялагічныя даследаванні» не носіць абавязковага характару.

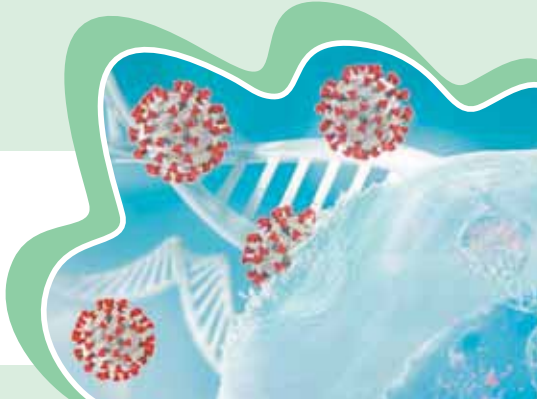
Электронны дадатак, які змяшчае матэрыялы для павышанага ўзроўню, знаходзіцца на нацыянальным адукацыйным партале (<http://profil.adu.by>). Зайсці на сайт можна з дапамогай QR-кода  .

Гэты дадатак таксама ўключае заданні рубрыкі «Мае біялагічныя даследаванні», перайсці да якіх вы можаце з дапамогай QR-кодаў, прыведзеных у вучэбным дапаможніку.

Пераход да матэрыялу павышанага ўзроўню адзначаны знакам .

У канцы вучэбнага дапаможніка прыведзены прыклады рашэння задач па розных тэмах, а таксама слоўнік асноўных тэрмінаў і паняццяў. Жадаем вам поспехаў у вывучэнні біялогіі!

*Аўтары*



# Уводзіны

Жывая прырода ўражвае разнастайнасцю форм. На планеце Зямля малюсенькія арганізмы, бачныя толькі з дапамогай мікраскопа, суседнічаюць з вялізнымі, памеры якіх складаюць дзясяткі метраў. Адно з іх сустракаюцца ў водным асяроддзі, другія — у наземна-паветраным, трэція ў якасці асяроддзя жыцця асвоілі глебу, а некаторыя жывуць у іншых арганізмах. Існуюць рухомыя і нерухомыя формы, адносна прымітыўна пабудаваныя і высокаарганізаваныя. Аднак, нягледзячы на такую разнастайнасць, усе жывыя арганізмы валодаюць агульнымі прыметамі і ўласцівасцямі.

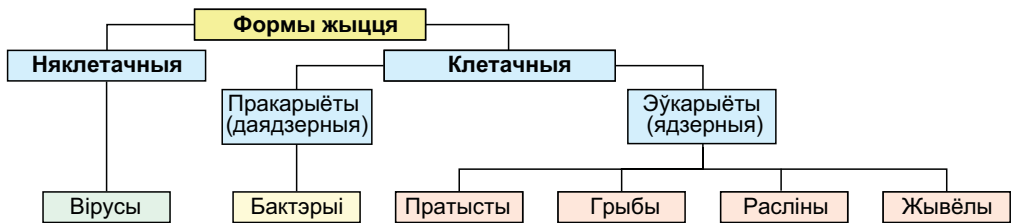
Вы ведаеце, што жывыя арганізмы маюць **адзіны хімічны састаў**, які адрознівае іх ад аб'ектаў нежывой прыроды, і **клетачную будову**. Абавязковай умовай існавання арганізма з'яўляецца **абмен рэчываў (метабалізм)**, які суправаджаецца **пераўтварэннем энергіі**. Да агульных уласцівасцей усяго жывога таксама належыць здольнасць да **самарэгуляцыі, размнажэння, росту і развіцця**.

Вам таксама вядома, што жывыя арганізмы рэагуюць на змяненні навакольнага асяроддзя. Напрыклад, хламідаманада з дапамогай святлоадчувальнага вочка ўспрымае святло і перамяшчаецца да больш асветленых участкаў вадаёма. У адказ на змяненне тэмпературы навакольнага асяроддзя адкрываюцца і закрываюцца кветкі цюльпана. Чалавек паварочвае галаву ў бок крыніцы нечаканага гуку. Гэта ўніверсальная ўласцівасць усяго жывога называецца **раздражняльнасцю**.

Пры вывучэнні біялогіі ў 10-м класе вы на мностве прыкладаў пераканаліся, што **прыстасаванасць да навакольнага асяроддзя** таксама з'яўляецца неад'емнай рысай жывых арганізмаў. Кожны з іх валодае шэрагам адаптацый, якія забяспечваюць выжыванне і размнажэнне ў тым ці іншым асяроддзі пражывання.

Пералік асаблівасцей жывых арганізмаў неабходна дапоўніць такімі ўласцівасцямі, як **спадчыннасць** і **зменлівасць**. Спадчыннасцю называюць здольнасць арганізмаў захоўваць свае прыметы і ўласцівасці і перадаваць іх патомству у нязменным выглядзе, а зменлівасцю — здольнасць набываць новыя прыметы і ўласцівасці.

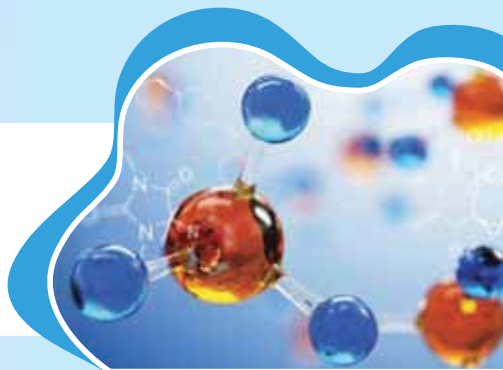
Як вы ведаеце, структурна-функцыянальнай адзінкай жывых арганізмаў з'яўляецца клетка. Яна валодае ўсімі прыметамі і ўласцівасцямі жывога. Ёсць арганізмы, прадстаўленыя адной клеткай, і тыя, у састаў якіх уваходзіць мноства клетак. У клетках пратыстаў, грыбоў, раслін і жывёл ёсць ядро. Гэта **ядзерныя** арганізмы, ці **эўкарыёты**. Клеткі бактэрый пазбаўлены ядра, такія арганізмы называюцца **даядзернымі** або **пракарыётамі**. Такім чынам, эўкарыёты і пракарыёты ўяўляюць сабой **клетачныя формы жыцця** (мал. 1).



Мал. 1. Няклетачныя і клетачныя формы жыцця

Аднак разам з арганізмамі, якія маюць клетачную будову, існуюць і **няклетачныя формы жыцця** — вірусы. Гэта паразіты, якія могуць функцыянаваць толькі ўнутры клетак пракарыёт ці эўкарыёт. Па-за клеткамі сваіх гаспадароў вірусы не праяўляюць прымет жывога, таму іх нельга адназначна аднесці да жывых арганізмаў. Гэтыя няклетачныя формы, вобразна кажучы, знаходзяцца на мяжы жывой і нежывой прыроды.

## Хімічныя кампаненты жывых арганізмаў



З курса біялогіі 10-га класа вы ведаеце, што жывая прырода ўяўляе сабой сукупнасць біялагічных сістэм рознага ўзроўню арганізацыі, аж да біясфернага. Аднак у аснове існавання і функцыянавання кожнай жывой сістэмы, якой бы складанай яна ні была, ляжыць узаемадзеянне малекул розных рэчываў — бялкоў, вугляводаў, ліпідаў, нуклеінавых кіслот і інш. Такім чынам, пачатковым узроўнем арганізацыі жыцця з'яўляецца **малекулярны**. Біялагічныя малекулы забяспечваюць захаванне, рэалізацыю і перадачу спадчыннай інфармацыі, абмен рэчываў, пераўтварэнне энергіі і іншыя працэсы жыццядзейнасці. Вывучэнне будовы і функцый біямалекул дапамагае зразумець з'явы, якія адбываюцца на наступных, больш высокіх узроўнях.

### § 1. Утрыманне хімічных элементаў у арганізме. Макра- і мікраэлементы

Жывыя арганізмы маюць асаблівы хімічны састаў, які адрознівае іх ад аб'ектаў нежывой прыроды. Гэта праяўляецца, перш за ўсё, у адрозненнях будовы і колькасных суадносін хімічных рэчываў. Аднак рэчывы, што ўваходзяць у састаў жывых арганізмаў, утвораны атамамі тых жа хімічных элементаў, з якіх складаюцца аб'екты нежывой прыроды. У жывых арганізмах масавая доля адных элементаў дасягае 10 % і больш, другіх змяшчаецца менш, а некаторыя прысутнічаюць у выключна малых колькасцях.

**Макраэлементы.** Хімічныя элементы, утрыманне якіх у жывых арганізмах складае больш за 0,01 %, называюцца **макраэлементамі**. У жывой прыродзе найбольш распаўсюджаны чатыры макраэлементы: кісларод (O), вуглярод (C), вадарод (H) і азот (N). Іх сумарная масавая доля перавышае 98 %. Гэтыя элементы з'яўляюцца асновай будовы арганічных злучэнняў. Акрамя гэтага, вадарод і кісларод уваходзяць у састаў вады.

Малекулы шмат якіх арганічных рэчываў таксама змяшчаюць атамы серы (S) і фосфару (P). Акрамя таго, да макраэлементаў належаць натрый (Na), калій (K), магній (Mg), кальцый (Ca) і хлор (Cl).



У чалавека ключавую ролю ў ажыццяўленні такіх працэсаў, як згусанне крыві, скарачэнне мышц, правядзенне нервовых імпульсаў і шмат якіх іншых, адыгрывае кальцый. Сумесна з фосфарам гэты макраэлемент забяспечвае нармальнае развіццё і функцыянаванне касцей і зубоў. У арганізме дарослага чалавека змяшчаецца прыблізна 1,7 кг кальцыю, прычым каля 99 % — у касцявой тканцы. Патрэбнасць у кальцыі залежыць ад узросту. Для дарослых людзей і дзяцей ва ўзросце ад 4 да 8 гадоў яна складае 800—1000 мг за суткі, а для падлеткаў — 1300 мг (падумаіце чаму). Даволі шмат кальцыю змяшчаецца ў малочных прадуктах, зерневых, бабовых, арэхах, капусце. Засваенню гэтага важнага элемента спрыяюць вітамін D (успомніце яго асноўныя крыніцы), малочны цукар — лактоза, а таксама ненасычаныя тлустыя кіслоты, на якія багатыя раслінныя алеі, рыба, авакада і інш.

**Мікраэлементы.** Хімічныя элементы, масавая доля якіх у жывых арганізмах не перавышае 0,01 %, належаць да **мікраэлементаў**. У склад гэтай групы ўваходзяць такія металы, як жалеза (Fe), цынк (Zn), медзь (Cu), марганец (Mn), кобальт (Co), а таксама неметалы фтор (F), ёд (I) і інш.

Мікраэлементы неабходны жывым арганізмам для ажыццяўлення найважнейшых біяхімічных і фізіялагічных працэсаў. Яны ўваходзяць у састаў многіх ферментаў, некаторых гармонаў, вітамінаў і іншых біялагічна актыўных рэчываў. Напрыклад, жалеза і медзь уваходзяць у састаў ферментаў, якія забяспечваюць клетачнае дыханне, а кобальт — у састаў вітаміну B<sub>12</sub>. Структурным кампанентам гармону *інсуліну* з'яўляецца цынк. Малекулы *трыёттыраніну* і *тыраксіну* (найважнейшых гармонаў шчытападобнай залозы, якія рэгулююць абмен рэчываў, рост і развіццё арганізма) змяшчаюць атамы ёду.

У арганізме дарослага чалавека змяшчаецца каля 20 мг ёду, з іх не менш за 60 % засяроджана ў шчытападобнай залозе. Сутачная патрэбнасць у ёдзе вызначаецца ўзрастам чалавека, яго фізіялагічным станам, масай цела і іншымі фактарамі. Для здаровага дарослага чалавека яна складае 0,15 мг.

Цікава, што гаючыя ўласцівасці ёду былі вядомы за некалькі тысяч гадоў да таго, як быў адкрыты гэты хімічны элемент. У кітайскім кодэксе 1567 г. да н. э. змяшчаліся рэкамендацыі па ўжыванні марскіх водарасцей, утрыманне ёду ў якіх можа дасягаць 1 %, для лячэння захворванняў шчытападобнай залозы.

Ступень важнасці таго ці іншага хімічнага элемента для арганізма не вызначаецца яго масавай доляй. Так, медзь, утрыманне якой у жывых арганізмах звычайна не перавышае 0,0002 %, і кобальт, масавая доля якога складае менш за 0,0001 %, абсалютна неабходны для працэсаў крывятворэння ў жывёл і сінтэзу хларафілу ў раслін.

Больш падрабязная інфармацыя пра ўтрыманне хімічных элементаў у жывых арганізмах і іх біялагічную ролю прыведзена ў табліцы 1.

Табліца 1. Біялагічна важныя хімічныя элементы

Элемент	Утрыманне, %*	Біялагічная роля
<b>Макраэлемэнты</b>		
Кісларод (O)	65—75	Уваходзіць у састаў большасці арганічных і шмат якіх неарганічных рэчываў. Забяспечвае клетачнае дыханне і іншыя акісляльныя працэсы, падчас якіх вылучаецца патрэбная арганізму энергія
Вуглярод (C)	15—18	З'яўляецца асновай будовы ўсіх арганічных рэчываў
Вадарод (H)	8—10	Уваходзіць у састаў вады і ўсіх арганічных рэчываў
Азот (N)	1,5—3	Уваходзіць у састаў шмат якіх арганічных рэчываў, у тым ліку бялкоў, нуклеінавых кіслот, АТФ
Кальцый (Ca)	0,04—2	З'яўляецца найважнейшым кампанентам касцявой тканкі і эмалі зубоў, забяспечвае скарачэнне мышцаў, удзельнічае ў згусанні крыві. У раслін уваходзіць у склад клетачнай сценкі
Фосфар (P)	0,2—1	Уваходзіць у састаў некаторых арганічных рэчываў (ДНК, РНК, АТФ, фосфаліпідаў і інш.), касцявой тканкі і эмалі зубоў
Калій (K)	0,15—0,4	Удзельнічае ў генерацыі нервовых імпульсаў, рэгулюе рытм сардэчнай дзейнасці. Таксама ўдзельнічае ў працэсе фотасінтэзу
Сера (S)	0,15—0,2	Уваходзіць у састаў некаторых арганічных рэчываў, напрыклад бялкоў. Удзельнічае ў фарміраванні прасторавай структуры бялковых малекул
Хлор (Cl)	0,05—0,1	Адыгрывае важную ролю ў водна-салавым абмене жывых арганізмаў. Уваходзіць у састаў страўнікавага соку жывёл
Натрый (Na)	0,02—0,03	Удзельнічае ў генерацыі нервовых імпульсаў, падтрымлівае нармальны рытм сардэчнай дзейнасці, уплывае на сінтэз гармонаў. Адыгрывае важную ролю ў водна-салавым абмене жывых арганізмаў
Магній (Mg)	0,02—0,03	Уваходзіць у састаў хларафілу, шмат якіх ферментаў, а таксама ў склад касцявой тканкі і эмалі зубоў

Элемент	Утрыманне, %*	Біялагічная роля
<b>Мікраэлементы</b>		
Жалеза (Fe)	0,01	Уваходзіць у састаў многіх ферментаў, гемаглабіну і міяглабіну. Удзельнічае ў працэсах клетачнага дыхання і фотасінтэзу
Цынк (Zn)	0,0003—0,0005	Уваходзіць у састаў інсуліну і многіх ферментаў. Прымае ўдзел у працэсах сінтэзу гармонаў раслін
Медзь (Cu)	0,0002	Удзельнічае ў працэсах фотасінтэзу і клетачнага дыхання, неабходна для сінтэзу хларафілу і гемаглабіну. Уваходзіць у састаў гемацыянінаў — дыхальных пігментаў крыві і гемалімфы некаторых беспазваночных жывёл
Фтор (F)	0,0001	Уваходзіць у састаў касцявой тканкі і эмалі зубоў
Ёд (I)	0,0001	Уваходзіць у састаў гармонаў шчытападобнай залозы
Марганец (Mn)	менш за 0,0001	Уваходзіць у састаў або павышае актыўнасць шэрага ферментаў. Удзельнічае ў працэсе фотасінтэзу
Кобальт (Co)	менш за 0,0001	Уваходзіць у састаў вітаміну B <sub>12</sub> , удзельнічае ў працэсах крывятворэння. Неабходны для сінтэзу хларафілу
* Утрыманне хімічных элементаў прыведзена не для запамінання		



Хімічныя элементы ў залежнасці ад утрымання ў жывых арганізмах падзяляюць на макраэлементы і мікраэлементы. Арганізмы больш чым на 98 % складаюцца з чатырох макраэлементаў: кіслароду, вугляроду, вадароду і азоту. Кожны хімічны элемент выконвае пэўныя біялагічныя функцыі. Масавая доля элемента не з'яўляецца паказальнікам ступені яго важнасці для арганізма.



1. Вызначце групу, у якой усе элементы належаць да макраэлементаў. У якой групе ўсе элементы належаць да мікраэлементаў?  
а) Жалеза, сера, кобальт; б) фосфар, магній, азот; в) натрый, кісларод, ёд; г) фтор, медзь, марганец.
2. Якія хімічныя элементы называюцца макраэлементамі? Пералічыце іх. Якое значэнне макраэлементаў для жывых арганізмаў?
3. Якія элементы складаюць групу мікраэлементаў? Прывядзіце прыклады. У чым заключаецца біялагічная роля мікраэлементаў?

4. Устанавіце адпаведнасць паміж хімічным элементам і яго біялагічнай функцыяй:

- |            |  |
|------------|--|
| 1) кальцый | а) удзельнічае ў сінтэзе гармонаў раслін, уваходзіць у састаў інсуліну |
| 2) магній  | б) уваходзіць у састаў гармонаў шчытападобнай залозы                   |
| 3) кобальт | в) з'яўляецца кампанентам хларафілу                                    |
| 4) ёд      | г) уваходзіць у састаў гемацыянінаў некаторых беспазваночных жывёл     |
| 5) цынк    | д) неабходны для мышачнага скарачэння і згусання крыві                 |
| 6) медзь   | е) уваходзіць у састаў вітаміну В <sub>12</sub>                        |

5\*. На аснове матэрыялу пра біялагічную ролю макра- і мікраэлементаў і ведаў, атрыманых пры вывучэнні арганізма чалавека ў 9-м класе, растлумачце, да якіх наступстваў можа прывесці недахоп тых ці іншых хімічных элементаў у арганізме чалавека.

6\*. У табліцы паказана ўтрыманне асноўных хімічных элементаў у зямной кары (па масе, у %). Параўнайце састаў зямной кары і жывых арганізмаў. Якія факты дазваляюць зрабіць выснову пра адзінства жывой і нежывой прыроды? У чым заключаюцца асаблівасці элементарнага саставу жывых арганізмаў і як іх можна растлумачыць?

Элемент	Утрыманне, %	Элемент	Утрыманне, %	Элемент	Утрыманне, %
Кісларод	49,13	Нагрый	2,4	Вуглярод	0,35
Крэмній	26	Магній	2,35	Хлор	0,2
Алюміній	7,45	Калій	2,35	Фосфар	0,125
Жалеза	4,2	Вадарод	1	Сера	0,1
Кальцый	3,25	Тытан	0,61	Азот	0,04



«ГУМАВІЯ» КОСЦІ  
ДАПАМОГА РАСЛІНАМ

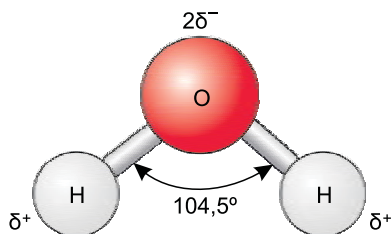


## § 2. Хімічныя злучэнні ў жывых арганізмах. Неарганічныя рэчывы

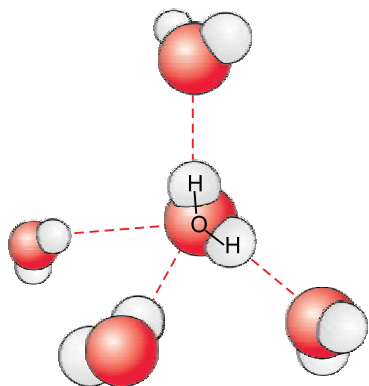
У састаў жывых арганізмаў уваходзяць разнастайныя хімічныя злучэнні, утвораныя атамамі розных элементаў. Ключавую ролю ў ажыццяўленні працэсаў жыццядзейнасці адыгрываюць *арганічныя* рэчывы — бялкі, вугляводы, ліпіды, нуклеінавыя кіслоты і інш., якія ў нежывой прыродзе практычна не сустракаюцца. Аднак не ўсе злучэнні, уласцівыя арганізмам, спецыфічныя толькі для жывой прыроды. Такія *неарганічныя* рэчывы, як вада, неарганічныя (мінеральныя) солі і кіслоты, шырока распаўсюджаны і ў нежывой прыродзе.

**Вада.** У колькасных адносінах першае месца сярод рэчываў, якія ўваходзяць у састаў жывых арганізмаў, займае вада. Яе масавая доля ў арганізмах у сярэднім складае 65—80 %. Колькасць вады неаднолькавая ў розных тканках і органах. Так, у сакавітых пладах раслін можа змяшчацца да 98 % вады, а ў зярняўках злакаў, насенні сланечніку, лёну, бабовых яе масавая доля складае 7—14 %. Плазма крыві, лімфа, тканкавая вадкасць, сакрэты большасці залоз жывёл больш чым на 90 % складаюцца з вады. У шкілетных мышцах чалавека масавая доля вады складае каля 76 %, а ў тлушчавай тканцы — прыблізна 30 %. З узростам утрыманне вады ў арганізме паступова зніжаецца.

З курса хіміі вы ведаеце, што ў малекуле вады ( $\text{H}_2\text{O}$ ) два атамы вадароду злучаны з атамам кіслароду кавалентнымі палярнымі сувязямі. Сувязі  $\text{H}-\text{O}-\text{H}$  размешчаны пад вуглом  $104,5^\circ$  адна да адной. Кісларод валодае большай электраадмоўнасцю, чым вадарод, таму атам кіслароду прыцягвае да сябе агульныя электронныя пары і набывае частковы адмоўны зарад. Атамы вадароду набываюць частковы дадатны зарад, г. зн. малекула вады з'яўляецца **палярнай** (мал. 2).



Мал. 2. Будова малекулы вады



Мал. 3. Вадародныя сувязі паміж малекуламі вады

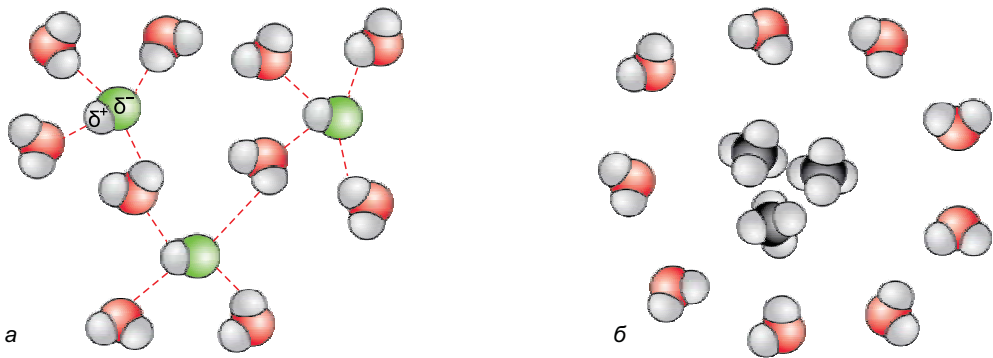
Паміж атамам кіслароду адной малекулы вады і атамам вадароду другой малекулы ўзнікае электростатычнае прыцягненне. Такое ўзаемадзеянне, больш слабае, чым іонная сувязь, называецца **вадароднай сувяззю**. Кожная малекула вады прыцягвае да сябе за кошт утварэння вадародных сувязей яшчэ чатыры малекулы (мал. 3).

Такім чынам, малекулы вады звязаны адна з адной. Таму вада пры тэмпературах ад  $0^\circ\text{C}$  да  $100^\circ\text{C}$  можа захоўваць вадкі агрегатны стан, у той час як падобныя ёй вадародныя злучэнні (напрыклад,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HF}$ ) з'яўляюцца газамі.

Роля вады ў жывых арганізмах звязана з яе ўласцівасцямі, перш за ўсё з малымі памерамі малекул, іх палярнасцю і здольнасцю ўтвараць вадародныя сувязі паміж сабой і з іншымі злучэннямі.

Дзякуючы палярнасці малекулы вады здольныя фарміраваць так званыя *гідратныя абалонкі* вакол іонаў і палярных малекул. Гэта спрыяе адсабленню часціц і перашкаджае іх склейванню адна з адной, што асабліва важна, напрыклад, для бялковых малекул.

Палярнасць малекул і здольнасць утвараць вадародныя сувязі робіць ваду **ўніверсальным растваральнікам для палярных рэчываў**, лепшым, чым большасць вадкасцей. У залежнасці ад ступені ўзаемадзеяння з малекуламі вады злучэнні дзеляць на гідрафільныя і гідрафобныя. **Гідрафільнымі** з'яўляюцца палярныя рэчывы, якія актыўна ўзаемадзейнічаюць з малекуламі вады за кошт утварэння шматлікіх вадародных сувязей, што і абумоўлівае іх добрую растваральнасць (мал. 4, а). Да гідрафільных злучэнняў належаць ніжэйшыя спірты і карбонавыя кіслоты, монацукрыды, дыцукрыды і інш. Непалярныя рэчывы з'яўляюцца **гідрафобнымі**, яны не фарміруюць вадародных сувязей з малекуламі вады і не раствараюцца ў ёй (мал. 4, б). Гэта вышэйшыя карбонавыя кіслоты, тлушчы і некаторыя іншыя злучэнні.



Мал. 4. Утварэнне вадародных сувязей паміж малекуламі вады і гідрафільнага рэчыва (а); адсутнасць такога ўзаемадзеяння з гідрафобным рэчывам (б)

Растварэнне рэчываў спрыяе павышэнню іх рэакцыйнай здольнасці, бо малекулы ці іоны атрымліваюць магчымасць больш свабодна перамяшчацца і ўзаемадзейнічаць адна з адной. Большасць хімічных рэакцый у жывых арганізмах працякае менавіта ў водных растворах. Такім чынам, у якасці растваральніка вада з'яўляецца асноўным асяроддзем працякання працэсаў абмену рэчываў — **метабалізму**. Акрамя таго, вада служыць сродкам транспарту раствараных у ёй рэчываў. Гэту функцыю яна выконвае, напрыклад, у саставе крыві, лімфы, тканкавай вадкасці, мачы і сакрэтаў залоз жывёл, у праводзячых тканках раслін.

Вада з'яўляецца ўдзельнікам многіх біяхімічных працэсаў, напрыклад фотасінтэзу. Кісларод, які вылучаецца ў ходзе фотасінтэзу, утвараецца пры расшчапленні малекул вады. Працэсы расшчаплення складаных арганічных рэчываў (бялкоў, поліцукрыдаў, ліпідаў і інш.) да больш простых злучэнняў з'яўляюцца рэакцыямі *гідролізу*, г. зн. працякаюць пры непасрэдным удзеле вады.

Вада практычна неспіскальная, што важна для падтрымання пругкасці клетак і тканак. Яна вызначае аб'ём клетак і **тургарны ціск** — ціск унутранага змесціва клеткі на яе абалонку. Неспіскальнасць вады дазваляе ёй выконваць функцыю гідрашкілета ў круглых і кольчатых чарвей.

Добрыя змазвальныя ўласцівасці вады спрыяюць памяншэнню трэння ў розных частках арганізма (успомніце ролю вадкасцей, якія змяшчаюцца ў плеўральнай поласці, калясардэчнай сумцы, поласцях сустаўных сумак чалавека).

Вада валодае *высокай цеплаёмкасцю*. Гэта значыць, што пры паглыннанні ці вылучэнні вялікай колькасці цеплаты тэмпература самой вады змяняецца нязначна. Таму нават рэзкія тэмпературныя ваганні ў навакольным асяроддзі не прыводзяць да істотнага змянення тэмпературы ўнутры арганізма.

Пры пераходзе вадкай вады ў стан пары адбываецца разбурэнне ўсіх вадародных сувязей паміж яе малекуламі, а гэта патрабуе значных выдаткаў энергіі. Таму выпарэнне вады суправаджаецца ахаладжэннем і выкарыстоўваецца жывымі арганізмамі для аховы ад перагрэву (потавыдзяленне ў млекакормячых, транспірацыя ў раслін).

Вада мае адносна *высокую* для вадкасцей *цеплаправоднасць*. Рух вады (цыркуляцыя крыві ў жывёл, узыходны і сыходны ток раствораў у раслін і г. д.) у спалучэнні з высокай цеплаправоднасцю спрыяе раўнамернаму размеркаванню цеплаты ў арганізме.

Найважнейшыя біялагічныя функцыі вады паказаны ў табліцы 2.

Табліца 2. Асноўныя функцыі вады ў жывых арганізмах

Функцыя	Тлумачэнне
Структурная	Уваходзіць у састаў усіх клетак, міжклетачнага рэчыва, унутранага асяроддзя арганізма, сакрэтаў залоз і г. д., надае пругкасць клеткам і тканкам, у некаторых жывёл выконвае функцыю гідрашкілета
Метабалічная	З'яўляецца асяроддзем працякання і ўдзельнікам біяхімічных рэакцый

## Працяг

Функцыя	Тлумачэнне
Транспартная	Спрыяе ўсмоктванню раствараных рэчываў, іх перамяшчэнню ў арганізме і вывадзенню канчатковых прадуктаў абмену рэчываў
Тэрмарэгулятарная	Удзельнічае ў рэгуляцыі цеплавога рэжыму арганізмаў

**Неарганічныя (мінеральныя) солі і кіслоты**, як і вада, уваходзяць у састаў усіх жывых арганізмаў. Іх агульнае ўтрыманне ў арганізмах параўнальна невялікае і звычайна не перавышае 1—1,5 %, аднак гэтыя рэчывы выконваюць важныя біялагічныя функцыі.

**Нерастваральныя солі** прымаюць удзел у пабудове розных апорных структур жывых арганізмаў, забяспечваючы іх трываласць. Напрыклад, карбанат кальцыю ( $\text{CaCO}_3$ ) з'яўляецца важным кампанентам ракавін малюскаў, панцыраў ракападобных, шкарлупін яек, шкілетаў каралавых паліпаў і інш. Фасфаты кальцыю складаюць аснову міжклетачнага рэчыва касцявой тканкі пазваночных жывёл. Цвёрдасць зубной эмалі абумоўлена наяўнасцю мінеральных солей, у састаў якіх уваходзіць кальцый, магній, фосфар і фтор. Шкілет некаторых пратыстаў утвораны сульфатам стронцыю ( $\text{SrSO}_4$ ).

**Растваральныя солі** пры ўзаемадзеянні з вадой дысацыіруюць, таму ў жывых арганізмах яны змяшчаюцца ў выглядзе іонаў. Утрыманне пэўных катыёнаў і аніёнаў унутры клетак, як правіла, значна адрозніваецца ад іх канцэнтрацыі ў пазаклетачным асяроддзі. Так, у клетках назіраецца дастаткова высокая канцэнтрацыя катыёнаў калію ( $\text{K}^+$ ) і нізкая — натрыю ( $\text{Na}^+$ ), а ў пазаклетачным асяроддзі — наадварот. Прычым утрыманне  $\text{K}^+$  у клетках і  $\text{Na}^+$  за іх межамі неаднолькавае. Гэта прыводзіць да ўзнікнення рознасці электрычных патэнцыялаў паміж унутраным і знешнім бакамі цытаплазматычнай мембраны, што неабходна для ўзбуджэння клетак, генерацыі і перадачы нервовых імпульсаў.

Запомніць асаблівасць размеркавання іонаў калію і натрыю дапаможа наступная фраза: «Калій ідзе ў Клетку, а Натрый — Наадварот».

Некаторыя іоны ўваходзяць у састаў ферментаў, вітамінаў і іншых біялагічна актыўных рэчываў. Напрыклад, іон  $\text{Co}^+$  — структурны элемент вітаміну  $\text{B}_{12}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  — хларафілу,  $\text{Fe}^{2+}$  уваходзіць у састаў гемаглабіну і г. д. Катыёны  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$  уплываюць на актыўнасць шэрага ферментаў і, значыць, адыгрываюць важную ролю ў рэгуляцыі абмена рэчываў. Іоны  $\text{NO}_3^-$  і  $\text{NH}_4^+$  з'яўляюцца крыніцамі атамаў азоту, іон  $\text{SO}_4^{2-}$  — атамаў серы, якія неабходны аўтатрофным арганізмам для сінтэзу амінакіслот.



*Неарганічныя кіслоты* таксама адыгрываюць важную біялагічную ролю. Напрыклад, саяная кіслата (HCl), якая ўваходзіць у састаў страўнікавага соку пазваночных жывёл, стварае ў страўніку кіслае асяроддзе. Гэта спрыяе знішчэнню хваробатворных мікраарганізмаў і актывацыі ферментаў страўнікавага соку. Астаткі фосфарнай кіслаты ўваходзяць у састаў фосфаліпідаў, нуклеатыдаў, АТФ. Фосфарная і вугальная кіслоты, а таксама аніёны гэтых кіслот удзельнічаюць у падтрыманні пэўнай кіслотнасці ўнутры клетак і ў пазаклетачным асяроддзі.

**Кіслотнасць асяроддзя.** Магчымасць працякання біяхімічных рэакцый, іх хуткасць і вынік шмат у чым залежаць ад **кіслотнасці асяроддзя**, г. зн. ад канцэнтрацыі іонаў вадароду ( $H^+$ ). Колькасна гэту велічыню выражаюць пры дапамозе **вадароднага паказчыка рН** (пэ-аш).

У водных растворах велічыня рН звычайна прымае значэнні ад 0 да 14. Нейтральнае асяроддзе характарызуецца значэннем  $pH = 7$ , у шчолачным асяроддзі рН больш за 7, у кіслым — менш за 7. Чым больш велічыня рН адрозніваецца ад 7, тым больш кіслым або шчолачным з'яўляецца раствор.

У цытаплазме клетак, як правіла, падтрымліваецца нейтральнае або слабашчолачнае асяроддзе ( $pH = 7,0-7,4$ ). Па-за клеткамі асяроддзе звычайна слабашчолачнае. Напрыклад, у плазме крыві чалавека велічыня рН у норме складае  $7,36-7,44$ . Аднак у розных частках арганізма, у розных біялагічных вадкасцях гэты паказчык можа моцна вар'іраваць.

У страўніку чалавека рэакцыя асяроддзя кіслая, а ў кішэчніку — шчолачная. У здаровых людзей пры нармальным пітным рэжыме і збалансаваным харчаванні рН мачы складае 5—6, але пры цяжкай фізічнай працы ці ўжыванні вялікай колькасці мясной ежы гэты паказчык зніжаецца. Малочна-раслінная дыета, наадварт, прыводзіць да таго, што рэакцыя мачы робіцца шчолачнай.



Сярод неарганічных рэчываў у саставе жывых арганізмаў найважнейшая роля належыць вадзе. Яе асноўнымі біялагічнымі функцыямі з'яўляюцца структурная, метабалічная, транспартная і тэрмарэгулятарная. Мінеральныя солі і кіслоты таксама адыгрываюць важную ролю ў працэсах жыццядзейнасці арганізмаў. На працяканне біяхімічных рэакцый уплывае канцэнтрацыя іонаў  $H^+$  — кіслотнасць асяроддзя.



1. Якія неарганічныя рэчывы ўваходзяць у састаў жывых арганізмаў?
2. Якія рэчывы называюць гідрафільнымі? Гідрафобнымі? Прывядзіце прыклады.
3. Ахарактарызуйце біялагічную ролю мінеральных солей і кіслот.

4. Колькі вады змяшчаецца ў жывых арганізмах і ад чаго гэта залежыць? Чаму расліны пры недахопе вады вянуць?

5. Як вы думаеце, чаму большасць палярных рэчываў добра раствараюцца ў вадзе, а непалярныя, як правіла, у ёй нерастваральныя?

6. Якія функцыі выконвае вада ў жывых арганізмах?

7\*. Як фізічныя і хімічныя ўласцівасці вады звязаны з яе біялагічнымі функцыямі?

8\*. Аніёны фосфарнай кіслаты забяспечваюць падтрыманне адносна пастаяннай канцэнтрацыі іонаў вадароду ўнутры клетак. У пазаклетачным асяроддзі гэту функцыю выконваюць вугальная кіслата і гідракарбанат-іон. Чаму гэтыя злучэнні дазваляюць падтрымліваць пэўную кіслотнасць асяроддзя, у той час як азотная і саянная кіслоты, а таксама іх аніёны, не валодаюць такімі ўласцівасцямі?



САМАРОВНЫ РН-ІНДЫКАТАР

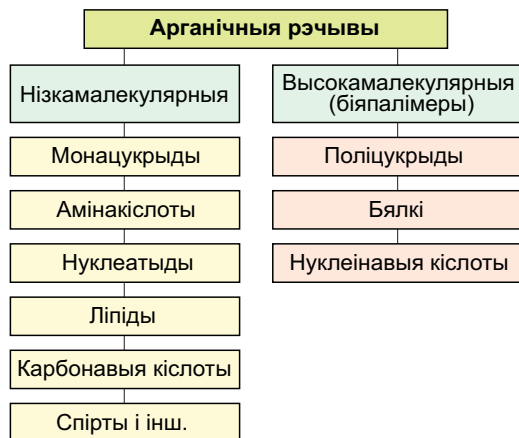


## § 3. Арганічныя рэчывы. Амінакіслоты. Бялкі

### *Нізкамалекулярныя і высокамалекулярныя арганічныя рэчывы.*

Неад'емным складальнікам усяго жывога з'яўляюцца арганічныя рэчывы, назва якіх паходзіць ад слова «арганізм». Гэтыя злучэнні забяспечваюць працяканне найважнейшых працэсаў жыццядзейнасці, і жыццё на Зямлі без іх удзелу немагчыма. Арганічныя рэчывы складаюць у сярэднім 20—30 % масы жывых арганізмаў. Іх малекулы складаюцца, галоўным чынам, з атамаў вугляроду, вадароду і кіслароду. У састаў многіх біялагічна важных арганічных злучэнняў уваходзяць і іншыя элементы. Напрыклад, малекулы бялкоў таксама змяшчаюць азот і серу, нуклеінавыя кіслоты — азот і фосфар.

**Нізкамалекулярныя** арганічныя рэчывы ахарактарызуюцца параўнальна невялікай малекулярнай масай і адносна простаай будовай. Гэта амінакіслоты, монацукрыды, нуклеатыды, карбонавыя кіслоты, спірты і да т. п. Складаныя па структуры злучэнні, малекулярная маса якіх складае ад некалькіх тысяч да мільёнаў, называюць **высокамалекулярнымі**. Да іх належаць бялкі, поліцукрыды і нуклеінавыя кіслоты. Малекулы гэтых рэчываў складаюцца з мноства звёнаў, якія паўтараюцца, — **манамераў**. Манамеры могуць быць аднолькавымі ці адрознівацца па саставе. З курса хіміі вы ведаеце, што такія злучэнні называюцца **палімерамі**. Манамерамі бялкоў з'яўляюцца амінакіслоты, манамерамі поліцукрыдаў — монацукрыды, малекулы нуклеінавых кіслот пабудаваны з нуклеатаўдаў (мал. 5, с. 18).



Мал. 5. Арганічныя рэчывы, якія ўваходзяць у састаў жывых арганізмаў

падобныя функцыі. Пры гэтым найбольшая разнастайнасць біялагічных функцый характэрна для бялкоў.

**Амінакіслоты** — *манамеры бялковых малекул*. Амінакіслоты — арганічныя злучэнні, якія змяшчаюць адначасова амінагрупу ( $-\text{NH}_2$ ), што валодае асноўнымі ўласцівасцямі, і карбаксільную групу ( $-\text{COOH}$ ), што праяўляе кіслотныя ўласцівасці. У саставе жывых арганізмаў выяўлены сотні амінакіслот, але ва ўтварэнні бялкоў удзельнічае толькі 20 з іх. Такія амінакіслоты называюць *бялокутваральнымі*, іх поўныя і скарачаныя назвы паказаны ў табліцы 3 (не для запамінання).

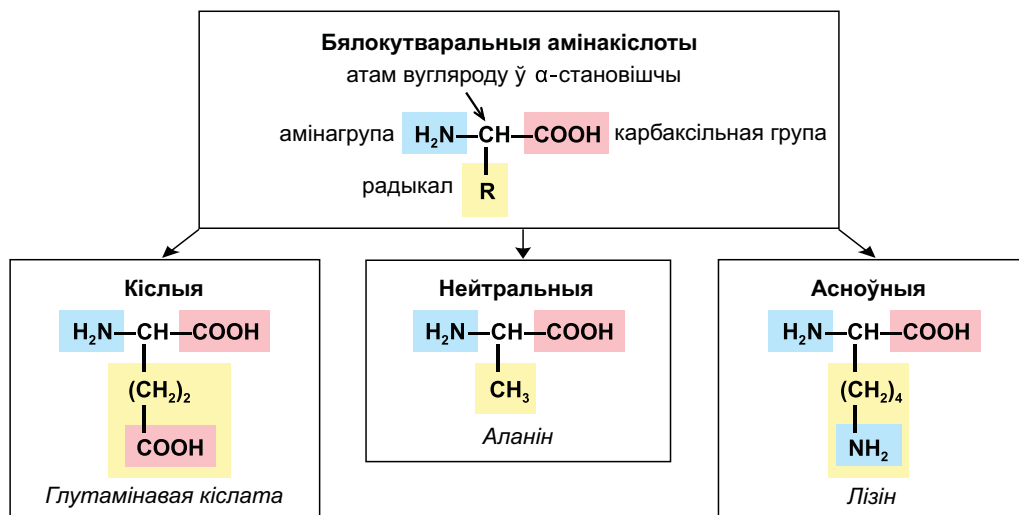
Табліца 3. Бялокутваральныя амінакіслоты

Амінакіслата	Скарачаная назва	Амінакіслата	Скарачаная назва
Аланін	Ала	Лейцын	Лей
Аргінін	Арг	Лізін	Ліз
Аспарагін	Асп	Метыянін	Мет
Аспарагінавая кіслата	Асп	Пралін	Пра
Валін	Вал	Серын	Сер
Гістыдзін	Гіс	Тыразін	Тыр
Гліцын	Глі	Трэанін	Трэ
Глутамін	Глн	Трыптафан	Трп
Глутамінавая кіслата	Глу	Фенілаланін	Фен
Ізалеўцын	Іле	Цыстэін	Цыс

Бялкі, поліцукрыды і нуклеінавыя кіслоты змяшчаюцца ў клетках усіх жывых арганізмаў і выконваюць выключна важныя біялагічныя функцыі, таму іх называюць **біялагічнымі палімерамі (біяпалімерамі)**.

З усіх груп арганічных рэчываў у клетках раслін пераважаюць поліцукрыды, а ў клетках жывёл — бялкі. Але нягледзячы на некаторыя адрозненні ў колькасных суадносінах тых ці іншых арганічных злучэнняў, рэчывы, якія належаць да пэўнай групы, ва ўсіх жывых арганізмаў выконваюць

У малекулах бялокутваральных амінакіслот амінагрупа і карбаксільная група далучаны да аднаго і таго ж атама вугляроду (г. зн. усе яны з'яўляюцца  $\alpha$ -амінакіслотамі). З гэтым жа атамам вугляроду злучаны радыкал (R), які ў кожнай амінакіслоты мае асаблівую будову і вызначае яе спецыфічныя ўласцівасці (мал. 6).



Мал. 6. Будова малекул бялокутваральных амінакіслот

Радыкалы амінакіслот могуць быць непалярнымі (гідрофобнымі) ці палярнымі (гідрофільнымі), змяшчаць розныя функцыянальныя групы. Напрыклад, радыкал серыну змяшчае гідраксільную групу ( $-\text{OH}$ ), радыкал цыстэіну — серазмяшчальную групу ( $-\text{SH}$ ). Некаторыя амінакіслоты маюць цыклічныя радыкалы. Усё гэта адыгрывае важную ролю ў фарміраванні прасторавай структуры бялкоў.

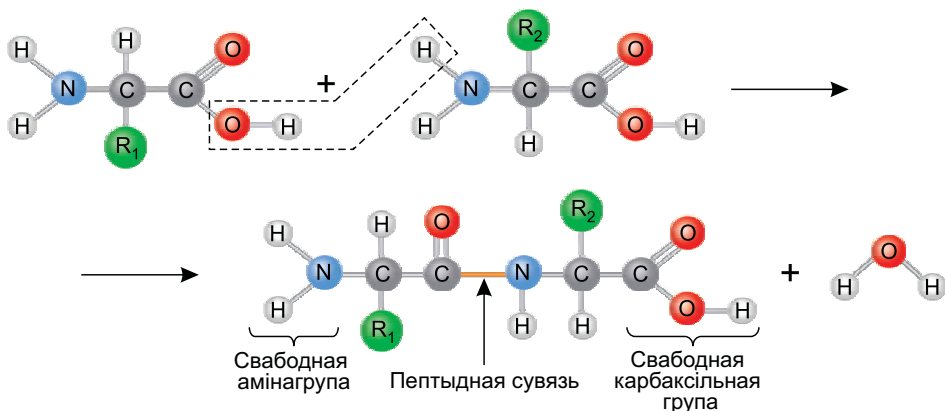
Малекулы большасці бялокутваральных амінакіслот змяшчаюць адну амінагрупу і адну карбаксільную групу — гэта *нейтральныя* амінакіслоты. Некаторыя амінакіслоты маюць дадатковыя аміна- ці карбаксільныя групы ў саставе радыкала. Такія амінакіслоты адпаведна называюцца *асноўнымі* або *кіслымі* (гл. мал. 6).

Аўтатрофныя арганізмы сінтэзуюць усе неабходныя ім амінакіслоты з прадуктаў фотасінтэзу і азотазмяшчальных неарганічных злучэнняў. Для гетэратрофных арганізмаў крыніцай амінакіслот з'яўляецца ежа. У арганізме чалавека і жывёл некаторыя амінакіслоты могуць сінтэзавацца з прадуктаў абмену рэчываў (у першую чаргу — з іншых амінакіслот). Такія амінакіслоты называюцца *замяняльнымі*. Іншыя ж, так

званыя *незамяняльныя* амінакіслоты, не могуць быць сінтэзаваны ў арганізме і таму павінны пастаянна паступаць у яго ў саставе бялкоў ежы.

Для чалавека *незамяняльнымі* амінакіслотамі з'яўляюцца: трыптафан, валін, лізін, ізалейцын, трэанін, фенілаланін, метыянін і лейцын. Запамінаць іх пералік неабавязкова, але пры жаданні можаце выкарыстаць мнеманічныя правілы (на рускай мове). Напрыклад: «Тры Падлеткі — ВАЛЯ, ЛІЗа і ЛЕНка ТРЭніраваліся з ФЕНам і МЕТалічнай ЛЕІйкай».

Наяўнасць адначасова амінагрупы і карбаксільнай групы абумоўлівае амфатэрнасць амінакіслот і іх высокую рэакцыйную здольнасць. Як вы памятаеце з курса хіміі, карбаксільная група ( $-\text{COOH}$ ) адной амінакіслаты можа ўзаемадзейнічаць з амінагрупай ( $-\text{NH}_2$ ) другой амінакіслаты. Пры гэтым ад карбаксільнай групы адшчапляецца група  $-\text{OH}$ , а ад амінагрупы — атам вадароду. У выніку вылучаецца малекула вады, а паміж атамамі вугляроду карбаксільнай групы і атамамі азоту амінагрупы ўзнікае кавалентная сувязь, якая называецца *пептыднай сувяззю* (мал. 7).



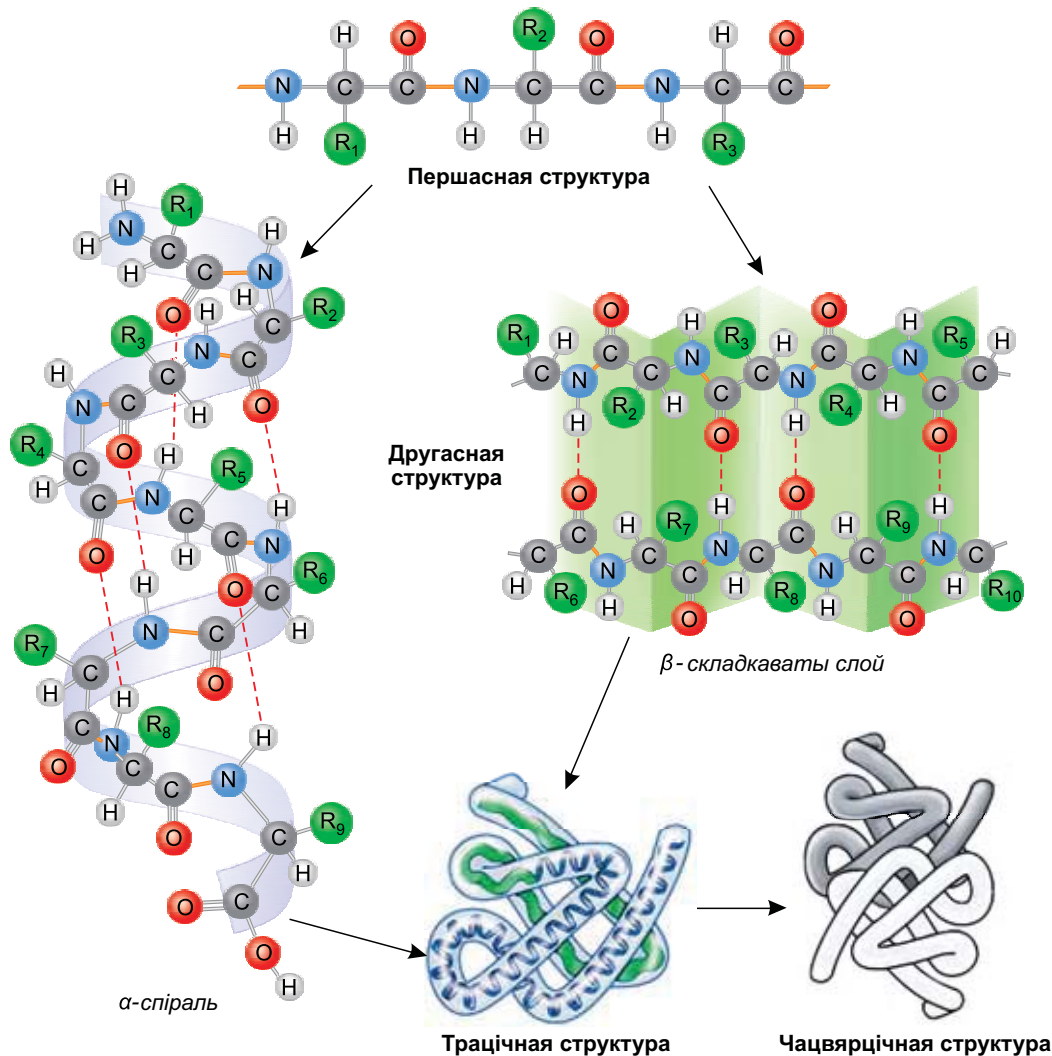
Мал. 7. Сінтэз дыпептыда

Так утвараецца *дыпептыд*, які мае на адным канцы свабодную амінагрупу, а на другім — свабодную карбаксільную групу. Дзякуючы любой з іх дыпептыд можа ўзаемадзейнічаць з наступнай амінакіслотай, утвараючы *трыпептыд* і г. д. Калі такім чынам злучаецца больш за 10 астаткаў амінакіслот, то ўтвараецца *поліпептыд*.

**Бялкі** — гэта поліпептыды, у састаў малекул якіх уваходзіць мноства астаткаў амінакіслот (да некалькіх тысяч). Бялкі адрозніваюцца колькасцю амінакіслотных звёнаў, іх саставам і паслядоўнасцю размяшчэння.

Пры гэтым кожны бялок мае асаблівы, уласцівы толькі яму парадак чаравання амінакіслот.

**Узроўні структурнай арганізацыі бялковых малекул.** Для таго каб бялок мог выконваць сваю біялагічную функцыю, яго малекула павінна мець пэўную прасторавую канфігурацыю. Адрозніваюць чатыры асноўныя ўзроўні арганізацыі бялковых малекул — першасную, другасную, трацічную і чацвярцічную структуры (мал. 8).



Мал. 8. Узроўні структурнай арганізацыі малекул бялкоў

**Першасная структура** бялку — гэта строга вызначаная паслядоўнасць амінакіслотных астаткаў у лінейным поліпептыдным ланцугу. Кожны бялок валодае ўнікальнай першаснай структурай. Яе існаванне абумоўлена наяўнасцю трывалых *пептыдных* сувязей паміж астаткамі амінакіслот. Усе наступныя, больш складаныя структуры фарміруюцца на аснове першаснай. Таму змяненне першаснай структуры (напрыклад, замена адных амінакіслотных астаткаў на іншыя) прыводзіць да змянення формы малекулы, уласцівасцей і функцый бялку.

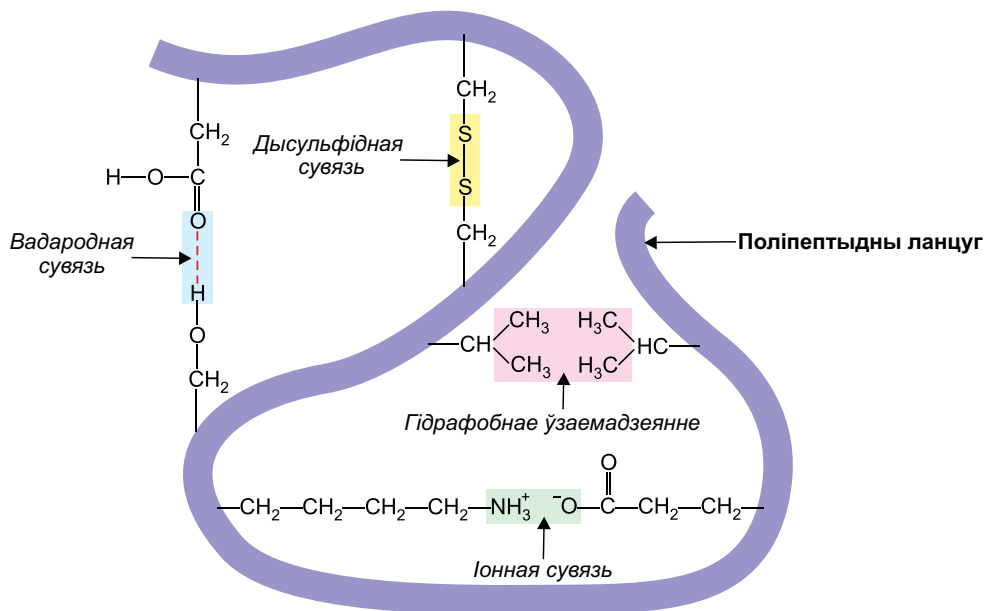
**Другасная структура** бялку фарміруецца за кошт утварэння шматлікіх *вадародных* сувязей паміж атамамі вадароду NH-груп і атамамі кіслароду CO-груп розных амінакіслотных астаткаў. Нягледзячы на тое што гэтыя сувязі слабейшыя за кавалентныя, іх колькасць забяспечвае стабільнасць другаснай структуры.

Часцей за ўсё вадародныя сувязі ўзнікаюць унутры аднаго поліпептыднага ланцуга паміж блізка размешчанымі астаткамі амінакіслот, што прыводзіць да закручвання гэтага ланцуга ў так званую  *$\alpha$ -спіраль*.

Часам вадародныя сувязі ўзнікаюць паміж адносна аддаленымі адзін ад аднаго ўчасткамі поліпептыднага ланцуга (або некалькіх розных ланцугоў). Пры гэтым дадзеныя ўчасткі размяшчаюцца паралельна адзін аднаму і складаюцца накшталт гармоніка. Такі тып другаснай структуры атрымаў назву  *$\beta$ -складкаваты слоі* (гл. мал. 8).

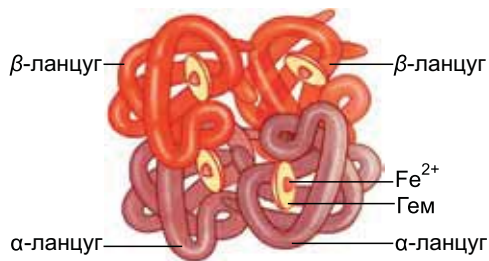
Некаторыя бялкі маюць другасную структуру, прадстаўленую толькі  *$\alpha$ -спіраллю* ці  *$\beta$ -складкаватым слоём*. Напрыклад, цалкам  *$\alpha$ -спіральную* канфігурацыю мае *керацін* — асноўны бялок валасоў і нагцей чалавека, а другасная структура *фібраіну* (бялку натуральнага шоўку) прадстаўлена выключна  *$\beta$ -складкаватым слоём*. У структуры многіх бялкоў адны ўчасткі маюць выгляд  *$\alpha$ -спіралі*, а іншыя —  *$\beta$ -складкаватага слоя*.

Фарміраванне **трацічнай структуры** забяспечваюць *вадародныя, іонныя* і іншыя сувязі, якія ўзнікаюць паміж рознымі групамі атамаў бялковай малекулы. У водным асяроддзі малекула бялку асаблівым чынам укладваецца ў прасторы, набываючы кампактную форму. Пры гэтым гідрафобныя амінакіслотныя радыкалы апускаюцца ўнутр бялковай малекулы і прыцягваюцца адзін да аднаго — такое прыцягненне называецца *гідрафобным узаемадзеяннем*. Гідрафільныя ўчасткі поліпептыду, наадварот, размяшчаюцца на паверхні і ўзаемадзеіваюць з малекуламі вады. У многіх бялкоў ва ўтварэнні трацічнай структуры ўдзельніваюць кавалентныя *дысульфідныя* сувязі (S—S сувязі), якія ўзнікаюць паміж астаткамі амінакіслаты цыстэіну (мал. 9). Трацічная структура кожнага бялку мае асаблівую, непаўторную прасторавую канфігурацыю.



Мал. 9. Сувязі, якія стабілізуюць трацічную структуру бялку

Многія бялкі здольныя выконваць свае біялагічныя функцыі, валодаючы трацічнай структурай. Але некаторым бялкам для гэтага неабходна аб'яднанне ў адзіны комплекс дзвюх ці больш малекул, якія маюць трацічную структуру. Так узнікае **чацвярцічная структура** бялку. Малекулы, якія ўваходзяць у яе састаў, могуць быць аднолькавымі ці рознымі. Яны ўтрымліваюцца разам дзякуючы розным відам некавалентных сувязей — *вадародным, іонным, гідрофобным узаемадзеянням* і інш. У некаторых бялках, напрыклад імунаглабулінах, да мноства такіх сувязей дабаўляюцца некалькі кавалентных дысульфідных. Прыкладам бялку, які мае чацвярцічную структуру, можа служыць *гемаглабін* (мал. 10).



Мал. 10. Чацвярцічная структура гемаглабіну

У састаў гемаглабіну чалавека ўваходзяць чатыры поліпептыдныя ланцугі двух розных тыпаў: два  $\alpha$ -ланцугі (змяшчаюць па 141 амінакіслотным астатку) і два  $\beta$ -ланцугі (па 146 астаткаў). Кожны ланцуг фарміруе спецыяльную гідрофобную кішэнь, у якой размяшчаецца кампанент небялкавай прыроды — гем. Цэнтральную частку гема займае іон  $\text{Fe}^{2+}$ .





Арганічныя рэчывы жывых арганізмаў прадстаўлены як нізкамалекулярнымі злучэннямі, так і высокамалекулярнымі — біяпалімерамі. Бялкі — біяпалімеры, утвораныя астаткамі амінакіслот. Калі амінакіслоты злучаюцца пептыднымі сувязямі, яны ўтвараюць поліпептыдны ланцуг — першасную структуру бялку. На яе аснове фарміруюцца больш складаныя прасторавыя структуры — другасная, трацічная, чацвярцічная.



1. Якія з прыведзеных рэчываў з'яўляюцца біялагічнымі палімерамі? Якія рэчывы з'яўляюцца манамерамі для пабудовы малекул біяпалімераў?

Амінакіслоты, нуклеінавыя кіслоты, поліцукрыды, нуклеатыды, бялкі, монацукрыды.

2. Якія функцыянальныя групы характэрныя для ўсіх амінакіслот? Якімі ўласцівасцямі валодаюць гэтыя групы?

3. Колькі амінакіслот удзельнічае ва ўтварэнні прыродных бялкоў? Назавіце агульныя рысы будовы гэтых амінакіслот. Чым яны адрозніваюцца?

4. Як адбываецца злучэнне амінакіслот у поліпептыдны ланцуг?

5. Ахарактарызуйце ўзроўні структурнай арганізацыі бялкоў. Якія хімічныя сувязі абумоўліваюць існаванне і стабільнасць першаснай, другаснай, трацічнай і чацвярцічнай структур бялкоў?

6\*. Пабудуйце дыпептыд, які мае структуру Ліз—Ала, і трыпептыд Глу—Ала—Ліз. Разлічыце малекулярныя масы гэтых пептыдаў. Для выканання задання выкарыстоўвайце структурныя формулы амінакіслот, паказаныя на малюнку 6.

7\*. Для раздзялення сумесі бялкоў на кампаненты выкарыстоўваецца метадад электрафарэзу: у гелі пэўнай шчыльнасці пад дзеяннем электрычнага поля розныя бялковыя малекулы перамяшчаюцца з рознай хуткасцю. У выніку гэтага аднолькавыя малекулы канцэнтруюцца ў пэўным участку геля. Як вы думаеце, чаму так адбываецца?



БІЎРЭТАВАЯ РЭАКЦЫЯ — ЯКАСНАЯ РЭАКЦЫЯ  
НА ПЕПТЫДНЫЯ СУВЯЗІ



## § 4. Уласцівасці і функцыі бялкоў

**Разнастайнасць і ўласцівасці бялкоў.** У залежнасці ад саставу адрозніваюць простыя і складаныя бялкі. Малекулы **простых** бялкоў пабудаваны толькі з амінакіслотных астаткаў. У састаў **складаных** бялкоў, акрамя таго, уваходзіць які-небудзь кампанент неамінакіслотнай прыроды. Напрыклад, у *глікапратэінах* ён прадстаўлены вугляводам, у *ліпапратэінах* — ліпідам і г. д.

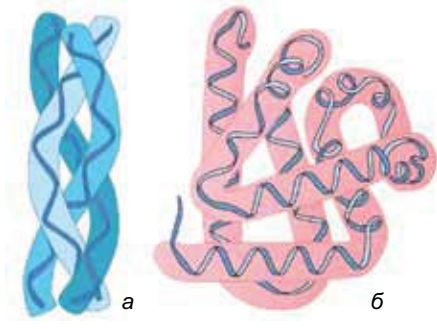


Па форме малекул вылучаюць дзве групы бялкоў — фібрылярныя і глабулярныя. **Фібрылярнымі** называюць бялкі, малекулы якіх

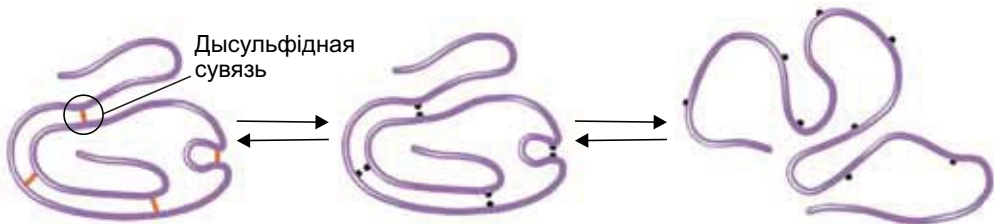
маюць выцягнутую, ніткападобную форму (мал. 11). Гэта, напрыклад, *калаген*, *керацін*, *міязін*. Малекулы **глабулярных** бялкоў маюць акруглую форму. Да гэтай групы належаць *альбуміны* і *глабуліны* крыві, *гемаглабін* і інш.

Многія бялкі добра раствараюцца ў вадзе, аднак сярод іх ёсць і нерастваральныя — *керацін*, *фібрын* і інш. Вядома, што глабулярныя бялкі ў асноўным з'яўляюцца водарастваральнымі, а фібрылярныя, як правіла, у вадзе не раствараюцца.

Бялкі адчувальныя да знешніх уздзеянняў: змяненне хімічнага саставу асяроддзя, тэмпературы і іншых фактараў выклікае змяненне іх структуры і ўласцівасцей. Дзеянне высокіх і нізкіх тэмператур, моцных кіслот і шчолачаў, іонаў цяжкіх металаў, ультрафіялетавага выпраменьвання, радыяцыі вядзе да разбурэння сувязей, якія стабілізуюць прасторавую канфігурацыю бялкоў. У выніку разрыву вадародных, іонных, дысульфідных і іншых сувязей бялок можа паслядоўна страціць сваю чацвэрцічную, трацічную і нават другасную структуру. Працэс парушэння прыроднай структуры бялку пад уплывам знешніх фактараў без разбурэння яго першаснай структуры называецца **дэнатурацыяй** (мал. 12).



Мал. 11. Будова малекул фібрылярнага (а) і глабулярнага (б) бялкоў



Мал. 12. Дэнатурацыя і рэнатурацыя бялку

Прасторавая структура бялку вызначае яго фізіка-хімічныя ўласцівасці і біялагічныя функцыі. Таму дэнатурацыя прыводзіць не толькі да змянення памераў і формы малекул бялку, але і яго ўласцівасцей, напрыклад растваральнасці. Непалярныя гідрафобныя групы, якія размяшчаліся ўнутры малекулы, аказваюцца на яе паверхні, і бялок становіцца менш гідрафільным. Важна тое, што ў выніку дэнатурацыі бялкі губляюць здольнасць выконваць свае функцыі.

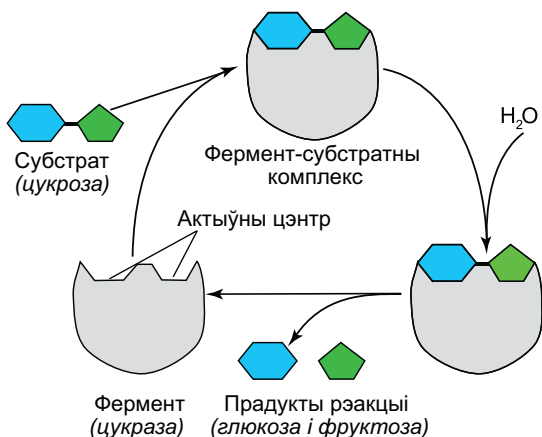


Ступень дэнатурацыі бялку залежыць ад сілы ўздзеяння на яго розных фактараў: чым больш інтэнсіўнае іх дзеянне, тым глыбей дэнатурацыя. У шэрагу выпадкаў яна становіцца незваротнай. Аднак калі фактар, які выклікаў дэнатурацыю, дзейнічаў недоўгачасова, то пасля спынення яго ўздзеяння бялок можа аднавіць сваю прыродную структуру, уласцівасці і функцыі. Такая з'ява называецца **рэнатурацыяй**. Разгорнуты поліпептыдны ланцуг здольны самаадвольна аднавіць другую структуру, а затым укласціся ў трацічную. Гэта азначае, што прасторавая канфігурацыя бялку вызначаецца яго першаснай структурай, г. зн. паслядоўнасцю амінакіслотных астаткаў. Калі ж уздзеянне на бялок было занадта моцным і прывяло да разрыву пептыдных сувязей, вяртанне бялковай малекулы да зыходнай структуры становіцца немагчымым.

**Функцыі бялкоў.** Бялкі выконваюць разнастайныя біялагічныя функцыі — структурную, транспартную, рэгулярную і многія іншыя. Пры гэтым адной з самых важных функцый бялкоў у жывых арганізмах з'яўляецца **каталітычная (ферментатыўная)**.

З курса хіміі вы ведаеце, што рэчывы, якія павышаюць хуткасць хімічных рэакцый, называюцца каталізатарамі. **Ферменты** — гэта бялкі, якія выконваюць функцыі біялагічных каталізатараў, г. зн. паскараюць праходжанне хімічных рэакцый у жывых арганізмах. Без іх удзелу біяхімічныя працэсы адбываліся б занадта павольна ці не адбываліся б наогул. Ферменты ажыццяўляюць расшчапленне і сінтэз розных злучэнняў, забяспечваючы працяканне абмену рэчываў. Практычна ўсе працэсы жыццядзейнасці абумоўлены ферментатыўнымі рэакцыямі.

Ферменты паскараюць хімічныя рэакцыі за кошт цеснага ўзаемадзеяння з малекуламі **субстратаў** — зыходных рэчываў, якія рэагуюць.



Мал. 13. Схема работы ферменту

З субстратам (ці субстратамі) узаемадзейнічае не ўся малекула ферменту, а толькі невялікі яе ўчастак — **актыўны цэнтр**. Часцей за ўсё ён утвораны некалькімі амінакіслотнымі астаткамі. Актыўны цэнтр кожнага ферменту мае асаблівую форму і хімічную будову, таму з ім могуць звязацца толькі пэўныя субстраты (мал. 13).

Далучэнне субстрату выклікае невялікія змяненні канфігурацыі актыўнага цэнтра — такія, каб максімальна адпавядаць субстрату. Функ-

цыянальна актыўныя групы ферменту, за кошт якіх будзе працякаць рэакцыя, найбольш спрыяльным чынам размяшчаюцца ў прасторы. Вобразна кажучы, актыўны цэнтр падладжваецца пад субстрат як пальчатка, якую надзяваюць на руку.

У выніку далучэння да актыўнага цэнтра малекула субстрату асаблівым чынам размяшчаецца ў прасторы, і ў яе структуры аслабляюцца пэўныя хімічныя сувязі. Рэакцыйная здольнасць субстрату ўзрастае. Таму, у параўнанні з некаталізаванай рэакцыяй, ферментатыўнае ператварэнне субстрату ў прадукт (ці прадукты) адбываецца з меншымі затратамі энергіі і значна большай хуткасцю. Утвораныя прадукты аддзяляюцца ад актыўнага цэнтра. Пасля гэтага ён можа прымаць новыя малекулы субстрату.

Падабенства ферментаў да звычайных хімічных каталізатараў працягваецца ў тым, што і тыя і другія павялічваюць хуткасць рэакцыі, але пры гэтым не расходуюцца і могуць выкарыстоўвацца шматразова.

У адрозненне ад звычайных хімічных каталізатараў ферменты валодаюць *спецыфічнасцю*, г. зн. кожны фермент паскарае толькі адну пэўную рэакцыю ці дзейнічае толькі на адзін тып сувязі. Гэта асаблівасць тлумачыцца адпаведнасцю актыўнага цэнтра ферменту пэўным субстратам. Ферменты працуюць значна хутчэй (яны паскараюць рэакцыі ў мільёны і мільярды разоў, а неарганічныя каталізатары — у сотні і тысячы разоў), таму нават у вельмі малых канцэнтрацыях ферменты забяспечваюць інтэнсіўнае працяканне каталізаваных рэакцый.

У ходзе некаторых акісляльна-аднаўленчых працэсаў, якія праходзяць у жывых арганізмах, утвараецца таксічнае для клетак злучэнне — пераксід вадароду ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Без удзелу каталізатараў яго расщачленне ідзе вельмі павольна:  $2\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ . Вы ведаеце, што ў лабараторыі пры правядзенні гэтай рэакцыі звычайна выкарыстоўваюць неарганічны каталізатар, напрыклад аксід марганцу ( $\text{MnO}_2$ ). У яго прысутнасці расщачленне  $\text{H}_2\text{O}_2$  адбываецца значна хутчэй. У жывых арганізмах пад дзеяннем ферменту *каталазы* гэты працэс працякае з дзіўна высокай хуткасцю: адна малекула каталазы расщачпляе за 1 с каля 200 000 малекул  $\text{H}_2\text{O}_2$ !

Ферменты з'яўляюцца бялкамі, таму актыўна працуюць толькі ў пэўным дыяпазоне рН, тэмпературы і іншых фактараў. Напрыклад, фермент страўнікавага соку *пепсін* актыўны толькі ў кіслым асяроддзі, а ферменты сліны *амілаза* і *мальтаза* — у слабащчолачным. У дыяпазоне 0—40 °С павышэнне тэмпературы прыводзіць да паскарэння ферментатыўных рэакцый. Але пры далейшым павелічэнні тэмпературы рэакцыі, якія каталізуюцца большасцю ферментаў, запавольваюцца,



§4-1

а затым і зусім спыняюцца. Значнае павышэнне тэмпературы, змяненне кіслотнасці асяроддзя і іншых фактараў прыводзіць да дэнатурацыі ферментаў, у выніку чаго яны губляюць здольнасць звязвацца са сваімі субстратамі.

Акрамя каталітычнай, бялкі выконваюць і іншыя важныя функцыі (табл. 4).

Табліца 4. Асноўныя функцыі бялкоў у жывых арганізмах

Функцыя	Тлумачэнне і прыклады
Каталітычная (ферментатыўная)	З'яўляюцца біялагічнымі каталізатарамі — павялічваюць хуткасць праходжання біяхімічных рэакцый, чым забяспечваюць расшчапленне і сінтэз розных злучэнняў. Напрыклад, стрававальныя ферменты <i>ліпазы</i> паскараюць расшчапленне ліпідаў, <i>амілаза</i> і <i>мальтаза</i> — вугляводаў, <i>пепсін</i> і <i>трыпсін</i> — бялкоў
Структурная	Уваходзяць у састаў усіх кампанентаў клетак і розных паза-клеткавых структур. Напрыклад, <i>керацін</i> — асноўны кампанент валасоў, пазногцяў, кіпцюроў, капытоў, рагоў, пёраў. <i>Эласцін</i> уваходзіць у састаў сценак артэрыяў, звязак і інш., <i>калаген</i> — у састаў скуры, сухажылляў, касцявой, храстковай і іншых тканак
Транспартная	Пераносяць розныя рэчывы ад адных клетак і тканак да другіх, забяспечваюць іх паступленне ў клеткі, вывядзенне з клетак, а таксама працэсы ўнутрыклетачнага транспарту. Напрыклад, дыхальны пігмент <i>гемаглабін</i> пераносіць кісларод і вуглякіслы газ у крыві пазваночных жывёл, а ў многіх малюскаў і ў шэрагу членістаногіх гэту функцыю выконвае <i>гемацыянін</i>
Скарачальная (рухальная)	Прымаюць удзел ва ўсіх відах руху, да якіх здольныя клеткі і арганізмы. Напрыклад, бялкі <i>акцін</i> і <i>міязін</i> забяспечваюць скарачальнасць гладкай і папярочнапаласатай мышачных тканак
Рэгулятарная	Рэгулююць працяканне розных фізіялагічных працэсаў. Напрыклад, гармоны <i>інсулін</i> і <i>глюкагон</i> рэгулююць узровень глюкозы ў крыві. Працэсы росту і фізічнага развіцця чалавека працякаюць пад кантролем гармону <i>самата-трапіну</i>

## Працяг

Функцыя	Тлумачэнне і прыклады
Сігнальная (рэцэптарная)	Некаторыя мембранныя бялкі ў адказ на дзеянне пэўных хімічных рэчываў ці раздражняльнікаў іншай прыроды змяняюць сваю канфігурацыю. Гэта прыводзіць да змянення працякання тых ці іншых унутрыклетачных працэсаў. Такім чынам, рэцэптарныя бялкі забяспечваюць прыём знешніх сігналаў і рэакцыі клетак у адказ на гэтыя сігналы. Напрыклад, зрокавыя пігменты вока — <i>радасін</i> (змяшчаецца ў палачках) і <i>ёдапіны</i> (у колбачках) — забяспечваюць успрыманне святла фотарэцэптарнымі клеткамі, іх узбуджэнне і запуск нервовага імпульсу
Ахоўная	<i>Тромбапластын</i> , <i>трамбін</i> і <i>фібрынаген</i> забяспечваюць згусанне крыві, ахоўваючы арганізм ад страты крыві. <i>Імунаглабуліны (антыцелы)</i> удзельнічаюць у імунным адказе арганізма на чужародныя аб'екты — антыгены. <i>Лізацым</i> , які змяшчаецца ў сліне, слёзнай вадкасці і інш., валодае антыбактэрыяльнымі ўласцівасцямі
Таксічная	Таксіны, што вылучаюць многія бактэрыі ( <i>дыфтэрыійны</i> , <i>батулінавы</i> , <i>слупняковы</i> , <i>халерны</i> і інш.), па хімічнай прыродзе з'яўляюцца бялкамі. Дзеючыя рэчывы ў саставе ядаў змей, некаторых павукоў, скарпіёнаў і насякомых таксама ўяўляюць сабой бялкі
Запасальная	Назапашваюцца ў якасці крыніцы амінакіслот (напрыклад, рэзервовыя бялкі, якія адкладаюцца ў насенні раслін) ці забяспечваюць назапашванне іншых рэчываў. Так, <i>мяглабін</i> адыгрывае важную ролю ў стварэнні кіслароднага запасу ў мышачных валокнах
Энергетычная	Пасля гідролізу да амінакіслот могуць далей расшчапляцца і акісляцца з вызваленнем энергіі. Пры поўным акісленні 1 г бялку вылучаецца 17,6 кДж энергіі. Аднак бялкі выкарыстоўваюцца ў якасці крыніцы энергіі толькі ў крайніх выпадках, калі заканчваюцца запасы вугляводаў і тлушчаў



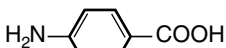
У павукоў аснову павуціны складае бялок спідраін. Сакрэт павуцінавых залоз выводзіцца вонкі ў вадкім выглядзе. Пасля гэтага структура спідраіну змяняецца, і ён зацвердзяе ў выглядзе тонкіх нітак. У іх саставе ўчасткі β-складкаватага слоя чаргуюцца з эластычнымі поліпептыднымі звязкамі. Дзякуючы гэтаму павуціна валодае адначасова высокай трываласцю і эластычнасцю. Яна рвецца толькі пры расцягванні ў 5 разоў. Па трываласці павуціну можна супаставіць са сталлю, але пры гэтым яе шчыльнасць у 6 разоў меншая, чым у сталі. Калі б павук стварыў нітку даўжынёй з зямны экватар, яна мела б масу, меншую за 500 г.



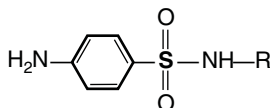
Паводле саставу адрозніваюць простыя і складаныя бялкі, у залежнасці ад формы малекул — фібрылярныя і глабулярныя. Пад уздзеяннем шэрага фактараў бялкі могуць дэнатураваць — губляць сваю прыродную структуру, што вядзе да страты біялагічнай актыўнасці. У жывых арганізмах бялкі выконваюць выключна важныя функцыі: каталітычную (ферментатыўную), структурную, транспартную, скарачальную, рэгулярную, сігнальную, ахоўную і інш.



1. Чым простыя бялкі адрозніваюцца ад складаных? Фібрылярныя ад глабулярных? Прывядзіце прыклады фібрылярных і глабулярных бялкоў.
2. Як называецца працэс парушэння прыроднай структуры бялку, пры якім захоўваецца яго першасная структура? Дзеянне якіх фактараў можа прыводзіць да парушэння структуры бялковых малекул?
3. Назавіце асноўныя біялагічныя функцыі бялкоў, прывядзіце адпаведныя прыклады.
4. Што ўяўляюць сабой ферменты? Апішыце механізм работы ферменту.
5. У чым заключаецца спецыфічнасць ферментаў? Якая яе прычына? Чаму ферменты актыўна функцыянуюць толькі ў пэўным дыяпазоне тэмпературы, pH і іншых фактараў?
- 6\*. Чаму бялкі, як правіла, выкарыстоўваюцца ў якасці крыніц энергіі толькі ў крайніх выпадках, калі ў клетках вычарпаны запасы вугляводаў і тлушчаў?
- 7\*. Шмат у якіх бактэрый у працэсах сінтэзу рэчываў, неабходных для нармальнай жыццядзейнасці і размнажэння, удзельнічае параамінабензойная кіслата (ПАБК). У той жа час у медыцыне для лячэння шэрага бактэрыяльных інфекцый выкарыстоўваюцца сульфаніламіды — рэчывы, па структуры падобныя да ПАБК. Як вы думаеце, на чым заснавана лячэбнае дзеянне сульфаніламідаў?



ПАБК



Агульная формула сульфаніламідаў



Назіранне дэнатурацыі бялку

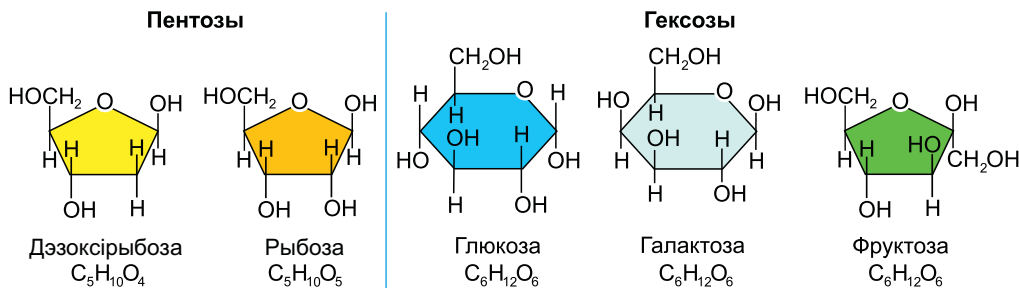


## § 5. Вугляводы

**Вугляводы** — арганічныя злучэнні, састаў якіх, як правіла, можна выразіць формулай  $C_n(H_2O)_m$ , дзе  $n$  і  $m$  роўны 3 і больш. Такім чынам, суадносіны атамаў вадароду і кіслароду ў малекулах большасці вугляводаў такія ж, як і ў вадзе (2 : 1), што і адлюстравана ў назве гэтых рэчываў. Аднак вядомыя вугляводы, састаў якіх не адпавядае прыведзенай формуле.

**Асноўныя групы вугляводаў.** Самымі простымі па структуры вугляводамі з'яўляюцца **монацукрыды**. Усе яны ўяўляюць сабой нізкамалекулярныя злучэнні, якія добра раствараюцца ў вадзе і валодаюць салодкім смакам. Колькасць атамаў вугляроду ў малекулах монацукрыдаў вар'іруе ад 3 да 9. Найбольш распаўсюджаны ў прыродзе пяцівугляродныя монацукрыды ( $C_5$ ) — *пентозы* і шасцівугляродныя ( $C_6$ ) — *гексозы*.

3 пентозы самае важнае біялагічнае значэнне маюць дэзоксірыбоза і рыбоза (мал. 14). **Дэзоксірыбоза** ўваходзіць у састаў нуклеатаў ДНК (дэзоксірыбануклеінавай кіслаты). **Рыбоза** з'яўляецца кампанентам нуклеатаў РНК (рыбануклеінавай кіслаты) і АТФ.



Мал. 14. Структурныя формулы найважнейшых монацукрыдаў

Для жывых арганізмаў найбольш важнымі гексозамі з'яўляюцца глюкоза, галактоза і фруктоза (гл. мал. 14). Яны маюць агульную формулу  $C_6H_{12}O_6$ , але адрозніваюцца структурай малекул, г. зн. з'яўляюцца ізамерамі.

**Глюкоза** — асноўны прадукт фотасінтэзу і галоўная крыніца энергіі для клетак. У жывых арганізмах яна змяшчаецца як у выглядзе ўласна монацукрыду, так і ў саставе вугляводаў больш складанай будовы — дыцукрыдаў і поліцукрыдаў. Шмат глюкозы прысутнічае ў ягадах, садавіне, мёдзе. У крыві чалавека яе ўтрыманне ў норме складае каля 0,1 %, гэты ўзровень падтрымліваецца гармонамі (успомніце якімі).

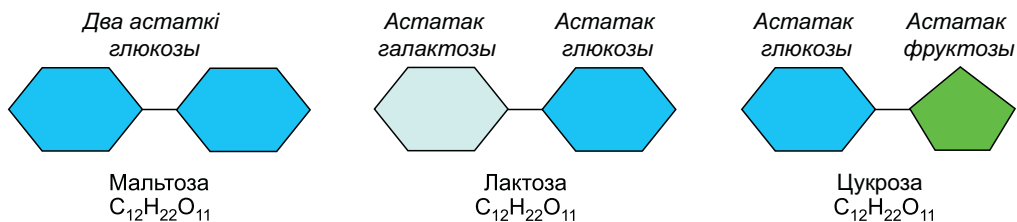




Салодкія плады раслін і мёд багатыя не толькі на глюкозу, але і на **фруктозу**. У спелых кавунах, яблыках, грушах яе змяшчаецца прыкладна ў 2 разы больш, чым глюкозы. Сярод усіх монацукрыдаў фруктоза валодае самым салодкім смакам. У клетках яна знаходзіцца як у свабодным выглядзе, так і ў саставе ды- і поліцукрыдаў. **Галактоза** таксама ўваходзіць у састаў некаторых ды- і поліцукрыдаў.

**Дыцукрыдамі** называюць вугляводы, малекулы якіх утвораны двума астаткамі монацукрыдаў. Злучэнне монацукрыдаў адбываецца пры дапамозе іх гідраксільных груп. Пры гэтым вылучаецца малекула вады, і паміж монацукрыднымі астаткамі ўзнікае кавалентная сувязь.

Дыцукрыды, гэтак жа як і монацукрыды, лёгка растваральныя ў вадзе і маюць салодкі смак. Да ліку самых распаўсюджаных дыцукрыдаў належаць мальтоза, лактоза і цукроза (мал. 15).



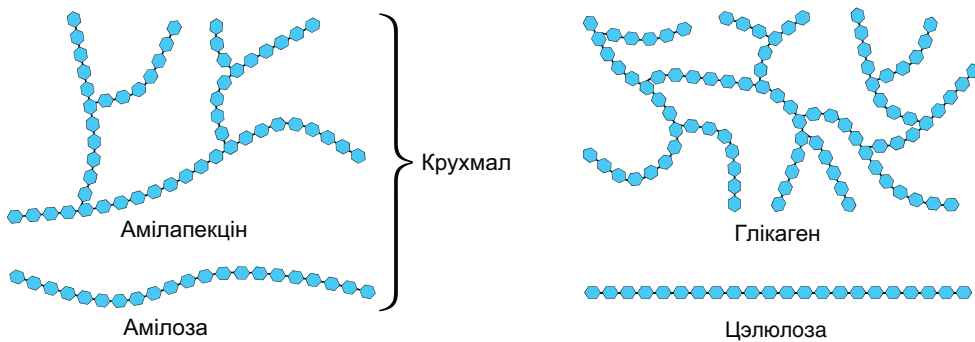
Мал. 15. Схемы будовы малекул дыцукрыдаў

**Мальтоза** (соладавы цукар) з'яўляецца прамежковым прадуктам ферментатыўнага расщеплення крухмалу і глікагену ў стрававальнай сістэме жывёл. Далей фермент *мальтаза* расщепляе яе да глюкозы. Гідроліз крухмалу адбываецца і пры прарастанні насення раслін. Асабліва багатае на мальтозу зерне злакаў, якое прарастае (солад). **Лактоза** (малочны цукар) — важны кампанент малака. Яна з'яўляецца галоўнай крыніцай энергіі для дзіцянят млекакормячых. **Цукроза** (трысняговы цукар) найбольш распаўсюджана ў раслінах. Яна служыць транспартнай формай прадуктаў фотасінтэзу і можа назапашвацца як запасное пажыўнае рэчыва. Гэты дыцукрыд у вялікіх колькасцях змяшчаецца ў парастках цукровага трыснягу і караняплодах цукровага бурака.

**Поліцукрыды** — біяпалімеры, малекулы якіх складаюцца з вялікай колькасці (да дзясяткаў і нават соцень тысяч) монацукрыдных астаткаў. У састаў поліцукрыду могуць уваходзіць астаткі аднаго ці розных монацукрыдаў. Поліцукрыды адрозніваюцца не толькі саставам, але і даўжынёй палімерных ланцугоў. Акрамя таго, іх малекулы могуць мець *лінейную* ці *разгалінаваную* структуру.

З павелічэннем ліку манамерных звёнаў памяншаецца растваральнасць вугляводаў і знікае іх салодкі смак. Таму поліцукрыды не валодаюць салодкім смакам і практычна нерастваральныя ў вадзе. У жывой прыродзе найбольш важную ролю адыгрываюць такія поліцукрыды, як крухмал, глікаген, цэлюлоза і хіцін.

**Крухмал** уяўляе сабой сумесь поліцукрыдаў. Прыкладна на 80 % (па масе) ён складаецца з разгалінаванага *амілапектыну* і на 20 % з *амілозы*, якая мае лінейную структуру (мал. 16). Абодва гэтыя поліцукрыды ўтвораны астаткамі *глюкозы*. Крухмал адкладаецца ў клетках раслін і ў якасці запаснога (рэзервовага) пажыўнага рэчыва. Вялікая колькасць крухмалу назапашваецца ў клубнях, пладах і насенні. Зерне злакаў (рысу, пшаніцы, кукурузы і інш.) можа змяшчаць да 80 % крухмалу, у клубнях бульбы яго масавая доля дасягае 25 %.



Мал. 16. Схемы будовы малекул поліцукрыдаў: ● — астатак малекулы глюкозы

Рэзервовым поліцукрыдам жывёл і грыбоў з'яўляецца **глікаген**. У жывёл ён адкладаецца пераважна ў клетках печані і мышцах. Глікаген, гэтак жа як амілоза і амілапектын, складаецца з астаткаў *глюкозы*. Аднак малекулы глікагену разгалінаваны мацней, чым малекулы амілапектыну (гл. мал. 16).

**Цэлюлоза** (клятчатка) — асноўны структурны кампанент клетачных сценак раслін і шэрага водарасцей. Яна валодае высокай трываласцю, не раствараецца ні ў вадзе, ні ў арганічных растваральніках. Шмат клетчаткі змяшчаецца ў драўніне, а ў валокнах бавоўніка яе масавая доля дасягае 95 %. Цэлюлоза ўяўляе сабой лінейны палімер, ланцугі якога пабудаваны з астаткаў *глюкозы* (гл. мал. 16).

Такім чынам, амілапекцін, амілоза, глікаген і цэлюлоза з'яўляюцца палімерамі глюкозы. Агульную формулу гэтых поліцукрыдаў можна запісаць у выглядзе  $(C_6H_{10}O_5)_n$ , дзе  $n$  — колькасць манамерных звёнаў.

Поліцукрыд **хіцін** не адпавядае гэтай формуле, паколькі ў яго састаў, акрамя вугляроду, вадароду і кіслароду, уваходзіць азот. Гэта трывалы поліцукрыд лінейнай структуры. Хіцін з'яўляецца важным кампанентам кутыкулы членістаногіх і клетачных сценак многіх грыбоў.

Вугляводы здольныя ўтвараць злучэнні з іншымі арганічнымі рэчывамі, напрыклад з бялкамі — *глікапратэіны*, з ліпідамі — *глікаліпіды* і г. д.

**Функцыі вугляводаў.** Пры разглядзе асноўных груп вугляводаў вы пазнаёміліся з найважнейшымі функцыямі, якія выконваюць гэтыя рэчывы ў жывой прыродзе. Больш падрабязная і сістэматызаваная інфармацыя пра біялагічную ролю вугляводаў дадзена ў табліцы 5.

Табліца 5. Асноўныя функцыі вугляводаў у жывых арганізмах

Функцыя	Тлумачэнне і прыклады
Энергетычная	Пад дзеяннем ферментаў здольныя расшчапляцца і акісляцца з вызваленнем энергіі. Гэтыя працэсы могуць адбывацца як з выкарыстаннем кіслароду (O <sub>2</sub> ), так і без яго ўдзелу. Галоўнай крыніцай энергіі для клетак з'яўляецца <i>глюкоза</i> . Пры поўным акісленні 1 г вугляводаў да вады і вуглякіслага газу вылучаецца 17,6 кДж энергіі
Запасальная	Некаторыя поліцукрыды і дыцукрыды (напрыклад, <i>цукроза</i> ) могуць назапашвацца ў арганізме ў якасці запасных пажыўных рэчываў. У раслін асноўным рэзервовым вугляводам з'яўляецца <i>крукмал</i> , у жывёл і грыбоў — <i>глікаген</i> . Пры неабходнасці гэтыя поліцукрыды расшчапляюцца да глюкозы — асноўнай крыніцы энергіі
Структурная	Прымаюць удзел у пабудове розных клетачных і пазаклетачных структур. Так, <i>хіцін</i> уваходзіць у састаў вонкавага покрыва членістаногіх і клетачнай сценкі грыбоў. <i>Цэлюлоза</i> — асноўны кампанент клетачнай сценкі раслін
Метабалічная	Забяспечваюць працяканне працэсаў абмену рэчываў, служаць асновай для сінтэзу іншых злучэнняў. Так, монацукрыды і іх вытворныя неабходны для сінтэзу цэлага шэрага арганічных рэчываў: ды- і поліцукрыдаў, нуклеатаў, некаторых спіртоў і інш. Злучэнні, якія ўтвараюцца ў ходзе расшчаплення монацукрыдаў, выкарыстоўваюцца для ўтварэння малекул карбонавых кіслот, амінакіслот і г. д.



Састаў большасці вугляводаў можна выразіць формулай  $C_n(H_2O)_m$ . Вылучаюць тры групы вугляводаў: монацукрыды, дыцукрыды і поліцукрыды. Самую простую будову маюць монацукрыды. У састаў малекул дыцукрыдаў уваходзяць два астаткі монацукрыдаў, у састаў поліцукрыдаў — мноства. Галоўнымі функцыямі вугляводаў з'яўляюцца энергетычная, запасальная, структурная і метабалічная.



1. Якія з пералічаных рэчываў належаць да монацукрыдаў? Дыцукрыдаў? Поліцукрыдаў?

Лактоза, глікаген, мальтоза, глюкоза, рыбоза, хіцін, цэлюлоза, фруктоза, цукроза.

2. Якія біялагічныя функцыі выконваюць монацукрыды? Дыцукрыды? Прывядзіце прыклады.

3. Чым абумоўлена разнастайнасць дыцукрыдаў і поліцукрыдаў?

4. Як мяняецца смак вугляводаў і іх растваральнасць у вадзе з павелічэннем малекулярнай масы?

5\*. Параўнайце па розных прыметах крухмал, цэлюлозу і глікаген. У чым праяўляецца іх падабенства? У чым заключаюцца адрозненні?

6\*. Крухмал у клетках раслін і глікаген у клетках жывёл выконваюць адну і тую ж функцыю — запасальную. Асноўны кампанент крухмалу — разгалінаваны поліцукрыд амілапекцін. Глікаген падобны да амілапекціну, аднак мае меншую малекулярную масу і больш разгалінаваную структуру. Якое біялагічнае значэнне маюць названыя асаблівасці глікагену?



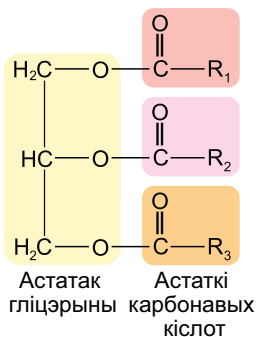
ВЫЯЎЛЕННЕ КРУХМАЛУ З ДАПАМОГАЙ ЁДУ  
ВЫЯЎЛЕННЕ АКТЫЎНАСЦІ АМІЛАЗЫ Ў СЛІНЕ



## § 6. Ліпіды

**Ліпіды** — разнастайныя па структуры арганічныя рэчывы, якія добра раствараюцца ў непалярных растваральніках (бензіне, хлараформе і інш.), але нерастваральныя ці мала растваральныя ў вадзе. Да гэтай групы злучэнняў належаць тлушчы і тлушчападобныя рэчывы. Малекулы большасці ліпідаў непалярныя, што і абумоўлівае іх гідрафобнасць.

Масавая доля ліпідаў у розных тканках і органах неаднолькавая. У жывёл высокае ўтрыманне тлушчаў і тлушчападобных рэчываў назіраецца ў падскурнай клятчатцы, жоўтым касцявым мозгу, нервовай тканцы, малацэ млекакормячых. Найбольш багатыя ліпідамі клеткі тлушчавай тканкі. У раслін ліпіды назапашваюцца пераважна ў пладах і насенні. Вялікая колькасць тлушчаў змяшчаецца ў насенні сланечніка, лёну, рапсу, пладах аліўкавага дрэва і інш.



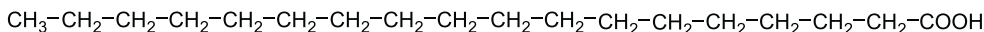
Мал. 17. Будава малекулы трыгліцэрыду

**Асноўныя групы ліпідаў.** Вядома некалькі груп ліпідаў: тлушчы, фосфаліпіды, стэроіды і інш. Самая шырока распаўсюджаная група ліпідаў — гэта **тлушчы (трыгліцэрыды)**. З курса хіміі 10-га класа вам вядома, што іх малекулы складаюцца з астатка трохатамнага спірту гліцэрыны і трох астаткаў карбонавых кіслот (мал. 17). Ва ўтварэнні тлушчаў удзельнічаюць пераважна вышэйшыя карбонавыя кіслоты, якія таксама называюць *тлустымі кіслотамі*.

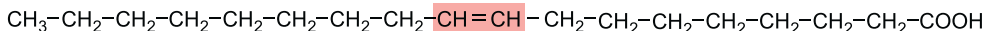
Карбонавыя кіслоты ў саставе трыгліцэрыду могуць быць аднолькавымі ці рознымі. Як вы ведаеце, карбонавыя кіслоты бываюць насычанымі ці ненасычанымі (успомніце, у чым заключаецца адрозненне паміж імі). З насычаных карбонавых кіслот у састаў тлушчаў часцей за ўсё ўваходзяць *пальміцінавая* і *стэарынавая*, а з ненасычаных — *алеінавая*, *ліналевая* і *ліналенавая* (мал. 18).



Стэарынавая кіслата ( $C_{17}H_{35}COOH$ )



Алеінавая кіслата ( $C_{17}H_{33}COOH$ )



Мал. 18. Будава малекул стэарынавай і алеінавай кіслот

Тэмпература плаўлення тлушчаў залежыць ад даўжыні вугляродных ланцугоў і колькасці дваіх сувязей у астатках карбонавых кіслот. Тлушчы з кароткімі і (ці) ненасычанымі ланцугамі маюць параўнальна нізкую тэмпературу плаўлення і пры хатняй тэмпературы з'яўляюцца вадкімі. Для трыгліцэрыдаў з доўгімі і насычанымі ланцугамі характэрна больш высокая тэмпература плаўлення. Пры хатняй тэмпературы такія тлушчы маюць цвёрдую кансістэнцыю.

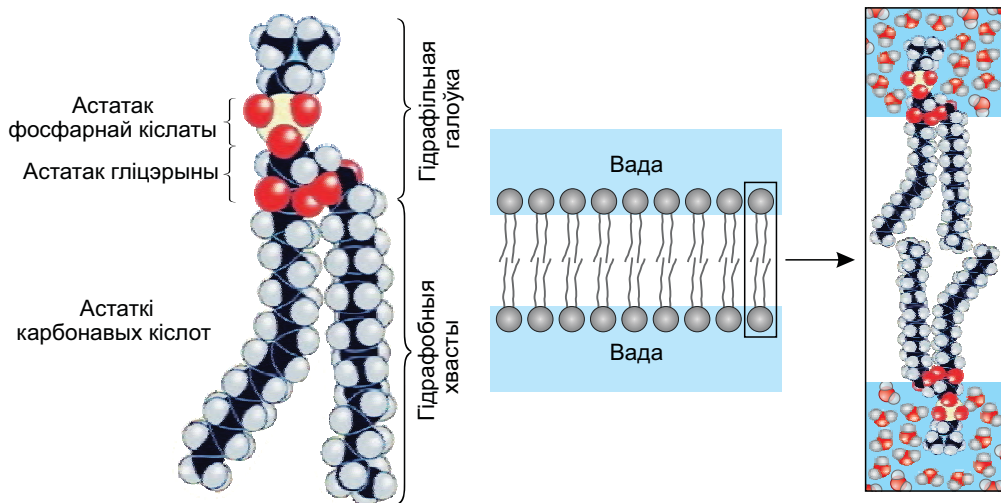
У жывёл, якія жывуць у халодным клімаце, тлушчы звычайна змяшчаюць больш астаткаў ненасычаных кіслот, чым у жыхароў умераных

і трапічных шырот. Таму іх тлушч нават пры нізкіх тэмпературах застаецца вадкім, а цела захоўвае гібкасць.

Цікава, што ў саставе тлушчаў, якія сінтэзуюцца ў арганізме чалавека, каля 70 % астаткаў карбонавых кіслот прадстаўлены ненасычанай алеінавай кіслотай. Таму чалавечы тлушч плавіцца пры 15 °С і пры тэмпературы цела з'яўляецца вадкім. Для параўнання: утрыманне ненасычаных тлустых кіслот у ялавічым тлушчы складае толькі 43—47 % (з іх 41 % алеінавай) і яго тэмпература плаўлення — каля 45 °С.

**Фосфаліпіды** па будове падобныя да трыгліцэрыдаў, але ў іх малекулах адзін астатак карбонавай кіслаты заменены радыкалам, які змяшчае астатак фосфарнай кіслаты.

Малекула фосфаліпіду складаецца з дзвюх частак, розных па растваральнасці ў вадзе: палярнай гідрафільнай галоўкі і гідрафобных хвастоў — непалярных вуглевадародных ланцугоў карбонавых кіслот (мал. 19). Дваістая прырода фосфаліпідаў абумоўлівае асаблівую арыентацыю іх малекул у водным асяроддзі. Гідрафільныя галоўкі фосфаліпідаў узаемадзейнічаюць з малекуламі вады, а гідрафобныя хвасты прыцягваюцца адзін да аднаго (успомніце гідрафобныя ўзаемадзейні ў малекулах бялкоў). Пры гэтым фосфаліпіды ўтвараюць *дваіны слой* (*біслой*), у якім іх непалярныя хвасты апушчаны ўнутр і ахаваны ад кантакту з вадой, а палярныя галоўкі, наадварот, звернуты да вады (гл. мал. 19). Такая арыентацыя малекул адыгрывае ключавую ролю ў фарміраванні структуры біялагічных мембран, у саставе якіх фосфаліпіды з'яўляюцца найважнейшым кампанентам.



Мал. 19. Будова малекул фосфаліпідаў і іх арыентацыя ў вадзе

Яшчэ адной групай ліпідаў з'яўляюцца **стэроіды**. Іх малекулы маюць складаную структуру і не змяшчаюць астаткаў тлустых кіслот. Стэроідамі з'яўляюцца гармоны кары наднырачнікаў — *корцікастэроіды*, мужчынскія і жаночыя *палавыя гармоны*, *жоўцевыя кіслоты* (найважнейшыя кампаненты жоўці), *вітамін D* і інш.

Важную ролю ў арганізме чалавека і жывёл адыгрывае *халестэрын*. Ён неабходны для сінтэзу стэроідных гармонаў, жоўцевых кіслот, вітаміну D. Акрамя таго, халестэрын уваходзіць у састаў біялагічных мембран, забяспечвае іх стабільнасць і рэгулюе пранікальнасць.

Аднак павышанае ўтрыманне халестэрыну ў арганізме можа выклікаць развіццё шэрага захворванняў, у прыватнасці сардэчна-сасудзістых. Халестэрын можа адкладацца на ўнутраных сценах крывяносных сасудаў, з прычыны чаго іх прасвет памяншаецца. Гэта вядзе да парушэння крывязабеспячэння тканак і органаў, у першую чаргу сардэчнай мышцы, павялічваецца рызыка інфаркту міякарда, інсульту, іншых ускладненняў. Да фактараў, якія павышаюць узровень халестэрыну, належаць: курэнне, недастатковая фізічная актыўнасць, няправільнае харчаванне (пераяданне, лішак тлушчаў у ежы) і інш.

Як вы ведаеце, ліпіды могуць утвараць складаныя злучэнні з бялкамі — *ліпапратэіны*, вугляводамі — *глікаліпіды* і г. д.

**Функцыі ліпідаў.** У жывой прыродзе ліпіды выконваюць разнастайныя функцыі. Інфармацыя пра найважнейшыя з іх прыведзена ў таліцы 6.

Табліца 6. Асноўныя функцыі ліпідаў у жывых арганізмах

Функцыя	Тлумачэнне і прыклады
Энергетычная	Пры поўным акісленні 1 г <i>тлушчаў</i> вызваляецца каля 39 кДж энергіі. Гэта значна больш у параўнанні з акісленнем такой жа колькасці вугляводаў. Канчатковыя прадукты расщчавлення тлушчаў — вуглякіслы газ і вада
Крыніцы метабалічнай вады	Акісленне 1 г <i>тлушчу</i> суправаджаецца вылучэннем 1,05–1,1 г вады. Гэта вада не паступае ў арганізм звонку, а ўтвараецца ў ходзе абмену рэчываў (метабалізму), таму яе называюць метабалічнай. Тлушчавыя запасы дазваляюць некаторым жывёлам параўнальна доўгі час абыходзіцца без вады. Напрыклад, вярблюды вытрымліваюць без яе 10–12 сут, а мядзведзі, суркі і іншыя жывёлы ў час зімовай спячкі — больш за 2 месяцы

## Працяг

Функцыя	Тлумачэнне і прыклады
Запасальная	<i>Тлушчы</i> адкладаюцца пра запас у розных тканках і органах, і, такім чынам, з'яўляюцца рэзервай крыніцай энергіі для арганізма. Назапашваць тлушчы больш выгадна, чым вугляводы, паколькі іх энергетычная каштоўнасць вышэйшая
Структурная	Двайны слой <i>фосфаліпідаў</i> з'яўляецца асновай будовы ўсіх біялагічных мембран (цытаплазматычнай мембраны клетак, мембран арганідаў). У састаў мембран уваходзяць і іншыя ліпіды — <i>халестэрын, ліпапратэіны, глікаліпіды</i> і г. д. <i>Міэлін</i> , які фарміруе абалонку многіх нервовых валокнаў, забяспечвае хуткае правядзенне нервовых імпульсаў
Ахоўная	<i>Тлушчы</i> назапашваюцца пад скурай, паміж органамі і засцерагаюць іх ад механічных пашкоджанняў. Напрыклад, тлушчавая тканка, якая высцілае вачніцы, ахоўвае вочныя яблыкі ад страценняў і дэфармацыі. Дзякуючы нізкай цеплаправоднасці тлушч з'яўляецца добрым цеплаізалятарам, які засцерагае арганізм ад перападаў тэмпературы. Па гэтай прычыне ў жывёл, што жывуць у халодных рэгіёнах, добра развіта падскурная тлушчавая клятчатка. Ліпіды валодаюць воданепрымальнымі ўласцівасцямі. Уваходзячы ў састаў кутыкулы раслін, пакроваў цела і сакрэтаў скурных залоз жывёл, яны забяспечваюць ахову ад страты вады і, наадварот, ад яе залішняга паступлення ў арганізм
Рэгулярная	<i>Стэроідныя гармоны</i> рэгулююць абмен рэчываў, размнажэнне і развіццё арганізмаў. <i>Вітамін D</i> уплывае на абмен кальцыю і фосфару. <i>Жойцевыя кіслоты</i> забяспечваюць эмульганне тлушчаў ежы і ўсмоктванне прадуктаў іх расшчаплення

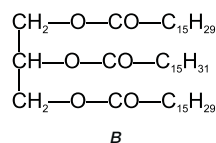
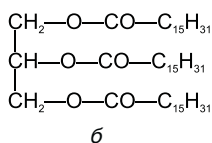
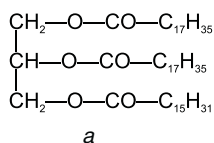


Да ліпідаў належаць тлушчы і тлушчападобныя рэчывы — фосфаліпіды, стэроіды і інш. Гэта пераважна гідрафобныя злучэнні, разнастайныя па хімічнай будове. Ліпіды выконваюць розныя функцыі: энергетычную, запасальную, структурную, ахоўную, рэгулярную і інш.





1. Што ўяўляюць сабой ліпіды? Да якой групы належыць большасць ліпідаў — да гідрафільных ці да гідрафобных рэчываў?
2. У якіх тканках і органах раслін і жывёл змяшчаецца больш за ўсё ліпідаў?
3. Пералічыце вядомыя вам групы ліпідаў. Якія асноўныя біялагічныя функцыі характэрныя для кожнай групы?
4. Чаму пры хатняй тэмпературы адны тлушчы цвёрдыя, а другія маюць вадкую кансістэнцыю? Прыведзіце прыклады цвёрдых і вадкіх тлушчаў.
- 5\*. Параўнайце састаў малекул тлушчаў (а—в) і размясціце гэтыя рэчывы па ўзрастанні іх тэмпературы плаўлення.



6\*. Многія жывёлы, што жывуць ва ўмовах халоднага клімату, маюць тоўстую падскурную тлушчавую клятчатку. Некаторыя жыхары стэпаў і пустынь таксама ўзмоцнена назапашваюць падскурны тлушч. Якія функцыі выконваюць тлушчы ў арганізме гэтых жывёл?

7\*. Утрыманне запасных вугляводаў у клетках раслін можа дасягаць 90 % сухой масы. У арганізме жывёл асноўныя запасы захоўваюцца ў выглядзе тлушчаў. Чым гэта можна растлумачыць?

## § 7. Нуклеінавыя кіслоты. Будава і функцыі ДНК

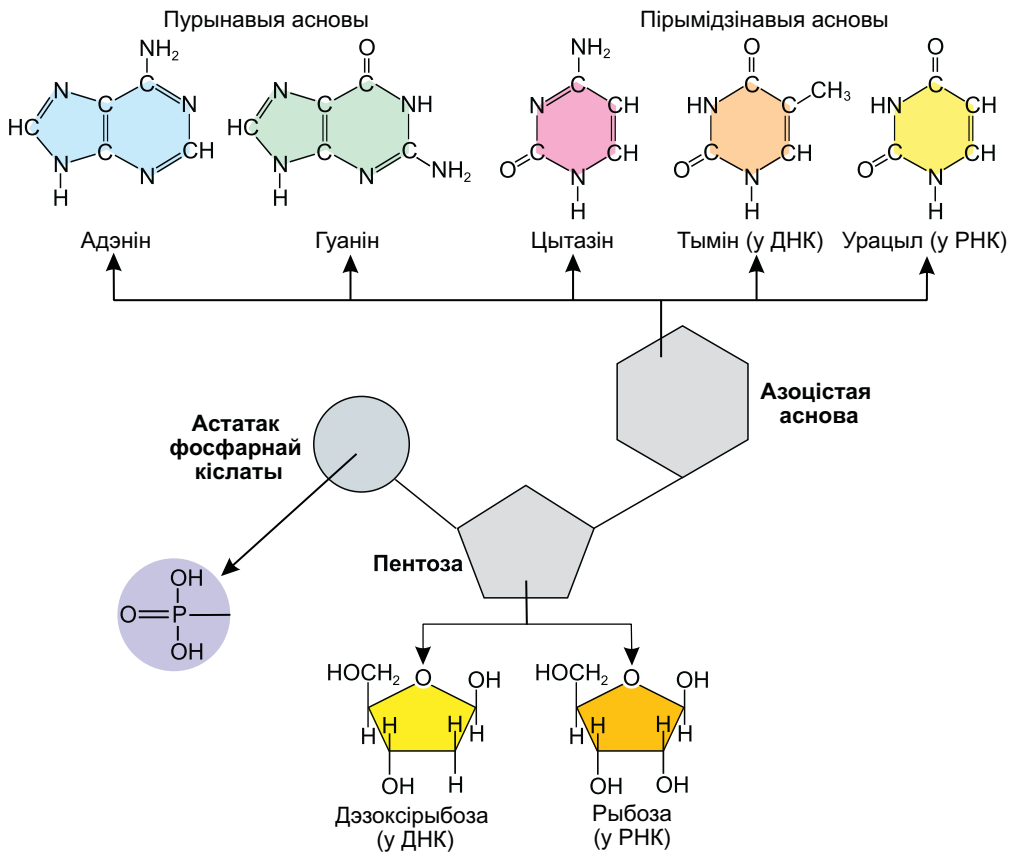
Для кожнага віду жывых арганізмаў характэрны свае адметныя асаблівасці. Больш таго, адрозненні існуюць і паміж асобінамі аднаго віду, паколькі кожная з іх валодае ўнікальным спалучэннем прымет. Пры гэтым кожны арганізм здольны перадаваць свае прыметы патомству па спадчыне.

Вядома, што прыметы і ўласцівасці арганізма вызначаюцца, перш за ўсё, бялкамі, якія сінтэзуюцца ў яго клетках. Таму інфармацыю пра першасную структуру бялкоў называюць **спадчыннай** ці **генетычнай**. Вызначана, што дадзеная інфармацыя змяшчаецца ў малекулах нуклеінавых кіслот. Гэтыя біяпалімеры таксама забяспечваюць сінтэз бялкоў, г. зн. рэалізацыю спадчыннай інфармацыі і яе перадачу наступным пакаленням пры размнажэнні.

Такім чынам, нуклеінавыя кіслоты выконваюць асаблівыя функцыі, не характэрныя для іншых хімічных злучэнняў. **Нуклеінавыя кіслоты** — гэта біялагічныя палімеры, якія забяспечваюць захоўванне, рэалізацыю і перадачу спадчыннай інфармацыі.

Нуклеінавыя кіслоты былі адкрыты ў 1869 г. швейцарскім біёлагам Ф. Мішэрам (прозвішча прыведзена не для запамінання) у ядрах лейкоцытаў чалавека. Ад лацінскага слова *nucleus* — ядро і паходзіць назва гэтых злучэнняў. Нуклеінавыя кіслоты змяшчаюцца ў клетках усіх жывых арганізмаў, прычым не толькі ў ядры, але і ў цытаплазме, у саставе некаторых арганідаў.

**Будова нуклеатыдаў і ўтварэнне полінуклеатыднага ланцуга.** Ма-намерамі нуклеінавых кіслот з'яўляюцца **нуклеатыды**. Кожны з іх складаецца з трох кампанентаў: азоцістай асновы, пяцівугляроднага монацукрыда (пентозы) і астатка фосфарнай кіслаты. Цэнтральнае становішча ў структуры нуклеатыда займае пентоза. Азоцістая аснова і астатак фосфарнай кіслаты далучаны да яе кавалентнымі сувязямі (мал. 20).



Мал. 20. Схема будовы нуклеатыда

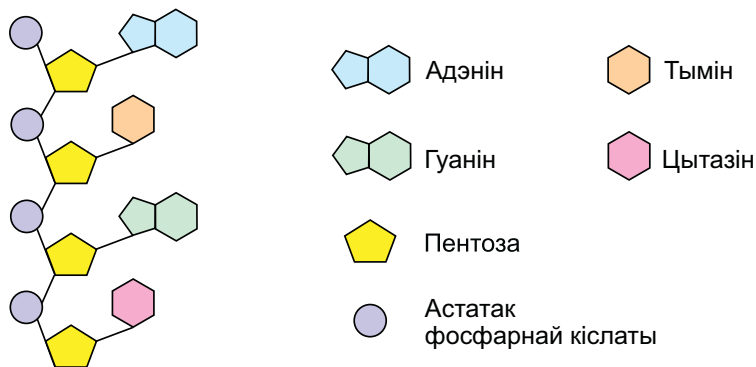
У састаў нуклеатыда можа ўваходзіць адна з пяці азоцістых асноў: адэнін, гуанін, цытазін, тымін ці ўрацыл. Адэнін і гуанін належаць да *пурынавых* асноў, а цытазін, тымін і ўрацыл — да *пірымідынавых*.

Назва нуклеатыда залежыць ад таго, якая азоцістая аснова ўваходзіць у яго структуру. Так, існуюць *адэнілавыя, гуанілавыя, цытыдзілавыя, тымідзілавыя* і *ўрыдзілавыя* нуклеатыды. Для зручнасці азоцістыя асновы і адпаведныя ім нуклеатыды звычайна запісваюць скарачана: А, Г, Ц, Т, У.

Вядомыя два тыпы нуклеінавых кіслот — **дэзоксірыбануклеінавыя (ДНК)** і **рыбануклеінавыя (РНК)**. Яны адрозніваюцца функцыямі, памерам і формай малекул, а таксама асаблівасцямі будовы нуклеатыдаў.

Нуклеатыды ДНК змяшчаюць астатак дэзоксірыбозы, а нуклеатыды РНК — рыбозы. Адсюль і назвы — дэзоксірыбануклеінавыя і рыбануклеінавыя кіслоты. Акрамя таго, азоцістая аснова тымін (Т) можа ўваходзіць толькі ў састаў нуклеатыдаў ДНК, а урацыл (У) сустракаецца толькі ў нуклеатыдах РНК. Такім чынам, малекулы ДНК, гэтак жа як і РНК, змяшчаюць па чатыры тыпы нуклеатыдаў.

Нуклеінавыя кіслоты — самыя буйныя з малекул, уласцівых жывым арганізмам. Колькасць нуклеатыдаў у саставе гэтых палімераў можа дасягаць соцень мільёнаў. Злучэнне нуклеатыдаў у полінуклеатыдны ланцуг адбываецца за кошт утварэння кавалентных сувязей паміж астаткам пентозы аднаго нуклеатыда і астаткам фосфарнай кіслаты другога нуклеатыда (мал. 21).



Мал. 21. Схема будовы полінуклеатыднага ланцуга

**Будова ДНК.** У састаў малекулы ДНК уваходзяць два полінуклеатыдныя ланцугі. Яны злучаны паміж сабой мноствам *вадародных* сувязей, якія ўзнікаюць паміж азоцістымі асновамі нуклеатыдаў супрацьлеглых

ланцугоў. Паміж адэнінам і тымінам фарміруюцца дзве вадародныя сувязі, а паміж гуанінам і цытазінам — тры (мал. 22). Такім чынам, нуклеатыды, якія ўваходзяць у састаў двух розных ланцугоў ДНК, узаемна дапаўняюць адзін аднаго і ўтвараюць строгія пары: А—Т і Г—Ц. Звярніце ўвагу, што ў кожнай пары адна з азоцістых асноў — пурынавая, а другая — пірымідзінавая.

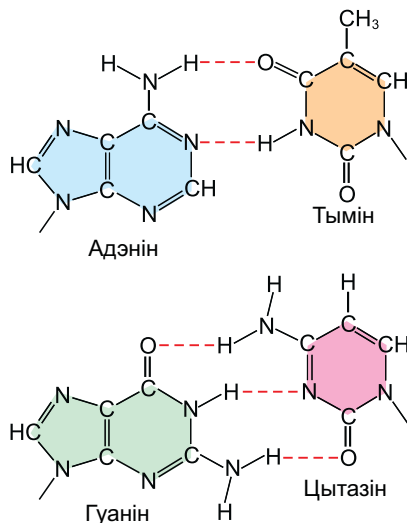
Такая адпаведнасць парных нуклеатыдаў называецца **камплементарнасцю**. Таму гавораць, што ланцугі ДНК камплементарныя, г. зн. паслядоўнасць нуклеатыдаў у адным ланцугу вызначае іх паслядоўнасць у другім. Напрыклад, калі адзін ланцуг змяшчае паслядоўнасць ГАЦАТЦ, то па прынцыпе камплементарнасці парадак размяшчэння нуклеатыдаў у другім ланцугу будзе наступным: ЦТГТАГ.

Для запамінання камплементарных нуклеатыдаў можна выкарыстоўваць мнеманічнае правіла «вАТ і ГерЦ» або асацыяцыі. Напрыклад: «Агрэсіўны Тыгр і Глупае Цяля» або «Апельсін на Талерцы, Цецярук у Гняздзе». Слова «пурГА» нагадвае пра тое, што да пурынавых асноў належаць гуанін (Г) і адэнін (А). Такім чынам, астатнія азоцістыя асновы з'яўляюцца пірымідзінавымі.

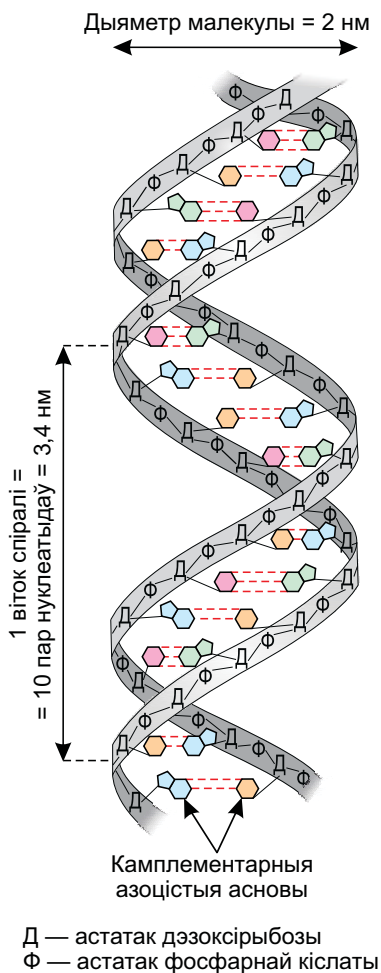
Для малекулы ДНК характэрна асабліва прасторавая структура. Яе полінуклеатыдныя ланцугі абвіваюць адзін аднаго, фарміруючы *двайную спіраль* дыяметрам каля 2 нм (мал. 23, с. 44). Адзін віток спіралі мае даўжыню 3,4 нм і змяшчае 10 пар нуклеатыдаў. Такім чынам, лінейная даўжыня адной нуклеатыднай пары складае 0,34 нм. Астаткі дэзоксырыбозы і фосфарнай кіслаты, якія чаргуюцца, размяшчаюцца на перыферыі малекулы ДНК, а азоцістыя асновы знаходзяцца ўнутры спіралі.

Нуклеатыдны састаў ДНК упершыню колькасна прааналізаваў амерыканскі біяхімік Э. Чаргаф у 1950 г. Ім былі выяўлены заканамернасці суадносін нуклеатыдаў у двухланцуговай малекуле ДНК, якія пасля назвалі *правіламі Чаргафа*.

1. Колькасць адэнілавых нуклеатыдаў у малекуле ДНК роўна колькасці тымідзілавых (А = Т), а колькасць гуанілавых — колькасці цытыдзілавых (Г = Ц).



Мал. 22. Вадародныя сувязі паміж камплементарнымі парамі азоцістых асноў



Мал. 23. Будова малекулы ДНК

размнажэння арганізмаў ажыццяўляюцца за кошт клетак — саматычных ці спецыялізаваных (спор, гамет). Дзякуючы малекулам ДНК, якія змяшчаюцца ў гэтых клетках, адбываецца перадача генетычнай інфармацыі ад аднаго пакалення да другога.

Такім чынам, функцыямі ДНК з'яўляюцца захоўванне і рэалізацыя спадчыннай інфармацыі арганізма, яе перадача даччыным клеткам пры дзяленні і нашчадкам пры размнажэнні. Іншымі словамі, ДНК уяўляе сабой генетычны матэрыял жывых арганізмаў.

2. Лік пурынавых азоцістых асноў роўны ліку пірымідзінавых ( $A + G = T + C$ ).

3. Сумарная колькасць адэнілавых і цытыдзілавых нуклеатыдаў роўна сумарнай колькасці тымідзілавых і гуанілавых нуклеатыдаў ( $A + C = T + G$ ).

У 1953 г. на аснове правіл Чаргафа і вынікаў даследаванняў малекул ДНК, атрыманых брытанскім вучоным М. Уілкінсам, амерыканскім біёлаг Д. Уотсан і брытанскім біяфізікам Ф. Крык прапанавалі мадэль прасторавай структуры малекулы ДНК. У 1962 г. за распрацоўку гэтай мадэлі, якая атрымала назву «двайнае спіраль», Д. Уотсан, Ф. Крык і М. Уілкінс былі ўдастоены Нобелеўскай прэміі.

**Функцыі ДНК.** У малекулах ДНК закладзена інфармацыя пра першасную структуру ўсіх бялкоў таго ці іншага арганізма. Счыванне гэтай інфармацыі з ДНК прыводзіць у канчатковым выніку да сінтэзу бялкоў, г. зн. ДНК забяспечвае захоўванне і рэалізацыю спадчыннай інфармацыі. Перад дзяленнем клеткі малекулы ДНК падвойваюцца. У час дзялення яны размяркоўваюцца паміж даччынымі клеткамі і перадаюць ім спадчынную інфармацыю ад мацярынскай. З курса біялогіі 10-га класа вы ведаеце, што ўсе формы раз-



Нуклеінавыя кіслоты — біяпалімеры, манамерамі якіх з'яўляюцца нуклеатыды. Кожны нуклеатыд складаецца з азоцістай асновы, пентозы і астатку фосфарнай кіслаты. Існуюць два тыпы нуклеінавых кіслот — дэзоксірыбануклеінавыя (ДНК) і рыба-нуклеінавыя (РНК). Малекула ДНК мае выгляд двайной спіралі, нуклеатыды двух ланцугоў якой утвараюць камплементарныя пары. Функцыі ДНК — захоўванне, рэалізацыя і перадача спадчыннай інфармацыі, г. зн. інфармацыі пра першасную структуру бялкоў.



1. Што ўяўляе сабой спадчынная (генетычная) інфармацыя жывых арганізмаў?
2. Апішыце будову нуклеатыда. Якім чынам могуць злучацца нуклеатыды ў малекуле ДНК?
3. Ахарактарызуйце прасторавую структуру малекулы ДНК. Якія функцыі выконвае ДНК?
4. Вызначана паслядоўнасць нуклеатыдаў аднаго з ланцугоў ДНК: ЦТГАГТТЦА. Вызначыце парадак нуклеатыдаў камплементарнага ланцуга.
- 5\*. Фрагмент малекулы ДНК змяшчае 126 адэнілавых нуклеатыдаў (А), што складае 18 % ад агульнай колькасці нуклеатыдаў у гэтым фрагменце. Якая даўжыня дадзенага фрагмента ДНК і колькі цытыдзілавых нуклеатыдаў (Ц) ён змяшчае?



Вылучэнне ДНК з банана



## § 8. Будова і функцыі РНК. АТФ

**Будова і функцыі РНК.** РНК, гэтак жа як і ДНК, уяўляе сабой біяпалімер, пабудаваны з нуклеатыдаў. Аднак малекулы РНК маюць шэраг асаблівасцей. Вы ведаеце, што ў састаў нуклеатыдаў РНК замест дэзоксірыбозы ўваходзіць рыбоза, а замест тыміну (Т) — урацыл (У). Акрамя таго, малекулы РНК значна карацейшыя за ДНК і прадстаўлены адным полі-нуклеатыдным ланцугом, а не двума.

Толькі некаторыя вірусы маюць двухланцуговыя малекулы РНК, якія ўяўляюць сабой генетычны матэрыял гэтых няклетачных форм.

Малекулы РНК могуць прымаць розную прасторавую канфігурацыю, перш за ўсё за кошт утварэння *вадародных* сувязей. Але, у адрозненне ад ДНК, гэтыя сувязі фарміруюцца не паміж двума рознымі ланцугамі, а паміж асобнымі ўчасткамі аднаго і таго ж ланцуга, камплементарнымі адзін аднаму.

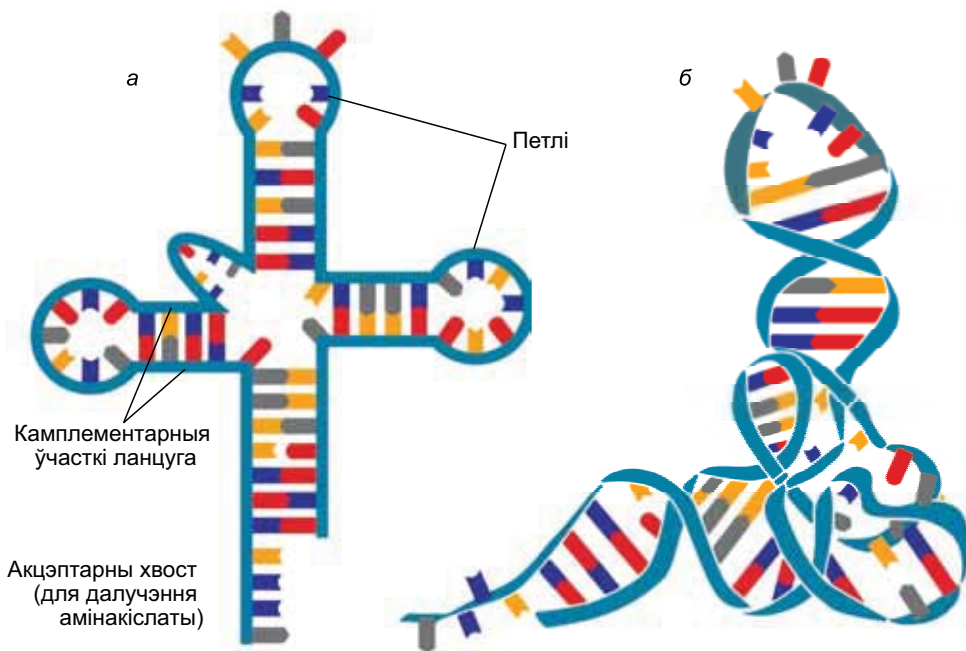
Існуе некалькі відаў РНК, якія адрозніваюцца па будове малекул, утрыманні ў клетцы і выконваемых функцыях. Усе віды РНК сінтэзу-

юцца на пэўных участках аднаго з ланцугоў ДНК. Такі сінтэз называецца *матрычным*, паколькі малекула ДНК з'яўляецца *матрыцай* (г. зн. узорам, мадэллю) для пабудовы малекул РНК.

**Рыбасомныя РНК (рРНК)** складаюць больш за 80 % усіх РНК клеткі. Малекулы рРНК злучаюцца з асаблівымі бялкамі і ўтвараюць *рыбасомы* — арганоіды, у якіх адбываецца сінтэз бялкоў з амінакіслот.

**Транспартныя РНК (тРНК)** — самыя маленькія з малекул РНК, якія ўдзельнічаюць у сінтэзе бялкоў. У сярэднім яны складаюцца з 80 нуклеатыдаў. тРНК звязваюць амінакіслоты, дастаўляюць іх у рыбасомы і забяспечваюць правільнае ўключэнне гэтых амінакіслот у поліпептыдны ланцуг. Для кожнай з 20 бялокутваральных амінакіслот існуе як мінімум адна асаблівая разнавіднасць тРНК, а для некаторых амінакіслот — некалькі. Утрыманне тРНК складае каля 15 % ад агульнай колькасці клетачных РНК.

Усе тРНК маюць падобную будову. Дзякуючы ўтварэнню ўнутры-малекулярных вадародных сувязей малекулы тРНК набываюць асаблівую структуру, у якой камплементарна звязаныя ўчасткі чаргуюцца з петлямі (мал. 24). Такая прасторавая канфігурацыя была названа



Мал. 24. Схема будовы (а) і аб'ёмная канфігурацыя (б) малекулы тРНК

*канюшынавым лістом*. Адзін з канцоў ланцуга тРНК служыць для злучэння з амінакіслатай — гэта акцэптарны хвост.

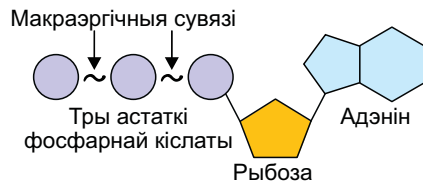
**Матрычныя, ці інфармацыйныя, РНК (мРНК, іРНК)** найбольш разнастайныя па будове і даўжыні ланцугоў. Малекулы мРНК змяшчаюць інфармацыю пра першасную структуру пэўных бялкоў. Падчас сінтэзу бялкоў у рыбасомах яны служаць матрыцамі, якія вызначаюць парадак размяшчэння амінакіслот у бялковых малекулах. Таму біясінтэз бялку, гэтак жа як і сінтэз РНК, належыць да матрычных працэсаў. Колькасць мРНК не перавышае 3—5 % усіх РНК, якія змяшчаюцца ў клетцы.

Функцыі разгледжаных відаў РНК звязаны з працэсамі сінтэзу бялку. Такім чынам, рРНК, тРНК і мРНК забяспечваюць рэалізацыю спадчынай інфармацыі, якая захоўваецца ў малекулах ДНК.

**Будова і функцыя АТФ.** Выключна важную біялагічную ролю адыгрывае **адэназітрыфосфарная кіслата (АТФ)** — універсальны акумулятар і пераносчык энергіі ў клетках жывых арганізмаў. Практычна ўсе працэсы жыццядзейнасці, якія патрабуюць энергетычнага падсілкоўвання, працякаюць з выкарыстаннем энергіі, заключанай у малекулах АТФ. Да такіх працэсаў належаць: біясінтэз розных арганічных злучэнняў (у тым ліку бялкоў, тлушчаў і нуклеінавых кіслот), актыўны транспарт рэчываў праз біялагічныя мембраны, дзяленне клетак, рух раснічак і жгуцікаў, скарачэнне мышцаў і многія іншыя.

У састаў малекулы АТФ уваходзіць *адэнін*, *рыбоза* і тры астаткі *фосфарнай кіслаты* (мал. 25). Такім чынам, ад звычайнага адэнілавага нуклеатыду АТФ адрозніваецца наяўнасцю дзвюх дадатковых фасфатных груп. Кавалентныя сувязі паміж астаткамі фосфарнай кіслаты паказальныя тым, што пры іх разрыве вылучаецца вялікая колькасць энергіі — каля 40 кДж/моль (для параўнання: пры разрыве звычайных кавалентных сувязей вызваляецца прыкладна 12 кДж/моль). Такія высокаэнергетычныя сувязі называюцца *макраэргічнымі*.

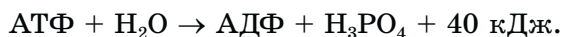
Паколькі астаткі фосфарнай кіслаты ў водным асяроддзі дысацыруюць і набываюць адмоўны зарад, паміж імі назіраецца ўзаемнае адштурхванне. Таму АТФ лёгка падвяргаецца *гідролізу* з разрывам макраэргічных сувязей.



Мал. 25. Схема будовы малекулы АТФ



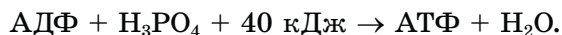
На першым этапе гідролізу ад АТФ адшчапляецца астатак фосфарнай кіслаты. Пры гэтым вылучаецца 40 кДж/моль энергіі і АТФ ператвараецца ў АДФ — адэназіндыфосфарную кіслату:



Другі этап гідралітычнага расшчаплення назіраецца параўнальна рэдка. Пры гэтым адбываецца адшчапленне яшчэ адной фасфатнай групы, вызваленне другой «порцыі» энергіі і ператварэнне АДФ у АМФ — адэназінмонафосфарную кіслату:



Энергія, якая вылучылася пры гідролізе АТФ, выкарыстоўваецца для ажыццяўлення разнастайных клетачных працэсаў. Такім чынам, АТФ інтэнсіўна расшчапляецца, і яе запас у клетках невялікі. Таму разам з гідролізам АТФ неабходны яе бесперапынны *сінтэз*. Для таго каб далучыць астатак фосфарнай кіслаты да АДФ, трэба затраціць не менш за 40 кДж энергіі:



Пастаяўшчыком энергіі для сінтэзу АТФ у клетках служаць працэсы расшчаплення і акіслення арганічных рэчываў (глюкозы, тлустых кіслот і інш.). Фотасінтэзуючыя арганізмы для ўтварэння малекул АТФ таксама выкарыстоўваюць светлавую энергію, якую яны паглынулі.

АТФ з'яўляецца адным з рэчываў, якія часцей за ўсё абнаўляюцца. Так, чалавечы арганізм змяшчае каля 0,2 моль АТФ (прыкладна 100 г), але пры гэтым кожная малекула на працягу сутак праходзіць больш за 500 цыклаў гідролізу і сінтэзу. Таму нядзіўна, што агульная колькасць АТФ, якая ўтвараецца за суткі ў арганізме чалавека, можа быць супастаўлена з масай яго цела.

Такім чынам, у жывых арганізмах АТФ выконвае функцыю акумулятара і пераносчыка энергіі. Пры гідролізе яна вызваляе назапашаную энергію (вобразна кажучы, акумулятар «разраджаецца»), а пры сінтэзе зноў назапашвае (адбываецца «зарядка» акумулятара).



У адрозненне ад ДНК малекулы РНК больш кароткія і ўтвораны адным полінуклеатыдным ланцугом. У сінтэзе бялкоў удзельнічаюць тры віды РНК — рыбасомныя (рРНК), транспартныя (тРНК) і матрычныя, ці інфармацыйныя (мРНК, іРНК). Яны забяспечваюць рэалізацыю спадчыннай інфармацыі, якая захоўваецца ў малекулах ДНК. Універсальным акумулятарам і пераносчыкам энергіі ў клетках з'яўляецца АТФ.



1. Якія словы прапушчаны ў сказе і заменены літарамі (а—г)?

У састаў малекулы АТФ уваходзіць азоцістая аснова (а), пяцівугляродны монацукрыд (б) і (в) астатка (г) кіслаты.

2. Выявіце падабенства і адрозненні ў будове адэнілавага нуклеатыда і малекулы АТФ.

3. Якія сувязі называюцца макраэргічнымі? Што ўяўляе сабой працэс гідролізу АТФ? Сінтэзу АТФ? У чым заключаецца біялагічная роля АТФ?

4\*. Параўнайце па розных прыметах ДНК і РНК. Выявіце рысы падабенства і адрозненні.

5\*. Якія віды РНК змяшчаюцца ў клетцы? Параўнайце іх па выконваемым функцыях, асаблівасцях будовы і працэнтным утрыманні ад агульнай колькасці РНК у клетцы.

6\*. У адну клетку ўвялі малекулы АТФ, мечаныя радыеактыўным фосфарам  $^{32}\text{P}$  па апошнім (трэцім) астатку фосфарнай кіслаты, а ў другую — малекулы АТФ, мечаныя  $^{32}\text{P}$  па першым (бліжэйшым да рыбозы) астатку. Праз 5 мін у абедзвюх клетках змералі ўтрыманне неарганічнага фасфат-іона, мечанага  $^{32}\text{P}$ . Дзе яно было вышэй і чаму?

## § 9. Біялагічна актыўныя рэчывы

**Біялагічна актыўныя рэчывы (БАР)** — злучэнні, здольныя пры невялікіх канцэнтрацыях аказваць выяўленае ўздзеянне на працэсы жыццядзейнасці. Адно БАР выконваюць свае функцыі ўнутры арганізма, удзельнічаючы ў рэгуляцыі росту, развіцця, абмену рэчываў і г. д. Другія выдзяляюцца з арганізма ў навакольнае асяроддзе і ўплываюць на асобін таго ж віду ці іншых відаў.

Вылучаюць некалькі груп біялагічна актыўных рэчываў: гармоны, феромоны, вітаміны, алкалоіды, антыбіётыкі і інш. Рэчывы, якія ўваходзяць у састаў той ці іншай групы, могуць мець розную хімічную будову, аднак выконваюць падобныя функцыі. Менавіта таму ў аснове класіфікацыі БАР ляжыць іх біялагічная роля, а не хімічная прырода.

**Гармоны** — біялагічна актыўныя рэчывы, якія выпрацоўваюцца спецыялізаванымі клеткамі, тканкамі і органамі (перш за ўсё — залозамі ўнутранай і змешанай сакрэцыі) і ўздзейнічаюць на іншыя клеткі, тканкі і органы (мішэні). Гармоны выяўлены ў большасці мнагаклетачных арганізмаў: жывёл, раслін, грыбоў і інш. Яны ўздзейнічаюць у рэгуляцыі практычна ўсіх працэсаў жыццядзейнасці, у тым ліку росту і індывідуальнага развіцця.

Па хімічнай будове гармоны разнастайныя. Адно з іх маюць бялковую прыроду (гармон росту *самататрапін*, гармоны падстраўнікавай залозы *інсулін* і *глюкагон*), другія з'яўляюцца вятворнымі амінакіслот (гармоны шчытападобнай залозы *тыраксін* і *трыёттыранін*, мазгавога рэчыва наднырачнікаў *адрэналін* і *норадрэналін*). Гармоны *палавых залоз* і *кары наднырачнікаў* уяўляюць сабой стэроіды.

Як і іншыя БАР, гармоны валодаюць высокай актыўнасцю — нават у вельмі малых канцэнтрацыях яны моцна ўздзейнічаюць на працэсы,



якія праходзяць у арганізме. Спецыфічнасць гармонаў выяўляецца ў тым, што яны дзейнічаюць толькі на пэўныя мішэні (напрыклад, гармон росту ўплывае пераважна на клеткі касцявой і храстковай тканак). Гэта тлумачыцца тым, што звязваць малекулы таго ці іншага гармону здольныя толькі тыя клеткі, якія маюць спецыяльныя рэцэптары для гэтага гармону.



Як вам вядома з курса біялогіі 9-га класа, у здравым арганізме выпрацоўка гармонаў зладжана рэгулюецца нервовай сістэмай і гумаральнымі механізмамі. Зніжанае або, наадварот, павышанае сакрэцыя гармонаў прыводзіць да парушэння працэсаў абмену рэчываў і развіцця пэўных захворванняў (успомніце якіх).

**Ферамоны** — біялагічна актыўныя рэчывы, якія выдзяляюцца з арганізма ў навакольнае асяроддзе і ўплываюць на паводзіны, фізіялагічны стан ці развіццё асобін таго ж віду. Ферамоны выкарыстоўваюцца для пазнавання асобін свайго віду, прыцягнення шлюбных партнёраў, у якасці сігналаў аб небяспецы ці метак, якія паказваюць межы індывідуальнай тэрыторыі, дарогу да дома і г. д. Напрыклад, мурашкі выкарыстоўваюць ферамоны для абазначэння пройдзенага шляху. Па пахкіх метках яны могуць знайсці дарогу да мурашніка або вярнуцца да пакінутай здабычы.

Першыя вывучаны ферамон (бамбікол) быў выдзелены з залоз самак тутавага шаўкапрада. Ён здольны прыцягваць самцоў, якія знаходзяцца на адлегласці некалькіх кіламетраў (для пачатку шлюбнага танца дастаткова  $10^{-18}$  г бамбіколу). Каб атрымаць 4 мг бамбіколу, спатрэбілася 313 000 самак шаўкапрада.

Шмат у якіх відаў жывёл выяўлены так званыя ферамоны трывогі. Яны могуць выклікаць розныя паводзінскія рэакцыі: жывёла можа ўцячы, стаіцца, а некаторыя становяцца агрэсіўнымі і нападаюць на ворага. Напрыклад, пчала, якая джаліць ахвяру, разам з ядам упырскае ў ранку сумесь ферамонаў, пах якіх падахвочвае іншых пчол накіравацца да месца ўкусу.

Некаторыя ферамоны ўплываюць на індывідуальнае развіццё іншых асобін. Так, асаблівы ферамон, які выдзяляецца пчалінай маткай, прыгнятае палавое развіццё іншых самак, ператвараючы іх у рабочых пчол. Буйныя апалонікі вылучаюць у вадзіны рэчывы, якія тармозяць метамарфоз больш дробных сабратаў. Толькі тады, калі буйныя апалонікі ператвараюцца ў жаб і пакінуць вадаём, дробныя пачынаюць узмоцнена расці і развівацца.

Хімічная камунікацыя з дапамогай ферамонаў выяўлена не толькі ў жывёл, але і ў мікраарганізмаў. Ферамоны, як і гармоны, дзейнічаюць у малых канцэнтрацыях і ўяўляюць сабой сігнальныя рэчывы. Аднак гармоны рэгулююць працэсы жыццядзейнасці ўнутры арганізма, а ферамоны ў якасці хімічных сігналаў перадаюцца іншым асобінам.

**Вітаміны** — нізкамалекулярныя арганічныя рэчывы, якія забяспечваюць нармальнае працяканне працэсаў жыццядзейнасці. Неабходнасць вітамінаў для арганізма звязана з іх удзелам у розных біяхімічных і фізіялагічных працэсах — абмене мінеральных і арганічных рэчываў, утварэнні эрытрацытаў, развіцці касцей, згусанні крыві і г. д. Многія вітаміны ўваходзяць у састаў складаных ферментаў і забяспечваюць іх функцыянаванне.

Сутачная патрэбнасць арганізма ў вітамінах невялікая, але пры іх недахопе парушаецца абмен рэчываў і развіваюцца характэрныя захворванні. Залішняе паступленне вітамінаў таксама можа стаць прычынай паталагічных змяненняў у арганізме.

Асноўнай крыніцай вітамінаў для гетэратрофных арганізмаў з'яўляецца ежа. Пры гэтым адны вітаміны змяшчаюцца пераважна ў раслінных прадуктах, а другія — у прадуктах жывёльнага паходжання. Пастаўшчыкамі вітамінаў для жывёл і чалавека таксама могуць быць сімбіятычныя мікраарганізмы. Напрыклад, бактэрыі, якія жывуць у тоўстым кішэчніку чалавека, сінтэзуюць вітаміны B<sub>6</sub>, B<sub>12</sub> і інш.

Некаторыя вітаміны арганізм здольны выпрацоўваць самастойна. Аднак для гэтага неабходна паступленне з ежай іх папярэднікаў — *правітамінаў*. Так, у печані чалавека з карацінаў, якія змяшчаюцца ў раслінных прадуктах, утвараецца вітамін А. Пад дзеяннем ультрафіялетавага выпраменьвання ў скуры адбываецца сінтэз вітаміна D з правітаміна (вытворнага халестэрыну).

Вітаміны маюць розную хімічную структуру і ўласцівасці, іх малекулы могуць быць гідрафобнымі ці гідрафільнымі. У адносінах да растваральнікаў вылучаюць дзве групы вітамінаў — *тлушчарастваральныя* (напрыклад, А, D) і *водарастваральныя* (С, вітаміны групы В і інш.).

**Алкалоіды** — прыродныя азотазмяшчальныя арганічныя злучэнні, якія валодаюць выяўленай фізіялагічнай актыўнасцю. Алкалоіды маюць пераважна расліннае паходжанне, але таксама вызначана, што яны сінтэзуюцца некаторымі грыбамі і жывёламі. Большасць алкалоідаў ядавітыя для жывёл і чалавека і маюць горкі смак. Лічыцца, што асноўная функцыя гэтых рэчываў у жывых арганізмах — ахоўная. Так, высокае ўтрыманне алкалоідаў у шэрагу раслін ахоўвае іх ад паядання жывёламі, перашкаджае развіццю хваробатворных бактэрый і паразітычных грыбоў.

Вядома, што некаторыя алкалоіды ў малых дозах могуць аказваць лячэбнае дзеянне. Адны з іх уплываюць на работу нервовай сістэмы, другія — на тонус крывяносных сасудаў і г. д. Напрыклад, *кадэін* і *марфін* выкарыстоўваюцца ў медыцыне ў якасці моцных абязбольвальных сродкаў (аднак іх прыём выклікае наркатычную залежнасць). *Атрапін* ужываецца



для зняцця спазмаў гладкіх мышцаў, *кафеін* — для стымуляцыі работы нервовай і сардэчна-сасудзістай сістэм пры некаторых хваробах і атручэннях ядамі, якія прыгнятаюць цэнтральную нервовую сістэму (ЦНС).

**Антыбіётыкі** — біялагічна актыўныя рэчывы прыроднага ці сінтэтычнага паходжання, якія падаўляюць рост і развіццё жывых клетак або выклікаюць іх гібель. Большасць вядомых прыродных антыбіётыкаў выпрацоўваецца мікраарганізмамі — бактэрыямі, мікраскапічнымі грыбамі (напрыклад, *пеніцылін*). Гэтыя рэчывы прыгнятаюць ці спыняюць жыццядзейнасць іншых мікраарганізмаў.

Антыбіётыкі знаходзяць шырокае ўжыванне ў медыцыне для лячэння захворванняў, выкліканых хваробатворнымі бактэрыямі, паразітычнымі пратыстамі і грыбамі. Некаторыя антыбіётыкі падаўляюць рост і размнажэнне злаякасных клетак арганізма і ў сувязі з гэтым выкарыстоўваюцца ў супрацьпухліннай тэрапіі. Важна памятаць, што антыбіётыкі трэба прымаць толькі па назначэнні ўрача, прычым строга выконваць рэкамендацыі па іх прыёме. Самалячэнне і злоўжыванне антыбіётыкамі нярэдка прыводзіць да паслаблення ўласнай аховы арганізма, гібелі сімбіятычных мікраарганізмаў кішчэніка, захворванняў печані і нырак.



§ 9-1



У залежнасці ад выконваемых функцый вылучаюць некалькі груп біялагічна актыўных рэчываў. Гармоны рэгулююць інтэнсіўнасць працякання фізіялагічных працэсаў у арганізме. Феромоны ўплываюць на паводзіны, стан ці развіццё асобін свайго віду. Вітаміны ўдзельнічаюць у абмене рэчываў, яны неабходны для нармальнай жыццядзейнасці арганізмаў. Алкалоіды ахоўваюць жывыя арганізмы ад хваробатворных мікраарганізмаў і паядання. Антыбіётыкі прыгнятаюць рост і размнажэнне мікраарганізмаў, злаякасных клетак ці выклікаюць іх гібель.



1. Назавіце найважнейшыя групы біялагічна актыўных рэчываў.
2. Якую хімічную прыроду могуць мець гармоны? Прывядзіце прыклады. У чым выражаецца спецыфічнасць гармонаў? Чым тлумачыцца гэта ўласцівасць?
3. На аснове матэрыялу, вывучанага ў 9-м класе, дакажыце, што залішня і недасатковая сакрэцыя гармонаў вядзе да парушэнняў працэсаў жыццядзейнасці і развіцця арганізма.
4. Якія функцыі выконваюць феромоны? Што агульнае ў фермонаў і гармонаў? У чым заключаецца галоўнае адрозненне паміж гэтымі групамі біялагічна актыўных рэчываў?
5. Якая біялагічная роля вітамінаў? Што можа служыць крыніцай вітамінаў для чалавека і жывёл?
6. Што ўяўляюць сабой алкалоіды? Якое значэнне маюць гэтыя злучэнні ў прыродзе і жыцці чалавека?

7\*. З чым звязана выкарыстанне антыбіётыкаў у медыцыне? Выкарыстоўваючы веды, атрыманыя пры вывучэнні арганізма чалавека ў 9-м класе, растлумачце, чаму злоўжыванне антыбіётыкамі нярэдка прыводзіць да расстройтваў стрававання, аслаблення ахоўных сіл арганізма, хвароб печані і нырак?



ЯКАСНАЯ РЭАКЦЫЯ НА АСКАРЫНАВУЮ КІСЛАТУ (ВІТАМІН С)



### ПАДВЯДЗЁМ ВЫНІКІ

Жывыя арганізмы ўтвораны рознымі макра- і мікраэлементамі. Кожны з іх выконвае пэўныя біялагічныя функцыі.

Сярод неарганічных рэчываў у саставе жывых арганізмаў вядучая роля належыць вадзе. Яна выконвае шэраг функцый, найважнейшымі з якіх з'яўляюцца структурная, метабалічная, транспартная і тэрмарэгулятарная. Арганічныя рэчывы прадстаўлены як нізкамалекулярнымі злучэннямі, так і біяпалімерамі — бялкамі, поліцукрыдамі і нуклеінавымі кіслотамі. Манамерамі для пабудовы іх малекул служаць адпаведна амінакіслоты, монацукрыды і нуклеатыды.

Малекулы бялкоў маюць складаную прасторавую структуру, якая забяспечвае выкананне разнастайных функцый: структурнай, транспартнай, рэгулятарнай, ахоўнай і г. д. Асаблівай увагі заслугоўвае ферментатыўная (каталітычная) функцыя бялкоў. Ферменты, паскараючы працяканне біяхімічных рэакцый, адыгрываюць галоўную ролю ў забеспячэнні жыццядзейнасці арганізмаў.

Да арганічных злучэнняў жывых арганізмаў належаць таксама ліпіды і вугляводы. Іх біялагічная роля звязана перш за ўсё з выкананнем энергетычнай, запасальнай і структурнай функцый.

Унікальныя функцыі ў клетках выконваюць нуклеінавыя кіслоты. Малекулы ДНК забяспечваюць захоўванне, рэалізацыю і перадачу спадчыннай інфармацыі жывых арганізмаў (інфармацыі пра першасную структуру бялкоў). У рэалізацыі гэтай інфармацыі, г. зн. у сінтэзе бялкоў, таксама ўдзельнічаюць матрычныя, рыбасомныя і транспартныя РНК.

Важную ролю ў клетках адыгрывае АТФ — універсальны акумулятар і пераносчык энергіі.

Гармоны, ферамоны, вітаміны, алкалоіды і антыбіётыкі з'яўляюцца біялагічна актыўнымі рэчывамі (БАР). У аснове класіфікацыі БАР ляжаць выконваемыя імі функцыі, а не хімічная прырода.

## Клетка — структурная і функцыянальная адзінка жывых арганізмаў

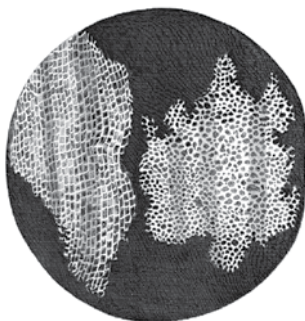


Хімічныя злучэнні, якія былі вывучаны ў папярэднім раздзеле, забеспечваюць усе працэсы жыццядзейнасці, аднак жывымі іх назваць нельга. Наступным пасля малекулярнага з’яўляецца **клетачны** ўзровень арганізацыі жыцця. Менавіта клетка ўяўляе сабой найменшую жывую сістэму, паколькі валодае ўсімі прыметамі і ўласцівасцямі жывога. Яна ажыццяўляе абмен рэчываў і энергіі, здольная да самарэгуляцыі, росту, развіцця, размнажэння і г. д. Клеткі і іх кампаненты падобныя ва ўсіх жывых арганізмаў: у кожнай клетцы ёсць цытаплазматычная мембрана, цытаплазма і генетычны (спадчынны) матэрыял. Будову і функцыянаванне клетак, працэсы іх размнажэння, старэння і гібелі вывучае навука **цыталогія**.

### § 10. Клетачная тэорыя. Агульны план будовы клеткі



а



б

**Адкрыццё клетак.** Вывучэнне клетак стала магчымым дзякуючы вынаходству мікраскопа — прыбора, прызначанага для атрымання павялічаных відарысаў. Чалавекам, які ўпершыню ўбачыў клеткі пры дапамозе мікраскопа (мал. 26, а), быў англійскі вучоны Р. Гук. У 1665 г. пры разглядзе тонкага зрэзу коркавага слоя драўніннай кары ён выявіў, што корак падзелены на мноства малюсенькіх ячэек (мал. 26, б). Гэтыя ячэйкі, падобныя да пчаліных сотаў, Гук назваў **клеткамі**. Той жа план будовы ён назіраў і пры вывучэнні іншых тканак раслін. З часам тэрмін «клетка» зацвердзіўся ў біялогіі.

Мал. 26. Мікраскоп Р. Гука (а) і малюнак клетак корку, выкананы вучоным (б)

Праз некалькі гадоў галандскі натураліст А. ван Левенгук зрабіў мікраскоп, які валодаў значна большым павелічэннем. З яго дапамогай даследчык выявіў рухомыя мікраскапічныя арганізмы — інфузорыі, амёбы, бактэрыі. Таксама Левенгук упершыню назіраў клеткі жывёл — эрытрацыты і сперматазоіды.

Мікраскоп Левенгука ўяўляў сабой пласцінку, у цэнтры якой была адна лінза (гл. мал.). Назіральніку трэба было глядзець праз лінзу на ўзор, замацаваны з другога боку. Нягледзячы на прастату канструкцыі, мікраскоп Левенгука дазваляў атрымаць павелічэнне ў некалькі разоў большае, чым у іншых мікраскопах таго часу. На працягу жыцця Левенгук вырабіў не менш за 25 мікраскопаў. Дзевяць з іх, якія захаваліся да нашых дзён, здольныя павялічваць відарыс у 275 разоў. Аднак мяркуецца, што Левенгук стварыў мікраскопы, якія маглі даваць павелічэнне да 500 разоў.



**Клеточная теория.** У першай палове XIX ст. адбывалася паглыбленне ўяўленняў пра будову клеткі, што звязана з істотнымі паляпшэннямі канструкцыі мікраскопаў. У клетках былі выяўлены ядро і некаторыя іншыя структуры. Да гэтага лічылася, што жывымі з'яўляюцца клетачныя сценкі, а ўнутры клеткі або пустыя, або запоўнены «пажыўным сокам». У 1840-х гг. вучоныя прыйшлі да разумення таго, што найважнейшыя працэсы жыццядзейнасці працякаюць менавіта ўнутры клетак, а не ў клетачных сценках.

У 1838 г. нямецкі батанік М. Шлейдэн даказаў, што розныя органы раслін складаюцца з клетак. Акрамя таго, вучоны паказаў значнасць ядра для жыццядзейнасці клеткі.

Стваральнікам **клетачнай тэорыі** стаў нямецкі залаг Т. Шван. Ён вызначыў, што тканкі жывёл складаюцца з клетак, кожная з якіх мае ядро. Супастаўляючы ўласныя назіранні з працамі Шлейдэна, Шван прыйшоў да высновы пра тое, што на мікраскапічным узроўні жывёлы і расліны ўладкаваны па адзіным плане. У 1839 г. была апублікавана яго кніга «Мікраскапічныя даследаванні пра адпаведнасць у структуры і росце жывёл і раслін». У гэтай кнізе былі выяўлены асноўныя ідэі клетачнай тэорыі: усе арганізмы складаюцца з клетак, пры гэтым клеткі раслін і жывёл падобныя па будове і працэсах жыццядзейнасці. Стварэнне клетачнай тэорыі было адным з найвялікшых адкрыццяў у прыродазнаўстве XIX ст., нараўне з эвалюцыйнай тэорыяй і законам захавання і ператварэння энергіі.



У 1855 г. нямецкі ўрач Р. Вірхаў дапоўніў клетачную тэорыю. Ён сфармуляваў прынцып «Кожная клетка — ад клеткі», г. зн. клеткі ўтвараюцца з іншых клетак у выніку дзялення.

У далейшым вучэнне пра клетку апынулася ў цэнтры ўвагі ўсёй біялагічнай навукі і бурна развівалася. Для вывучэння клетак і іх кампанентаў сталі выкарыстоўваць разнастайныя фізічныя і біяхімічныя метады. Гэта дазволіла зразумець складанасць будовы клетак і разнастайнасць працэсаў, якія ў іх працякаюць.

Клетачная тэорыя, галоўныя палажэнні якой былі сфармуляваны ў сярэдзіне XIX ст., з'яўляецца адной з асноўных ідэй сучаснай біялогіі. Яна зацвярджае адзінства прынцыпу будовы і развіцця ўсіх арганізмаў, якія маюць клетачную будову. Клетачная тэорыя стала адной з перадумоў узнікнення эвалюцыйнага вучэння, падмуркам для развіцця такіх дысцыплін, як гісталагія (навука пра тканкі), эмбрыялогія (навука пра зародкавае развіццё арганізмаў), фізіялогія і інш.

Сучасная клетачная тэорыя ўключае наступныя асноўныя палажэнні.

1. Клетка — элементарная структурна-функцыянальная адзінка жывых арганізмаў, якая валодае ўсімі прыметамі і ўласцівасцямі жывога.

2. Клеткі ўсіх арганізмаў падобныя па хімічным саставе, будове і працэсах жыццядзейнасці.

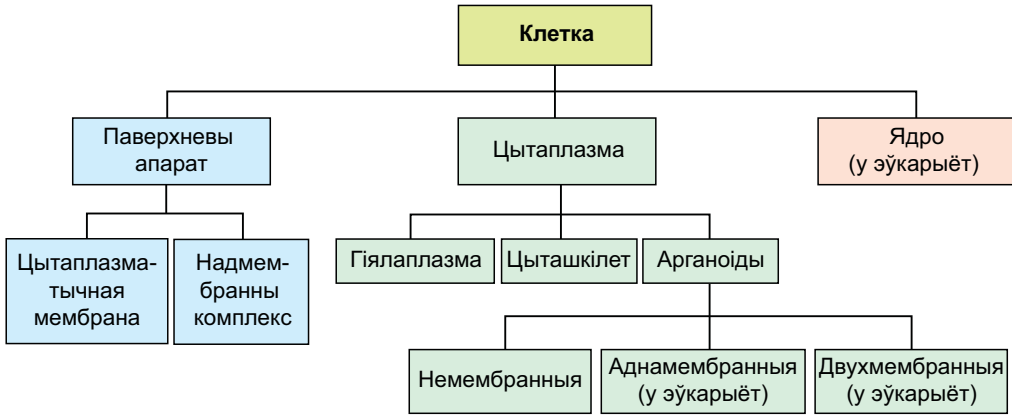
3. Усе клеткі ўтвараюцца толькі ў выніку дзялення зыходных (мацярынскіх) клетак.

4. Клеткі большасці мнагаклетачных арганізмаў спецыялізуюцца па функцыях і ўтвараюць тканкі. З тканак складаюцца органы і сістэмы органаў.

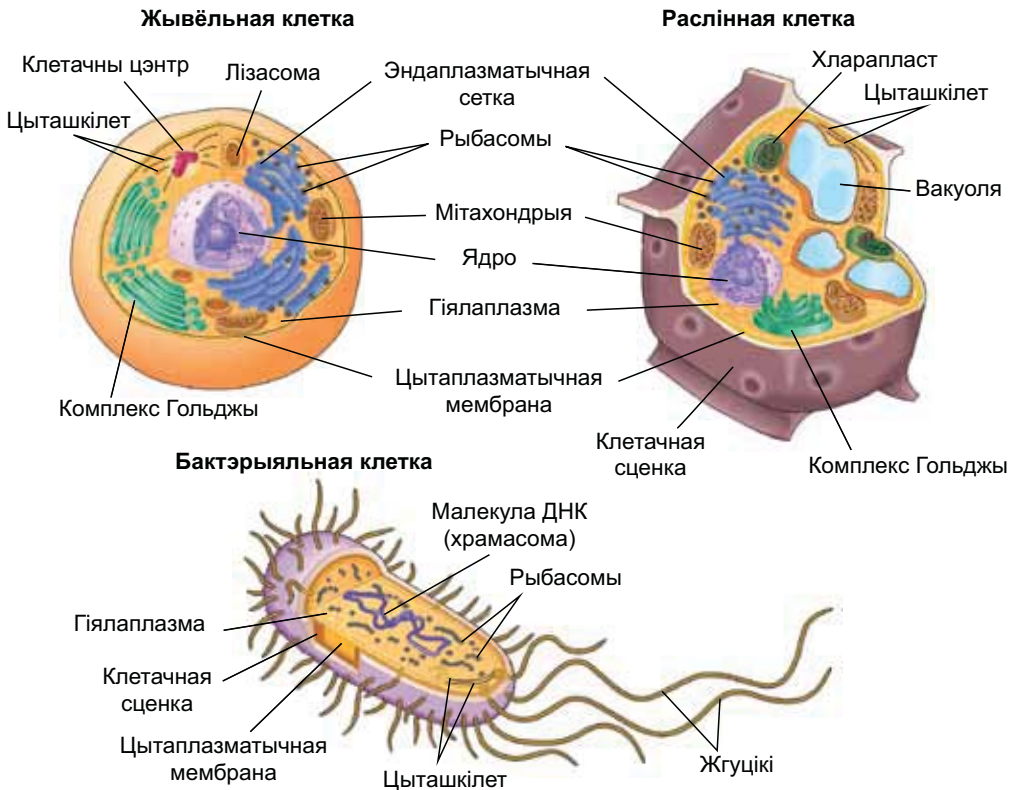
*Агульны план будовы клетак.* Усе клеткі маюць адзіны прынцып арганізацыі. Змесціва кожнай з іх аддзелена ад пазаклетачнага асяроддзя цытаплазматычнай мембранай (плазмалемай), а ўнутры знаходзіцца цытаплазма з рознымі арганоідамі і генетычны матэрыял у выглядзе ДНК. Аднак у сувязі з асаблівасцямі будовы клетак усе клетачныя формы жыцця падзяляюцца на дзве групы — **пракарыёты**, ці **даядзерныя**, і **эўкарыёты**, ці **ядзерныя**.

Як вы ведаеце, да пракарыётаў належаць бактэрыі, а да эўкарыётаў — пратэісты, грыбы, расліны і жывёлы. Клеткі пракарыёт пабудаваны параўнальна проста. Такія клеткі не маюць ядра, іх генетычны матэрыял (ДНК) знаходзіцца непасрэдна ў цытаплазме. У эўкарыятычных клетках ёсць ядро, аддзеленае ад цытаплазмы двайной мембранай. Менавіта ў ім змяшчаюцца малекулы ДНК.

Асноўнымі структурнымі кампанентамі клетак з'яўляюцца паверхневы апарат, цытаплазма, а ў эўкарыёт таксама ядро (мал. 27, 28).



Мал. 27. План будовы клеткі



Мал. 28. Будова жывёльнай, расліннай і бактэрыяльнай клетак

**Паверхневы апарат** клеткі з’яўляецца бар’ерам, які аддзяляе яе змесціва ад пазаклетачнага асяроддзя. Ён забяспечвае абмен рэчываў, узаемадзеянне клеткі са знешнім асяроддзем і суседнімі клеткамі. Паверхневы апарат складаецца з цытаплазматычнай мембраны і надмембраннага комплексу.

*Цытаплазматычная мембрана* — асноўная частка паверхневага апарата, характэрная для ўсіх клетак. *Надмембранны комплекс* клетак бактэрый, грыбоў, раслін і многіх водарасцей прадстаўлены трывалай клетачнай сценкай. Яна забяспечвае ахову ад знешніх уздзеянняў, надае клетцы пэўную форму. Надмембранным комплексам клетак жывёл з’яўляецца глікакалікс — тонкі слой, які складаецца з малекул вугляводаў, звязаных з бялкамі і ліпідамі цытаплазматычнай мембраны.

**Цытаплазма** — гэта ўсё ўнутранае змесціва клеткі, за выключэннем ядра, абмежаванае цытаплазматычнай мембранай. Цытаплазма складаецца з вадкай часткі — гіялаплазмы і размешчаных у ёй цыташкілета і арганідаў. *Гіялаплазма* ўяўляе сабой раствор, які змяшчае розныя арганічныя і неарганічныя рэчывы. Яна аб’ядноўвае ўсе клетачныя структуры і забяспечвае іх узаемадзеянне.

*Цыташкілет* эўкарыёт з’яўляецца механічным каркасам цытаплазмы, які забяспечвае падтрыманне і змяненне формы клетак, унутрыклетачныя рухі і г. д. Доўгі час лічылася, што цыташкілетам валодаюць толькі эўкарыятычныя клеткі, аднак на сённяшні дзень вызначана, што ён ёсць і ў пракарыятычных.

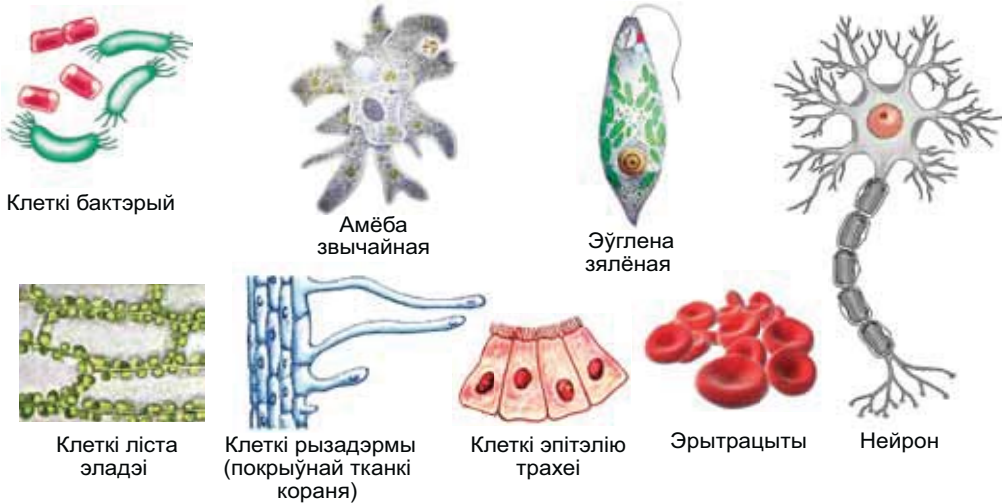
*Арганіды (арганэлы)* — пастаянныя спецыялізаваныя структуры цытаплазмы, якія ажыццяўляюць пэўныя функцыі, жыццёва неабходныя для клеткі. У залежнасці ад будовы вылучаюць немембранныя, аднаембранныя і двухмембранныя арганіды. Мембранныя арганіды характэрны толькі для клетак эўкарыёт.

Немембраннымі арганідамі з’яўляюцца рыбасомы, клетачны цэнтр, міяфібрылы. Да аднаембранных арганідаў належаць эндаплазматычная сетка, комплекс Гольджы, лізасомы, вакуолі, да двухмембранных — мітахондры і пластыды.

**Ядро** — найважнейшая структура эўкарыятычнай клеткі, яе інфармацыйны цэнтр. У ядры змяшчаюцца малекулы ДНК, якія забяспечваюць захоўванне і рэалізацыю спадчыннай інфармацыі, а таксама яе перадачу даччыным клеткам пры дзяленні.

**Разнастайнасць клетак.** Як адзначалася, клеткі жывых арганізмаў маюць агульны план будовы. Аднак яны могуць адрознівацца адна ад адной памерамі, формай, некаторымі асаблівасцямі будовы (мал. 29).





Мал. 29. Разнастайнасць клетак

Самымі маленькімі з'яўляюцца пракарыятычныя клеткі, іх дыяметр звычайна складае 0,5—10 мкм. Большасць клетак эўкарыёт мае памер 10—100 мкм. Радзей сустракаюцца клеткі яшчэ большых памераў. Напрыклад, мышачныя валокны жывёл і сітападобныя трубка раслін могуць дасягаць у даўжыню 1—10 мм. Дыяметр яйцаклетак буйных птушак і акул складае некалькі сантыметраў, а адросткі нейронаў бываюць даўжынёй больш за 1 м.

У мнагаклетачным арганізме адрозненні паміж клеткамі абумоўлены тым, што розныя клеткі выконваюць розныя функцыі. Аднак нават самым высокаспецыялізаваным клеткам уласціва наяўнасць тых жа арганоідаў і рэчываў, якія характэрны і для іншых клетак.



Клетачная тэорыя з'яўляецца адным з асноўных абагульненняў сучаснай біялогіі. Паводле гэтай тэорыі элементарнымі структура-функцыянальнымі адзінкамі арганізмаў з'яўляюцца клеткі. Яны валодаюць усімі прыметамі і ўласцівасцямі жывога і ўтвараюцца толькі ў выніку дзялення зыходных клетак. У сувязі з асаблівасцямі будовы клетак арганізмы падзяляюцца на дзве групы — пракарыёты і эўкарыёты. Усе клеткі маюць агульны прыныцып арганізацыі: іх асноўнымі кампанентамі з'яўляюцца паверхневы апарат, цытаплазма і ядро (у эўкарыёт).



1. Каго лічаць першаадкрывальнікам клеткі? Хто з'яўляецца аўтарам і заснавальнікам клетачнай тэорыі? Хто дапоўніў клетачную тэорыю прынцыпам «Кожная клетка — ад клеткі»?

Р. Вірхаў, М. Шлейдэн, Р. Гук, Т. Шван, А. ван Левенгук.

2. Якія паняцці прапушчаны ў біялагічных «ураўненнях» і заменены пыталнікамі?

Паверхневы апарат клеткі + ? + ядро = эўкарыятычная клетка

Цытаплазма = арганоіды + цыташкілет + ?

Надмембранны комплекс + ? = паверхневы апарат клеткі

3. Сфармулюйце асноўныя палажэнні клетачнай тэорыі. Які ўклад унесла клетачная тэорыя ў развіццё прыродазнаўчанавуковай карціны свету?

4. Назавіце асноўныя кампаненты клетак. Якія з іх уласцівыя толькі клеткам эўкарыёт?

5. Пра што сведчыць той факт, што клеткі розных арганізмаў маюць агульны план будовы?

6\*. Выкарыстоўваючы веды, атрыманыя пры вывучэнні біялогіі ў 6—10-м класах, на прыкладах дакажыце справядлівасць чацвёртага палажэння клетачнай тэорыі.

7\*. У сувязі з чым некаторыя клеткі дасягаюць параўнальна буйных памераў (яйкаклеткі птушак і акул, клеткі мякаці пладоў і эндасперма насення, нейроны з адросцкамі больш за 1 м)? Як вы думаеце, ці ёсць межы павелічэння (памяншэння) памераў клетак? Чым яны могуць быць абумоўлены?



§10-1



ПАЎТАРЭННЕ АДКРЫЦЦА ГУКА



## § 11. Паверхневы апарат клеткі

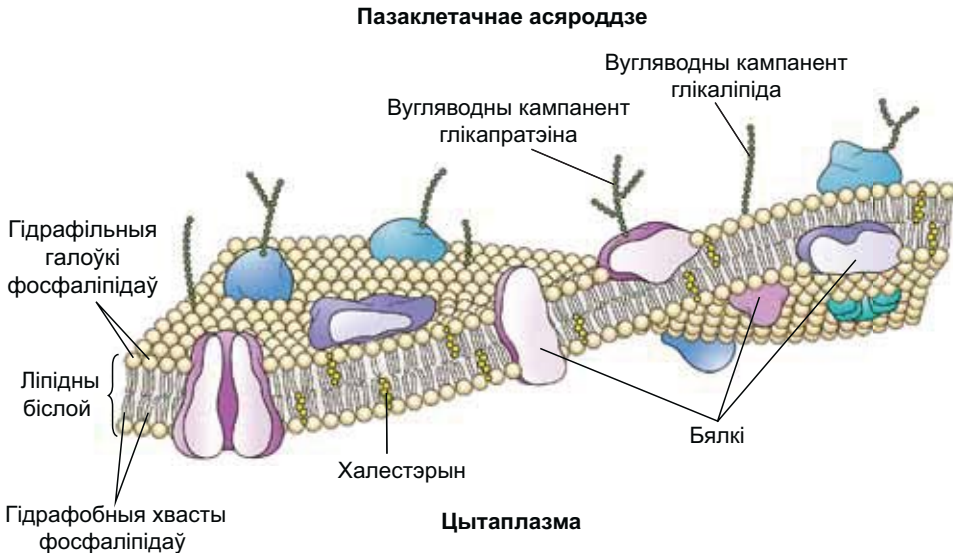
Абавязковым кампанентам паверхневага апарата любой клеткі з'яўляецца **цытаплазматычная мембрана (плазмалема)**. Яна аддзяляе і ахоўвае ўнутранае змесціва клеткі ад знешняга асяроддзя. Найважнейшай уласцівасцю цытаплазматычнай мембраны з'яўляецца *выбіральная пранікальнасць*. Розныя рэчывы праходзяць праз плазмалему з рознай хуткасцю, а для некаторых яна практычна непранікальная. Такім чынам, цытаплазматычная мембрана забяспечвае абмен рэчываў паміж клеткай і пазаклетачным асяроддзем і пастаянства хімічнага саставу клеткі.

**Хімічны састаў і будова плазмалемы.** Цытаплазматычная мембрана складаецца пераважна з ліпідаў і бялкоў. У састаў плазмалемы таксама ўваходзяць вугляводы, якія з'яўляюцца кампанентамі складаных ліпідаў і бялкоў — глікаліпідаў і глікапратэінаў. Таўшчыня цытаплазматычнай мембраны складае каля 7,5 нм.

Каля паловы масы плазмалемы састаўляюць ліпіды, прадстаўленыя галоўным чынам фосфаліпідамі. Яны фарміруюць аснову будовы мембраны — *ліпідны біслой* (двайны слой), у якім гідрафобныя хвасты малекул апушчаны ўнутр, а гідрафільныя галоўкі размяшчаюцца звонку (гл. мал. 19, с. 37). Акрамя фосфаліпідаў, у састаў дваюнога слоя ўваходзяць і іншыя ліпіды, напрыклад стэроіды. Бялкі, якія ўваходзяць у састаў мембраны, могуць пранізваць ліпідны біслой наскрозь, часткова апускацца ў яго ці прылягаць да паверхні (мал. 30).

Мембранныя ліпіды і бялкі звязаны паміж сабой не кавалентнымі сувязямі, а за кошт гідрафобных і электростатычных узаемадзеянняў. У сувязі з гэтым малекулы дадзеных рэчываў могуць рухацца ўздоўж плоскасці мембраны. Такім чынам, плазмалема з'яўляецца дынамічнай структурай — малекулы бялкоў перамяшчаюцца ў рухомым, цякучым ліпідным біслоі, як у вадкасці. Уласцівасць цякучасці абумоўлівае пластычнасць плазмалемы, дзякуючы чаму яна здольная, напрыклад, хутка аднаўляць сваю цэласнасць пасля нязначных пашкоджанняў.

У клетках эўкарыёт, акрамя плазмалемы, ёсць унутраныя мембраны, якія абмяжоўваюць ядро і мембранныя арганойды. Для ўсіх біялагічных мембран характэрны агульны план будовы — іх аснову складае ліпідны біслой, з якім звязаны малекулы бялкоў.



Мал. 30. Будова цытаплазматычнай мембраны

**Функцыі плазмалемы.** Цытаплазматычная мембрана акружае цытаплазму і фізічна аддзяляе клетку ад пазаклетачнага асяроддзя. Акрамя таго, плазмалема абмяжоўвае паступленне ў клетку і вывадзенне з яе пэўных хімічных рэчываў. Такім чынам, цытаплазматычная мембрана выконвае *бар’ерную* функцыю.

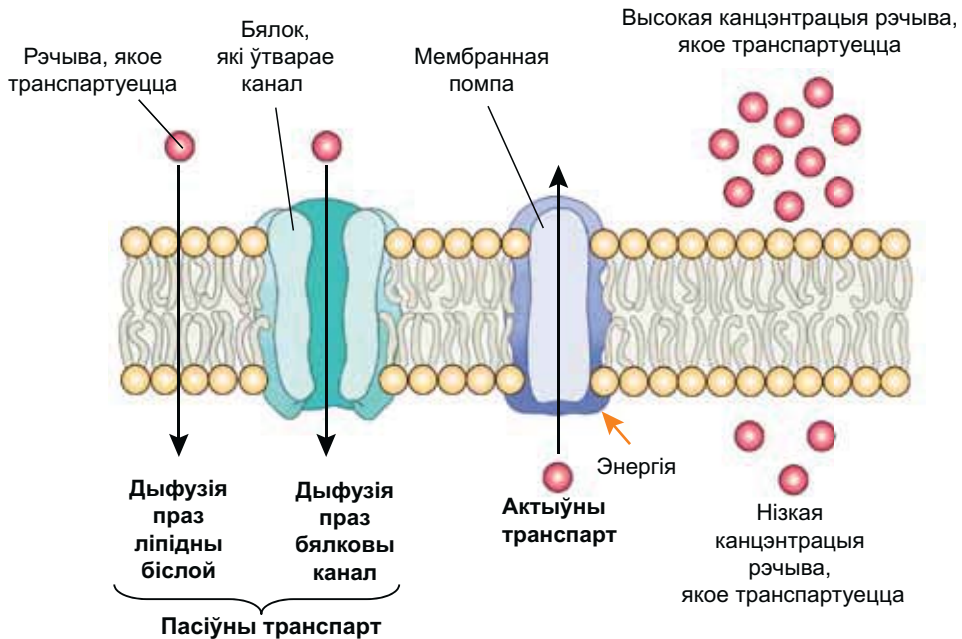
Яшчэ адной функцыяй плазмалемы з’яўляецца *рэцэптарная*. Яна абумоўлена тым, што некаторыя мембранныя бялкі з’яўляюцца рэцэптарамі. Калі малекула пэўнага рэчыва звязваецца з такім бялком, ён змяняе сваю прасторавую канфігурацыю. Гэта забяспечвае перадачу сігнала з пазаклетачнага асяроддзя ў клетку і прыводзіць да змянення працякання пэўных унутрыклетачных працэсаў. Так, існуюць мембранныя рэцэптары для гармонаў і нейрамедыятараў (успомніце механізм перадачы нервовага імпульсу ў сінапсе, вывучаны ў курсе біялогіі 9-га класа). Узаемадзеянне рэцэптараў з хімічнымі рэчывамі забяспечвае таксама распазнаванне смакаў (напрыклад, рэцэптарнымі клеткамі смакавых пупышак языка чалавека) і пахаў (нюхальнымі рэцэптарамі эпітэлію насавой поласці). Змяненне прасторавай структуры мембранных бялкоў можа адбывацца не толькі пад дзеяннем пэўных рэчываў, але і ў выніку ўплыву тых ці іншых фізічных фактараў. Так, малекулы зрокавых рэцэптарных бялкоў палачак і колбачак сятчаткі вока рэагуюць на святло, існуюць тэрмаадчувальныя бялкі-рэцэптары і г. д.

Плазмалема таксама выконвае функцыю *пазнавання іншых клетак*. Над вонкавай паверхняй цытаплазматычнай мембраны, як антэны, выступаюць разгалінаваныя і лінейныя малекулы вугляводаў (гл. мал. 30). Яны злучаны кавалентнымі сувязямі з мембраннымі бялкамі і ліпідамі, утвараючы глікапратэіны і глікаліпіды. Гэтыя малекулы ў розных тыпаў клетак маюць спецыфічныя адрозненні і з’яўляюцца маркерамі, якія дазваляюць апазнаць клетку. З іх дапамогай клеткі пазнаюць адна адну і ўзаемадзейнічаюць (напрыклад, сперматазоід і яйцаклетка), правільна арыентуюцца і звязваюцца паміж сабой пры фарміраванні тканак і органаў.

Адной з найважнейшых функцый цытаплазматычнай мембраны з’яўляецца *транспартная*. Транспарт праз плазмалему забяспечвае дастаўку рэчываў, неабходных клетцы, і выдаленне з яе канчатковых прадуктаў абмену. Дзякуючы транспартнай функцыі цытаплазматычнай мембраны таксама ажыццяўляецца сакрэцыя клеткамі розных біялагічна актыўных рэчываў.

**Спосабы транспарту рэчываў праз цытаплазматычную мембрану.** Перамяшчэнне рэчываў праз плазмалему можа ажыццяўляцца за кошт дыфузіі, актыўнага транспарту і транспарту ў мембраннай упакоўцы.

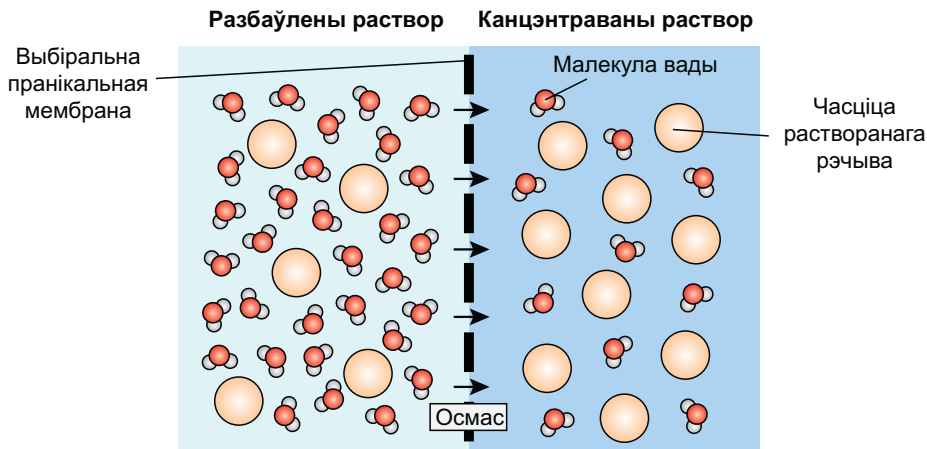
Пры дыфузіі часціцы рэчыва рухаюцца праз мембрану з вобласці высокай канцэнтрацыі гэтага рэчыва ў вобласць больш нізкай. За кошт дыфузіі транспартуюцца толькі невялікія малекулы ці іоны. Пры гэтым непалярныя злучэнні, такія як  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$  і інш., перамяшчаюцца непасрэдна праз ліпідны біслой. Дыфузія іонаў і гідрафільных рэчываў, напрыклад вады, мачавіны, адбываецца праз спецыяльныя каналы. Такія каналы, утвораныя бялкамі, пранізваюць мембрану наскрозь (мал. 31).



Мал. 31. Схема транспарту рэчываў праз плазмалему

Як ужо адзначалася, цытаплазматычная мембрана валодае выбіральнай пранікальнасцю. Малекулы вады лёгка праходзяць праз плазмалему, але шмат для якіх раствораных рэчываў яна з’яўляецца перашкодай. Калі канцэнтрацыі гэтых рэчываў унутры клеткі і ў пазаклетачным асяроддзі адрозніваюцца, назіраецца з’ява осмасу (мал. 32, с. 64). **Осмас** — гэта перамяшчэнне малекул вады праз выбіральна пранікальную мембрану. Пры гэтым малекулы вады рухаюцца з вобласці, дзе ўтрыманне вады большае (г. зн. з больш разбаўленага раствора), у вобласць, дзе яе менш (у больш канцэнтраваны раствор).





Мал. 32. Схема працэсу осмасу

Перамяшчэнне малекул вады адбываецца да таго часу, пакуль канцэнтрацыі раствораў па абодва бакі мембраны не ўраўнуюцца. Такім чынам, осмас з'яўляецца асаблівым відам дыфузіі, пры якім раўнавага дасягаецца за кошт руху праз мембрану толькі малекул растваральніка — вады. Дзякуючы осмасу адбываецца выраўноўванне канцэнтрацый раствараных рэчываў у клетцы і ў пазаклетачным асяроддзі.

Усе віды дыфузіі забяспечваюць транспарт рэчываў з вобласці іх больш высокай канцэнтрацыі ў вобласць нізкай. Перанос адбываецца без затрат энергіі, таму дыфузію адносяць да **пасіўнага транспарту**.

Перамяшчэнне нізкамалекулярных рэчываў, у тым ліку іонаў, праз плазмалему з вобласці нізкай канцэнтрацыі ў вобласць больш высокай забяспечвае **актыўны транспарт**. Пры гэтым затрачваецца энергія, крыніцай якой у большасці выпадкаў служыць АТФ. Актыўны транспарт ажыццяўляецца спецыяльнымі бялкамі — *мембраннымі помпамі* (гл. мал. 31). Працэсы актыўнага транспарту адыгрываюць важную ролю ў ажыццяўленні працэсаў жыццядзейнасці, такіх як узбуджэнне клетак, перадача нервовых імпульсаў, скарачэнне мышачных валокнаў і інш.

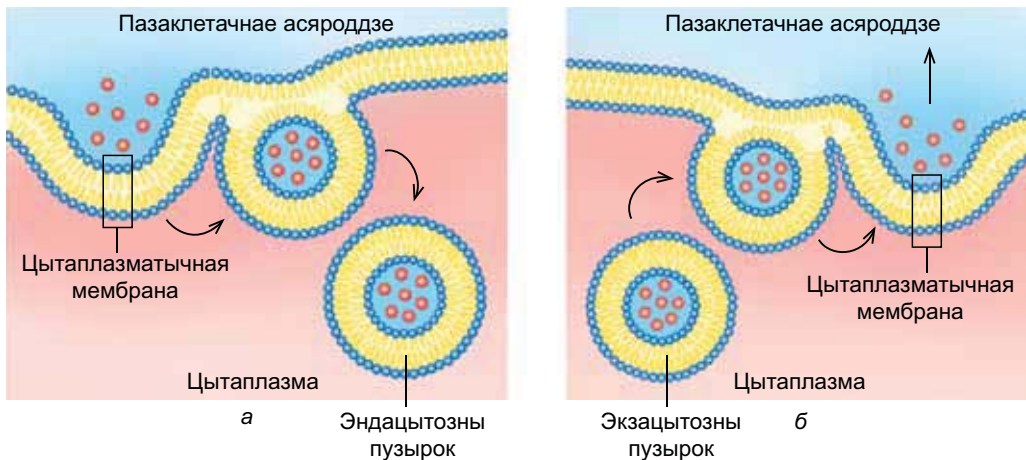
Прыкладам мембраннай помпы можа служыць  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -АТФаза. За кошт энергіі, якая вылучаецца пры гідролізе малекулы АТФ, яна пераносіць тры іоны  $\text{Na}^+$  з клеткі ў пазаклетачнае асяроддзе, а два іоны  $\text{K}^+$  — наадварот у клетку. Гэты працэс шматразова паўтараецца. Такім чынам, за кошт работы  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -АТФазы ў пазаклетачным асяроддзі ствараецца высокая канцэнтрацыя  $\text{Na}^+$ , а ўнутры клеткі —  $\text{K}^+$ . У выніку на цытаплазматычнай мембране ўзнікае рознасць патэнцыялаў, што неабходна для ўзбуджэння клеткі, узнікнення і правядзення нервовага імпульсу.

Макрамалекулы, напрыклад бялкі, поліцукрыды і нуклеінавыя кіслоты, а таксама харчовыя часцінкі транспартуюцца ў **мембраннай упакоўцы**. Адрозніваюць два тыпы транспарту ў мембраннай упакоўцы — эндацытоз і эксацытоз. Гэтак жа як і актыўны транспарт, працэсы энда- і эксацытозу адбываюцца з затратамі энергіі.

**Эндацытоз** — паглынне клеткай цвёрдых часцінак ці раствораў шляхам утварэння пазыркоў, акружаных мембранай. Дзякуючы цяжучасці і пластычнасці плазмалемы рэчывы, якія захопліваюцца, абвалакваюцца ёю і памяшчаюцца ў *эндацытозны пазырок*. Далей пазырок аддзяляецца ад мембраны і перамяшчаецца ўнутр клеткі (мал. 33, а). Вылучаюць два тыпы эндацытозу: *фагацытоз* — паглынне цвёрдых часцінак і *пінацытоз* — паглынне вадкасці з растворанымі ў ёй рэчывамі.

Эндацытоз характэрны для клетак усіх эўкарыятычных арганізмаў. Напрыклад, у гетэратрофных пратыстаў ён забяспечвае жыццё. У арганізме жывёл эндацытоз, акрамя таго, адыгрывае ахоўную ролю. Так, лейкоцыты шляхам фагацытозу захопліваюць бактэрыі, якія трапілі ў арганізм, і іншыя чужародныя аб'екты.

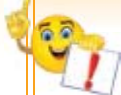
**Эксацытоз** — гэта працэс, адваротны эндацытозу. У эўкарыятычнай клетцы рэчывы, якія выдзяляюцца, змяшчаюцца ў *эксацытозны пазырок*, абмежаваны мембранай. Ён перамяшчаецца да цытаплазматычнай мембраны, далей абедзве мембраны зліваюцца, і змесціва пазырка аказваецца ў пазаклетачным асяроддзі (мал. 33, б). Так з клеткі выводзяцца непэратраўленыя рэшткі ежы, ферменты, гармоны, поліцукрыды і іншыя рэчывы.



Мал 33. Схема эндацытозу (а) і эксацытозу (б)

**Надмембранны комплекс** складаецца са структур, размешчаных звонку ад цытаплазматычнай мембраны. У клетках жывёл знешняя паверхня плазмалемы пакрыта **глікакаліксам**. Гэта тонкі слой, утвораны малекуламі вугляводаў, якія звязаны з мембраннымі бялкамі і ліпідамі. Глікакалікс ахоўвае цытаплазматычную мембрану ад пашкоджанняў, удзельнічае ў ажыццяўленні рэцэптарнай функцыі плазмалемы і функцыі пазнавання клеткай іншых клетак.

Надмембранны комплекс клетак бактэрый, грыбоў, раслін і многіх водарасцей прадстаўлены цвёрдай **клетачнай сценкай**. Яна надае клеткам механічную трываласць, падтрымлівае іх форму і ахоўвае змесціва. Акрамя таго, клетачная сценка засцерагае клеткі ад разрыву пры паступленні ў іх вады шляхам осмасу. Клетачныя сценкі раслін і шэрага водарасцей у асноўным складаюцца з целюлозы, грыбоў — з хіціну. У некаторых бактэрый звонку ад клетачнай сценкі ёсць слізистая **капсула**, якая ахоўвае клетку ад высыхання і іншых неспрыяльных фактараў.



Цытаплазматычная мембрана (плазмалема) — універсальная частка паверхневага апарата, характэрная для любой клеткі. Аснову будовы плазмалемы складае ліпідны біслой, з якім звязаны малекулы бялкоў. Цытаплазматычная мембрана выконвае бар'ерную, рэцэптарную і транспартную функцыі, а таксама функцыю пазнавання іншых клетак. Важнай уласцівасцю цытаплазматычнай мембраны з'яўляецца выбіральная пранікальнасць. Рэчывы могуць перамяшчацца праз плазмалему без затрат энергіі за кошт пасіўнага транспарту, г. зн. дыфузіі. Актыўны транспарт і транспарт у мембраннай упакоўцы адбываюцца з затратамі энергіі. Звонку ад цытаплазматычнай мембраны знаходзіцца надмембранны комплекс.



1. З якіх хімічных злучэнняў складаецца цытаплазматычная мембрана? Якая будова плазмалемы?
2. Пералічыце і растлумачце асноўныя функцыі плазмалемы.
3. Якімі спосабамі можа ажыццяўляцца транспарт рэчываў праз цытаплазматычную мембрану?
4. Два растворы глюкозы падзелены мембранай, якая не прапускае малекулы глюкозы, але прапускае ваду. Канцэнтрацыя глюкозы ў першым растворы — 1 %, у другім — 0,1 %. Што адбываецца з малекуламі вады? Як называецца гэта з'ява?
5. Чым адрозніваюцца працэсы фагацытозу і пінацытозу? У чым праяўляецца падабенства гэтых працэсаў?
6. Якія функцыі і асаблівасці саставу надмембраннага комплексу ў клетак розных арганізмаў?

7\*. Параўнайце розныя тыпы транспарту рэчываў у клетку. Вызначыце рысы іх падабенства і адрозненні.

8\*. Якія функцыі не змагла б выконваць цытаплазматычная мембрана, калі б у яе састаў не ўваходзілі бялкі? Адказ абгрунтуйце.



Вывучэнне ОСМАСУ НА КУХНІ



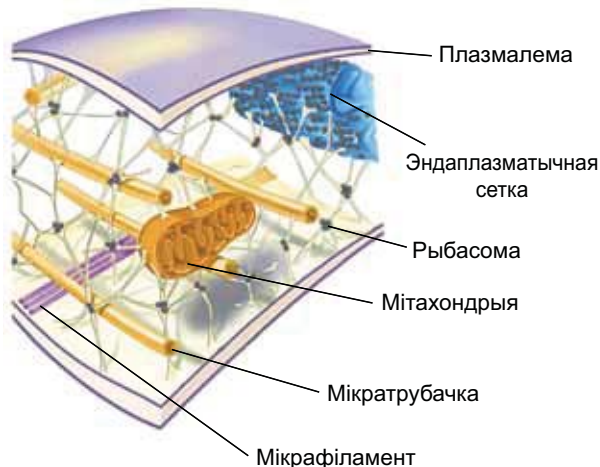
## § 12. Гіялаплазма. Цыташкілет. Немембранныя арганоіды

Як вы ўжо ведаеце, унутранае змесціва клеткі, за выключэннем ядра, называецца цытаплазмай. Яе асновай з'яўляецца гіялаплазма, у якой размешчаны кампаненты цыташкілета і арганоіды.

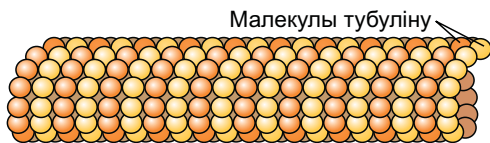
**Гіялаплазма** аб'ядноўвае ў цэласную сістэму ўсе клетачныя структуры і забяспечвае ўзаемадзеянне паміж імі. Яе асноўным кампанентам з'яўляецца вада, у якой раствараны бялкі, амінакіслоты, вугляводы, нуклеатыды, солі і іншыя злучэнні. У гіялаплазме працякаюць розныя працэсы метабалізму, яна ўдзельнічае ва ўнутрыклетачным транспарце рэчываў. Невялікія малекулы і іоны перамяшчаюцца ў гіялаплазме шляхам дыфузіі. Буйныя малекулы біяпалімераў і арганоіды транспартуюцца пры ўдзеце цыташкілета.

**Цыташкілет** — гэта трохмерная сетка, утвораная бялкамі. Яна пранізвае гіялаплазму клеткі. Гэта своеасаблівы механічны каркас, які забяспечвае прасторавую арганізацыю цытаплазмы. Асноўнымі кампанентамі цыташкілета з'яўляюцца мікратрубачкі і мікрафіламенты (мал. 34).

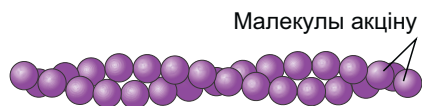
**Мікратрубачкі** ўяўляюць сабой тонкія полыя цыліндры, сценкі якіх утвораны малекуламі бялку *тубуліну* (мал. 35, с. 68). Мікратрубачкі ўдзельнічаюць у транспарце рэчываў і арганоідаў унутры клеткі. Уздоўж іх з дапамогай спецыяльных бялкоў перамяшчаюцца розныя клетачныя структуры. Такі транспарт ажыццяўляецца за кошт энергіі АТФ. Мікратрубачкі таксама ўваходзяць у састаў клетачна-



Мал. 34. Схема арганізацыі цыташкілета



Мал. 35. Схема будовы мікратрубачкі



Мал. 36. Схема будовы мікрафіламенту

га цэнтра. Падчас дзялення клеткі з іх фарміруюцца ніці так званага *верацяна дзялення*, якія забяспечваюць разыходжанне храмасом паміж даччынымі клеткамі.

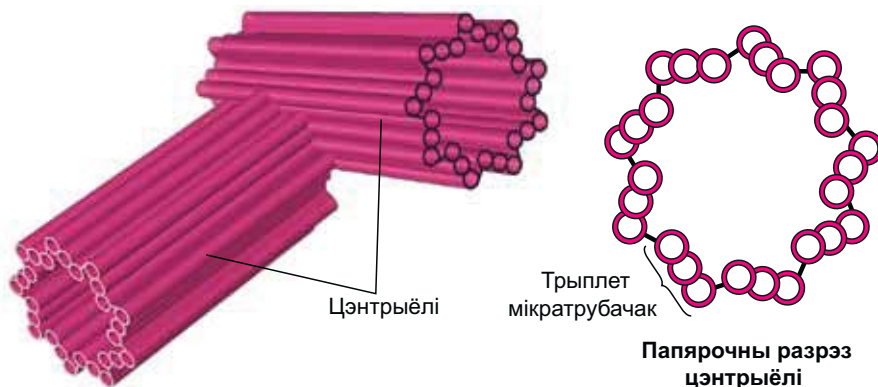
**Мікрафіламенты** — гэта бялковыя валокны (фібрылы), больш тонкія, чым мікратрубачкі. Яны ўтвораны дзвюма ніцямі, спіральна закручанымі адна вакол другой. Кожная ніць складаецца з малекул бялку *акціну* (мал. 36).

Мікратрубачкі і мікрафіламенты — дынамічныя структуры. Яны могуць хутка распадацца на асобныя бялковыя малекулы і зноў збірацца ў залежнасці ад патрэбнасцей клеткі. Кампаненты цыташкілета ўзаемадзейнічаюць паміж сабой і з біялагічнымі мембранамі. Яны забяспечваюць падтрыманне формы клеткі, рух цытаплазмы, унутрыклетачны транспарт, пульсацыю скарачальных вакуоляў у пратыстаў. Дзякуючы ўзаемадзеянню кампанентаў цыташкілета плазмалема клетак можа змяняць сваю форму, што ляжыць у аснове такіх працэсаў, як энда- і экзацытоз, амебоідны рух клетак (напрыклад, амёб і лейкацытаў). Акрамя таго, цыташкілет удзельнічае ў працэсах клетачнага дзялення, якія будуць падрабязна разгледжаны ў § 17—18.

**Немембранныя арганойды** — гэта арганойды, якія не абмежаваны ўласнай мембранай. Да гэтай групы арганэл належаць клетачны цэнтр, міяфібрылы і рыбасомы.

**Клетачны цэнтр** з'яўляецца цэнтрам арганізацыі зборкі мікратрубачак. Ён складаецца з дзвюх *цэнтрыёлей* і ўшчыльненага ўчастка цытаплазмы вакол іх, які змяшчае розныя бялкі. Клетачны цэнтр характэрны для клетак жывёл і шэрага пратыстаў. У клетках большасці раслін і грыбоў гэты арганойд адсутнічае. Цэнтрыёлі ўяўляюць сабой цыліндры, размешчаныя перпендыкулярна адзін аднаму (мал. 37). Сценкі кожнай цэнтрыёлі ўтвораны дзевяццю трыплетамі мікратрубачак ( $9 \times 3$ ), звязаных спецыяльнымі бялкамі.

У перыяд паміж дзяленнямі клетачны цэнтр размяшчаецца ў цэнтральнай частцы клеткі каля ядра. Ён забяспечвае запуск зборкі мікратрубачак цыташкілета з малекул тубуліну. Мікратрубачкі, якія фарміруюцца, падаўжаюцца ў напрамку ад клетачнага цэнтра да перыферыі клеткі.



Мал. 37. Схема будовы цэнтрыёлей

Перад дзяленнем клеткі адбываецца падваенне цэнтрыёлей. У пачатку дзялення пары цэнтрыёлей разыходзяцца да процілеглых полюсаў клеткі і ўтвараюць з мікратрубчак верацяно дзялення.

Як вы ўжо ведаеце з курса біялогіі 9-га класа, скарачэнне папярочна-паласатых мышачных валокнаў забяспечваюць **міяфібрылы**. Гэта немембранныя арганоіды, у склад якіх уваходзяць упарадкавана размешчаныя ніці, утвораныя бялкамі акцінам і міязінам. За кошт энергіі АТФ у прысутнасці іонаў  $\text{Ca}^{2+}$  акцінавыя ніці перамяшчаюцца ўздоўж міязінавых. Гэта прыводзіць да памяншэння даўжыні міяфібрыл і тым самым да скарачэння мышачных валокнаў.

**Рыбасомы** — гэта вельмі дробныя арганоіды, характэрныя для ўсіх тыпаў клетак. Іх колькасць у розных клетках можа складаць ад некалькіх тысяч да мільёнаў. Рыбасомы пракарыёт і эўкарыёт маюць агульны прынцып арганізацыі і функцыянавання. Яны забяспечваюць сінтэз бялковых малекул з амінакіслот.

Рыбасома складаецца з дзвюх *субадзінак* — вялікай і малой (мал. 38). Кожная з іх змяшчае адну ці некалькі малекул рРНК, звязаных



Мал. 38. Схема будовы рыбасомы

з малекуламі розных бялкоў. У пракарыятычнай клетцы субадзінкі рыбасом фарміруюцца непасрэдна ў цытаплазме. У эўкарыёт утварэнне субадзінак адбываецца ў клетачным ядры. Пры гэтым спачатку сінтэзуюцца рРНК, якія затым злучаюцца са спецыяльнымі бялкамі, што паступаюць з цытаплазмы. Сфарміраваныя субадзінкі выходзяць з ядра ў гіялаплазму, дзе размяшчаюцца асобна адна ад адной і аб'ядноўваюцца толькі для сінтэзу бялку.

Памер рыбасом пракарыёт складае каля 20 нм. Эўкарыятычныя рыбасомы буйнейшыя — да 30 нм. Акрамя рыбасом, змешчаных у гіялаплазме эўкарыятычнай клеткі, свае ўласныя рыбасомы маюць мітахондры і пластыды. Рыбасомы ў саставе гэтых арганоідаў па памерах і будове больш падобныя да бактэрыяльных, чым да тых, якія прысутнічаюць у гіялаплазме.



Гіялаплазма — гэта водны раствор, у якім працякаюць розныя працэсы метабалізму. Яна аб'ядноўвае ўсе клетачныя структуры і забяспечвае іх узаемадзеянне. У склад цыташкілета эўкарыёт уваходзяць мікратрубачкі і мікрафіламенты, утвораныя малекуламі тубуліну і акціну адпаведна. Цыташкілет удзельнічае ў падтрыманні формы клетак, унутрыклетачным транспарце, энды- і экзцытозе і іншых важных працэсах. Клетачны цэнтр, міяфібрылы і рыбасомы належаць да немембранных арганоідаў. Клетачны цэнтр з'яўляецца цэнтрам арганізацыі зборкі мікратрубачак, фарміруе верацяно дзялення. Міяфібрылы забяспечваюць скарачэнне папярочнапаласатых мышачных валокнаў. У рыбасомах ажыццяўляецца сінтэз бялкоў з амінакіслот.



1. У чым заключаецца адрозненне паміж паняццямі «цытаплазма» і «гіялаплазма»? Якія хімічны састаў гіялаплазмы? Якія функцыі ў клетцы яна выконвае?
2. З чаго складаецца цыташкілет і якія яго функцыі ў клетцы? Чым мікратрубачкі адрозніваюцца ад мікрафіламентаў?
3. Як пабудаваны клетачны цэнтр? Якія функцыі ён выконвае?
4. Што такое міяфібрылы? Якая іх функцыя?
5. Ахарактарызуйце хімічны састаў, будову і функцыю рыбасом.
- 6\*. Як вы думаеце, дзе змяшчаецца больш рыбасом — у клетках валасяных цыбулін ці ў клетках тлушчавай тканкі? Чаму?
- 7\*. Вядома, што гіялаплазма можа мяняць вязкасць і цякучасць, пераходзячы з вадкага стану ў гелепадобны і наадварот. Прапануйце гіпотэзы, якім чынам гэта можа ажыццяўляцца.



Назіранне руху цытаплазмы



## § 13. Мембранныя арганоіды

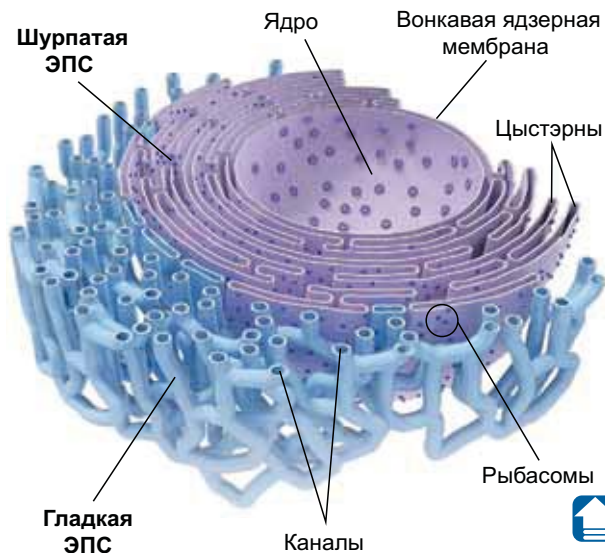
Мембранныя арганоіды ёсць толькі ў клетках эўкарыёт. Унутранае змесціва аднамебранных арганоідаў аддзелена ад гіялаплазмы адной мембранай, а двухмебранных — дзвюма. Гэтыя мембраны маюць падобную да плазмалемы будову.

Да *аднамебранных арганоідаў* клеткі належаць: эндаплазматычная сетка, комплекс Гольджы, лізасомы і вакуолі.

**Эндаплазматычная сетка (ЭПС)** — гэта замкнутая сістэма, якая складаецца са злучаных паміж сабой пляскатых поласцей — цыстэрнаў і разгалінаваных каналаў. Цыстэрны і каналы ЭПС пранізваюць гіялаплазму клеткі. Яны абмежаваны мембранай, якая пераходзіць у вонкавую мембрану ядра (мал. 39).

Адрозніваюць два тыпы ЭПС — *шурпатую* і *гладкую*. Шурпатая ЭПС прадстаўлена пераважна цыстэрнамі, а гладкая — каналамі. Мембраны шурпатай і гладкай ЭПС непасрэдна пераходзяць адна ў адну. З вонкавай паверхняй мембраны шурпатай ЭПС звязаны шматлікія рыбасомы, якія і надаюць ёй характэрную «шурпатасць». На мембране гладкай ЭПС рыбасомы адсутнічаюць.

У рыбасомах шурпатай ЭПС сінтэзуюцца бялкі. Далей малекулы бялкоў паступаюць унутр цыстэрнаў, дзе набываюць пэўную прасторавую канфігурацыю. На мембране гладкай ЭПС адбываецца сінтэз розных вугляводаў і ліпідаў. Большасць рэчываў, сінтэзаваных у шурпатай і гладкай ЭПС, назапашваецца ў цыстэрнах і каналах гэтага арганоіда. Затым малекулы сінтэзаваных злучэнняў змяшчаюцца ў невялікія пузыркі, якія фарміруюцца з мембраны эндаплазматычнай сеткі. Мембранныя пузыркі, што аддзяліліся ад ЭПС, дастаўляюць рэчывы, якія ў іх змяшчаюцца, у комплекс Гольджы.



Мал 39. Схема будовы эндаплазматычнай сеткі





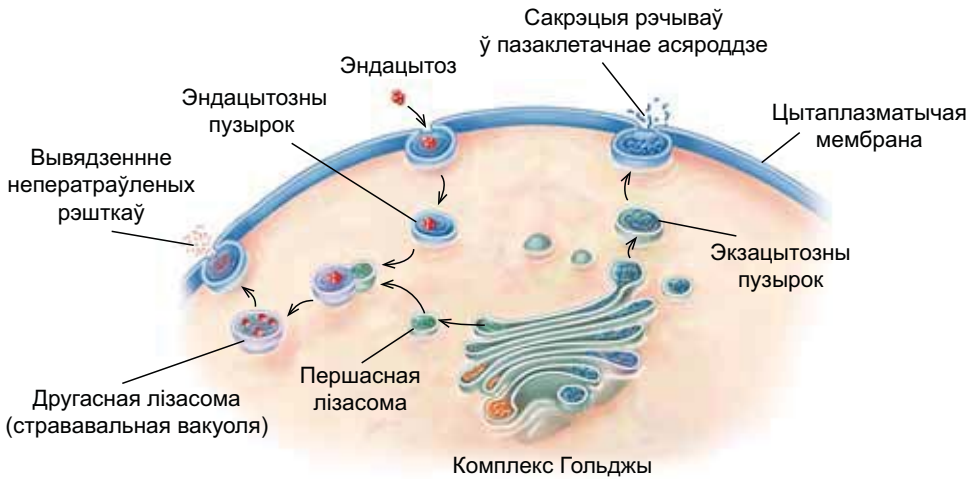
Мал. 40. Схема будовы комплексу Гольджы

У цыстэрнах полюса, звернутага да плазмалемы, адбываецца раздзяленне і сартаванне малекул па хімічным саставе і прызначэнні. Далей рэчывы пакуюцца ў мембранныя пузыркі, якія аддзяляюцца ад цыстэрнаў апарата Гольджы. Унутранае змесціва гэтых пузыркі выводзіцца з клеткі шляхам экзацытозу, а іх мембраны ўключаюцца ў састаў плазмалемы (мал. 41). Так адбываецца сакрэцыя клеткай розных рэчываў у паза-клетачнае асяроддзе і абнаўленне цытаплазматычнай мембраны. Акрамя таго, з некаторых пузыркі комплексу Гольджы фарміруюцца лізасомы і вакуолі.

**Лізасомы** — гэта мембранныя пузыркі, якія змяшчаюць ферменты, здольныя расшчапляць розныя арганічныя злучэнні (бялкі, вугляводы, ліпіды і інш.). Малекулы гэтых ферментаў першапачаткова сінтэзуюцца ў рыбасомах на мембранах шурпатай ЭПС і затым пераносяцца ў комплекс Гольджы. Ад яго аддзяляюцца так званыя *першасныя лізасомы* — мембранныя пузыркі, якія змяшчаюць ферменты, што зведалі неабходныя ператварэнні.

Першасныя лізасомы могуць злівацца з эндацытознымі пузыркамі. Так утвараюцца *другасныя лізасомы*, ці *стрававальныя вакуолі* (гл. мал. 41). У іх адбываецца ператраўліванне малекул ці часцінак, якія паступілі ў клетку шляхам эндацытозу. Прадукты расшчаплення

**Комплекс (апарат) Гольджы** ўяўляе сабой стос плоскіх дыскападобных цыстэрнаў і звязаную з імі сістэму пузыркі (мал. 40). У комплексе Гольджы выдзяляюць два полюсы. Полюс, размешчаны бліжэй да ядра клеткі, прымае рэчывы, сінтэзаваныя ў ЭПС. Сюды паступаюць мембранныя пузыркі, якія аддзяліліся ад ЭПС, і адбываецца іх зліццё з цыстэрнамі апарата Гольджы. Рэчывы, якія паступілі ў комплекс Гольджы, перамяшчаюцца па цыстэрнах да процілеглага полюса, звернутага да цытаплазматычнай мембраны. Пры гэтым яны зведаюць розныя біяхімічныя ператварэнні.



Мал. 41. Схема функцыянавання комплексу Гольджы і лізасом

паступаюць у гіялаплазму і ўключаюцца ў працэсы абмену рэчываў. Непэратраўленыя рэшткі звычайна выводзяцца з клеткі шляхам экзацытозу. Лізасомы ўдзельнічаюць не толькі ў расшчэпленні рэчываў, якія паступілі ў выніку эндацытозу, але і ў ператраўліванні структурных кампанентаў клеткі, і нават цэлых клетак. Дзякуючы лізасомам могуць знішчацца, напрыклад, арганоіды, якія з'яўляюцца дэфектнымі ці адслужылі свой тэрмін; пашкоджаныя ці загінуўшыя клеткі.

**Вакуолі** ўяўляюць сабой напоўненыя вадкасцю і акружаныя мембранай поласці. Гэтыя арганоіды характэрны для клетак раслін, грыбоў і многіх пратыстаў.

*Вакуолі раслінных клетак* утвараюцца з невялікіх мембранных пузыркоў, якія з'яўляюцца вытворнымі ЭПС ці комплексу Гольджы. Па меры росту клеткі вакуолі павялічваюцца і звычайна зліваюцца ў адну буйную цэнтральную вакуолю.

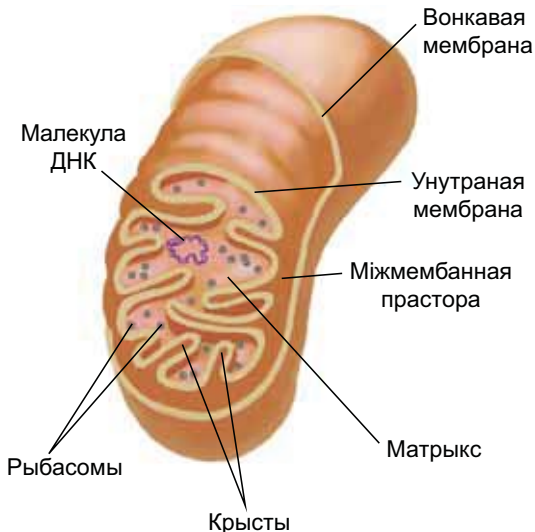
Змесціва вакуолі — *клетачны сок* — уяўляе сабой водны раствор розных рэчываў. Так, у састаў клетачнага соку могуць уваходзіць запасныя рэчывы, напрыклад вугляводы, карбонавыя кіслоты, амінакіслоты. Пры неабходнасці яны выводзяцца з вакуолі ў гіялаплазму і выкарыстоўваюцца клеткай. Клетачны сок таксама можа змяшчаць пігменты, ферменты ці канчатковыя прадукты метабалізму клеткі.

Такім чынам, вакуолі забяспечваюць назапашванне, захоўванне і ізаляцыю розных рэчываў. За кошт пігментаў, якія змяшчаюцца ў клетачным соку, яны здольныя надаваць афарбоўку розным часткам раслін, напрыклад пладам вішні і пялёсткам васілька. Клетачны сок з'яўляецца больш

канцэнтраваным растворам, чым гіялаплазма, таму ў вакуолю шляхам осмасу паступае вада. За кошт гэтага вакуоля аказвае ціск на гіялаплазму і тым самым на клетачную сценку. Так у клетцы падтрымліваецца тургарны ціск, які абумоўлівае захаванне яе формы. Паглыннанне вады вакуолямі адыгрывае важную ролю ў расцяжэнні маладых клетак пры іх росце і ў рэгуляцыі воднага рэжыму расліны.

*Скарачальныя (пульсуючыя) вакуолі* характэрны, галоўным чынам, для аднаклетачных прэснаводных пратыстаў. Гэтыя арганоіды служаць для вывадзення з клеткі лішку вады. Утрыманне раствараных рэчываў унутры клеткі вышэйшае, чым у водным асяроддзі вакол яе. Таму за кошт осмасу ў клетку ўвесь час пранікаюць малекулы вады. З гіялаплазмы яны перамяшчаюцца ў скарачальную вакуолю, і яе аб'ём павялічваецца. Далей, дзякуючы ўзаемадзеянню элементаў цыташкілета, вакуоля скарачаецца, і вадкасць, якая яе напаўняе, выштурхваецца ў навакольнае асяроддзе. Работа скарачальных вакуоляў спрыяе падтрыманню пэўнага аб'ёму клеткі, што перашкаджае яе разрыву. Акрамя таго, разам з вадой з клеткі выводзяцца раствараныя ў ёй прадукты абмену рэчываў.

*Двухмембранныя арганоідамі* клетак з'яўляюцца мітахондры і пластыды. **Мітахондры** — арганоіды, у якіх працякае кіслародны этап клетачнага дыхання (гэты працэс будзе падрабязна разгледжаны ў наступным раздзеле). У ходзе кіслароднага этапу з удзелам  $O_2$  адбываецца расшчапленне і акісленне арганічных злучэнняў да неарганічных



Мал. 42. Схема будовы мітахондры

рэчываў. Пры гэтым выдзяляецца многа энергіі, якая выкарыстоўваецца для сінтэзу вялікай колькасці АТФ. Таму мітахондры часам называюць «энергетычнымі станцыямі» клеткі.

Кожная мітахондрыя абмежавана дзвюма мембранамі — *вонкавай* і *ўнутранай*, паміж якімі знаходзіцца *міжмембранная прастора* (мал. 42). Вонкавая мембрана мітахондры гладкая, не ўтварае ўвагнутасцей і складак. Яна аддзяляе арганоід ад гіялаплазмы і валодае высокай пранікальнасцю для іонаў і невялікіх малекул. Унутраная мембрана характарызуецца значна меншай пранікаль-

насцю. Яна ўтварае шматлікія складкі — *крысты*, якія значна павялічваюць плошчу яе паверхні. Унутраная мембрана мітахондрыі змяшчае вялікую колькасць бялкоў. У яе састаў уваходзяць, напрыклад, ферменты, якія забяспечваюць сінтэз АТФ.

Змесціва мітахондрыі, абмежаванае ўнутранай мембранай, называецца *матрыксам*. У матрыксе змяшчаюцца розныя неарганічныя і арганічныя рэчывы, у тым ліку разнастайныя ферменты, а таксама кальцавыя малекулы ДНК і ўсе віды РНК. Значыць, мітахондрыі змяшчаюць уласную генетычную інфармацыю. У іх матрыксе таксама знаходзяцца рыбасомы, у якіх ажыццяўляецца рэалізацыя гэтай інфармацыі, г. зн. сінтэз бялкоў. Мітахондрыяльныя рыбасомы меншыя па памерах, чым рыбасомы, якія змяшчаюцца ў гіялаплазме клеткі. Галоўная функцыя мітахондрыі — забеспячэнне клеткі энергіяй у выглядзе АТФ.

**Пластыды** — гэта арганоіды, уласцівыя клеткам фотасінтэзуючых эўкарыёт — раслін і водарасцей. У залежнасці ад асаблівасцей будовы, афарбоўкі і выконваемых функцый у раслін вылучаюць тры асноўныя тыпы пластыд: хларапласты, лейкапласты і храмапласты. Унутранае месціва пластыд называецца *стромай*. Яна акружана дзвюма мембранамі. Паміж *вонкавай* і *ўнутранай* мембранамі знаходзіцца *міжмембранная прастора*. Як і ў мітахондрыі, вонкавая мембрана пластыд роўная, не мае складак і валодае высокай пранікальнасцю для розных рэчываў. Унутраная мембрана менш пранікальная і здольная ўтвараць увагнутасці. У строме змяшчаюцца кальцавыя малекулы ДНК, усе віды РНК, а ў рыбасомах, падобных да бактэрыяльных, ажыццяўляецца сінтэз бялкоў. Пластыды розных тыпаў здольныя да ўзаемаператварэнняў.

**Хларапласты** — гэта пластыды, галоўнай функцыяй якіх з'яўляецца ажыццяўленне працэсу фотасінтэзу. У раслін хларапласты афарбаваны ў зялёны колер дзякуючы высокаму ўтрыманню зялёных пігментаў *хларафілаў*. Акрамя хларафілаў, хларапласты змяшчаюць жоўтыя, аранжавыя ці чырвоныя пігменты — *караціноіды*. У фотасінтэзуючых клетках раслін звычайна знаходзіцца па некалькі дзясяткаў хларапластаў, якія маюць форму дваякавыпуклай лінзы. У розных відаў водарасцей хларапласты могуць значна адрознівацца па форме, памерах, афарбоўцы і колькасці ў клетцы.

Пры развіцці хларапластаў іх унутраная мембрана ўтварае ўвагнутасці, накіраваныя ў строму. Далей яны аддзяляюцца ад унутранай мембраны і ператвараюцца ў *тылакоіды* — плоскія аднамембранныя мяшэчкі. Дыскападобныя тылакоіды, размешчаныя адзін над адным,



§13-1



Мал. 43. Схема будовы хларапласта

фарміруюць *граны*, якія нагадваюць стосы манет (мал. 43). Асобныя граны злучаюцца паміж сабой выцягнутымі ў даўжыню тылакоідамі. Мембраны тылакоідаў змяшчаюць фотасінтэтычныя пігменты, розныя бялкі (у тым ліку ферменты, якія забяспечваюць сінтэз АТФ) і іншыя рэчывы.

**Лейкапласты** ўяўляюць сабой бясколерныя пластыды, якія не змяшчаюць пігментаў. У іх сінтэзуюцца і назапашваюцца запасныя пажыўныя рэчывы: крухмал, ліпіды, некаторыя бялкі.

Таму асабліва шмат лейкапластаў знаходзіцца ў клетках запасальнай тканкі.

**Храмапласты** — гэта жоўтыя, аранжавыя ці чырвоныя пластыды. Іх колер абумоўлены наяўнасцю пігментаў *караціноідаў*. Гэтыя пластыды забяспечваюць афарбоўку розных частак раслін, напрыклад караня-плодаў морквы, спелых пладоў шпшыны, рабіны, тамату.



§13-1



Аднамембраннымі арганоідамі з'яўляюцца эндаплазматычная сетка (ЭПС), комплекс Гольджы, лізасомы і вакуолі. ЭПС забяспечвае сінтэз бялкоў, вугляводаў і ліпідаў. Сінтэзаваныя ў ЭПС рэчывы транспартуюцца ў комплекс Гольджы, дзе адбываюцца іх біяхімічныя ператварэнні, сартаванне і ўпакоўка ў мембранныя пупырыкі. Лізасомы змяшчаюць стрававальныя ферменты і ўдзельнічаюць у расшчапленні розных малекул і часцінак. Адною з найважнейшых функцый вакуоляў раслінных клетак з'яўляецца рэгуляцыя воднага рэжыму клеткі і падтрыманне тургарнага ціску. Скарачальныя вакуолі пратыстаў выводзяць з клетак лішак вады і раствараныя ў ёй прадукты абмену рэчываў.

Мітахондры і пластыды — гэта двухмембранныя арганоіды. Галоўная функцыя мітахондрыяў — сінтэз АТФ. У раслін выдзяляюцца тры асноўныя тыпы пластыд: хларапласты, лейкапласты і храмапласты. У хларапластах ажыццяўляецца фотасінтэз, лейкапласты назапашваюць запасныя пажыўныя рэчывы, а храмапласты забяспечваюць афарбоўку розных частак раслін.



1. Што ўяўляе сабой эндаплазматычная сетка? Якія існуюць віды ЭПС? Назавіце іх функцыі.

2. Ахарактарызуйце будову комплексу Гольджы. Якія функцыі ён выконвае?

3. Як утвараюцца і што змяшчаюць лізасомы? Вакуолі раслінных клетак? Якія функцыі гэтых арگانідаў?

4. Для якіх арганізмаў характэрны скарачальныя вакуолі? У чым заключаецца іх роля?

5. Як пабудаваны мітахондрыі? Якую асноўную функцыю яны выконваюць?

6. Якія тыпы пластыд вылучаюць у раслін? Чым яны адрозніваюцца? Ахарактарызуйце будову і функцыі хларапластаў.

7\*. Дакажыце справядлівасць сцверджання: «Аднамембранныя арگانіды клеткі ўзаемазвязаны і ўтвараюць адзіную мембранную сістэму, кожны кампанент якой спецыялізаваны на выкананні пэўных функцый».

8\*. Біялагічныя мембраны маюць агульны план будовы, але могуць адрознівацца па саставе і ўласцівасцях. Так, міэлінавая абалонка аксона, утвораная плазмалемай клетак гліі, змяшчае каля 75 % ліпідаў і толькі 25 % бялкоў. У цытаплазматычнай мембране колькасць ліпідаў і бялкоў прыкладна роўная, а ва ўнутранай мембране хларапластаў і мітахондрыі утрыманне бялкоў дасягае 75 %. Як вы думаеце, з чым гэта звязана?



Вывучэнне будовы і разнастайнасці пластыд



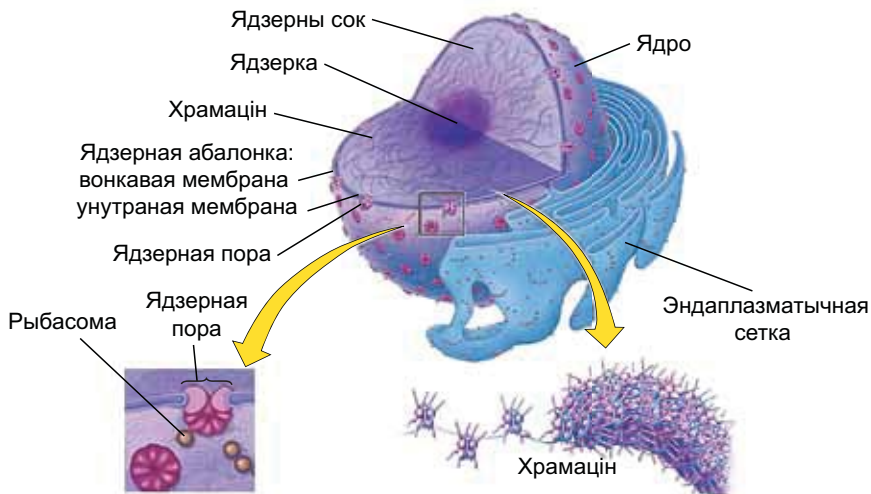
## § 14. Ядро клеткі

**Ядро** — гэта абавязковы кампанент любой эўкарыятычнай клеткі. У большасці клетак адно ядро, але існуюць таксама двух'ядзерныя і шмат'ядзерныя клеткі. Напрыклад, у інфузорыі туфелькі два ядры, а ў клетках некаторых водарасцей і грыбоў, у папярочнапаласатых мышачных валокнах — некалькі. Сталыя клеткі сітападобных трубак пакрытанасенных раслін і эрытрацыты млекакормячых пазбаўлены ядраў. Такія клеткі страчваюць ядро ў працэсе развіцця і губляюць здольнасць да размнажэння.

**Будова ядра.** Звычайна ядро мае шарападобную ці яйцападобную форму, аднак у некаторых клетках форма ядра можа быць іншай: верацёнападобнай, лінзападобнай, падковападобнай і інш. Памеры клетачных ядраў таксама адрозніваюцца. Тым не менш, нягледзячы на гэтыя адрозненні, усе ядры пабудаваны аднолькава. Ядро клеткі складаецца з ядзернай абалонкі, ядзернага соку, храмаціну і аднаго ці некалькіх ядзеркаў (мал. 44, с. 78).

**Ядзерная абалонка** аддзяляе змесціва ядра ад гіялаплазмы. Яна складаецца з дзвюх мембран — *вонкавай* і *ўнутранай*, паміж якімі знаходзіцца *міжмембранная прастора*. Вонкавая мембрана ядра непасрэдна пераходзіць у мембрану эндаплазматычнай сеткі, на яе паверхні размяшчаюцца рыбасомы. На ўнутранай мембране рыбасомы адсутнічаюць.

У некаторых месцах ядзернай абалонкі знаходзяцца круглыя скразныя адтуліны — *ядзерныя поры* (гл. мал. 44). Дзякуючы ім адбываецца абмен



Мал. 44. Схема будовы ядра



рознымі матэрыяламі паміж ядром і гіялаплазмай. Праз ядзерныя поры з ядра у гіялаплазму выходзяць малекулы мРНК, тРНК, субадзінкі рыба-сом. З гіялаплазмы ў ядро паступаюць АТФ, нуклеатыды, розныя іоны, бялкі і іншыя рэчывы.

**Ядзерны сок** уяўляе сабой водны раствор, які змяшчае розныя арганічныя і неарганічныя рэчывы. Па саставе і ўласцівасцях ядзерны сок падобны да гіялаплазмы. Ён запаўняе ўнутраную прастору ядра і з'яўляецца асяроддзем працякання ўсіх унутрыядзерных працэсаў. У ядзерным соку знаходзяцца храмацін і ядзеркі.

**Храмацін** — гэта ніцепадобныя структуры ядра, утвораныя лінейнымі малекуламі ДНК і спецыяльнымі бялкамі. Бялкі забяспечваюць упакоўку доўгіх малекул ДНК у больш кампактныя структуры. У клетцы, якая не дзеліцца, храмацін можа раўнамерна размяркоўвацца ў аб'ёме ядра ці размяшчацца асобнымі згусткамі.

**Ядзерка** ўяўляе сабой шчыльнае акруглае ўтварэнне, не абмежаванае ўласнай мембранай. У ядры можа быць адно ці некалькі ядзеркаў, яны могуць з'яўляцца і знікаць. У ядзерку ажыццяўляецца сінтэз рРНК. Тут яны набываюць пэўную прасторавую канфігурацыю і злучаюцца з аслаблымі бялкамі, якія паступаюць з цытаплазмы. Такім чынам у ядзерку адбываецца зборка асобных субадзінак рыба-сом.

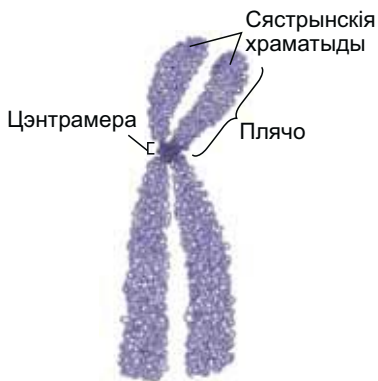
У пачатку дзялення клеткі ядзеркі знікаюць, ядзерная абалонка распадаецца на асобныя фрагменты, ядзерны сок змешваецца з гіялаплазмай. Таму ў клетцы, якая дзеліцца, ядро адсутнічае.

**Функцыі ядра.** Клетачнае ядро змяшчае малекулы ДНК. Значыць, яно ажыццяўляе захоўванне спадчыннай інфармацыі клеткі. У ядры інфармацыя пра першасную структуру бялкоў перапісваецца з малекул ДНК на малекулы мРНК, якія пераносяць яе ў цытаплазму да месца сінтэзу бялкоў. Субадзінкі рыбасом, у якіх адбываецца сінтэз бялкоў, і малекулы тРНК, што ўдзельнічаюць у гэтым працэсе, таксама ўтвараюцца ў ядры. Такім чынам, ядро забяспечвае не толькі захоўванне, але і рэалізацыю спадчыннай інфармацыі. Яно кіруе ўсімі працэсамі жыццядзейнасці клеткі, вызначаючы (шляхам сінтэзу малекул мРНК), якія бялкі і ў які час павінны сінтэзавацца ў рыбасомах.

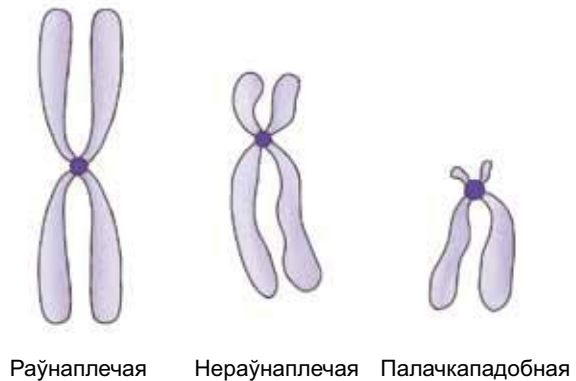
**Храмасомы.** У пачатку дзялення клеткі адбываецца спіралізацыя храмаціну. Пры гэтым фарміруюцца кароткія і шчыльныя структуры — **храмасомы**, якія можна разгледзець з дапамогай мікраскопа. У састаў храмасом уваходзяць малекулы ДНК і бялкі, што забяспечваюць шчыльную ўпакоўку ДНК.

На пачатковых стадыях дзялення клеткі храмасомы складаюцца з двух аднолькавых цяжоў — *сястрынскіх храматыд*, злучаных у вобласці *цэнтрамеры*, ці *першаснай перацяжкі* (мал. 45). Кожная з сястрынскіх храматыд змяшчае па адной малекуле ДНК, прычым гэтыя малекулы абсалютна ідэнтычныя. Яны ўтвараюцца ў выніку падваення зыходнай мацярынскай малекулы ДНК перад дзяленнем клеткі.

Цэнтрамера дзеліць храмасому на *плечы* аднолькавай ці рознай даўжыні. У залежнасці ад размяшчэння цэнтрамеры вылучаюць тры тыпы храмасом. У *раўнаплечых* храмасом цэнтрамера знаходзіцца пасярэдзіне ці амаль пасярэдзіне, таму плечы практычна роўныя па даўжыні. *Нераўнаплечыя* храмасомы маюць плечы рознай даўжыні, а ў *палачкападобных* адно плячо доўгае, а другое вельмі кароткае, амаль незаўважнае (мал. 46).



Мал. 45. Схема будовы храмасомы



Мал. 46. Тыпы храмасом



Як вы ўжо ведаеце з курса біялогіі 10-га класа, для палавых клетак (гамет) і спор характэрны *адзінарны* набор храмасом. Гэты набор таксама называюць **гаплоідным** і абазначаюць як  $1n$ . У гаплоідным наборы няма парных храмасом, кожная з іх унікальная і адрозніваецца ад іншых па будове і ўтрыманню спадчыннай інфармацыі.

Саматычныя клеткі звычайна змяшчаюць *двайны*, ці **дыплоідны**, набор храмасом —  $2n$ . Колькасць храмасом у такім наборы цотная. Аднолькавыя па памерах і асаблівасцях будовы храмасомы ўтвараюць пары і называюцца **гамалагічнымі**. Храмасомы ў кожнай пары маюць рознае паходжанне: адна з гамалагічных храмасом унаследавана ад маці, а другая — ад бацькі. Так, гаплоідныя яйцаклетка і сперматазоід чалавека змяшчаюць па 23 храмасомы ( $1n = 23$ ). Пры іх зліцці ўтвараецца дыплоідная зігота, якая змяшчае 23 пары, г. зн. 46 храмасом ( $2n = 46$ ). З зіготы развіваецца чалавек, у саматычных клетках якога знаходзіцца па 46 храмасом (23 мацярынскія і 23 бацькоўскія).

Асобіны кожнага віду валодаюць пэўным наборам храмасом, падобных па памерах, форме і будове. Храмасомны набор, характэрны для саматычных клетак таго ці іншага віду жывых арганізмаў, называецца **карыятыпам**. Пры аналізе карыятыпу ўлічваюць колькасць храмасом, іх велічыню, форму і асаблівасці будовы. Кожнаму біялагічнаму віду ўласцівы асаблівы, унікальны карыятып. Нават у блізкародных відаў храмасомныя наборы адрозніваюцца, таму карыятып часам называюць «храмасомным пашпартам» віду.

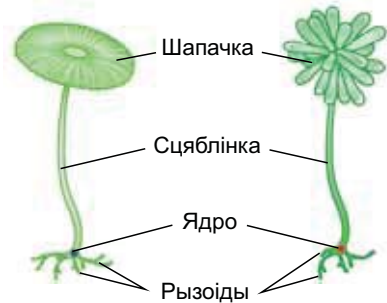
Колькасць храмасом не звязана з узроўнем арганізацыі жывых арганізмаў. Напрыклад, у карыятыпе гарылы 48 храмасом, карпа — 100, а ў некаторых відаў пратыстаў — да 1600. Саматычныя клеткі гароху пасяўнога змяшчаюць 14 храмасом, а хвапчу палявога — 216.



Ядро клеткі складаецца з ядзернай абалонкі, ядзернага соку, храмаціну і аднаго ці некалькіх ядзеркаў. Ядро забяспечвае захоўванне і рэалізацыю спадчыннай інфармацыі, кіруе ўсімі працэсамі жыццядзейнасці клеткі. Напачатку дзялення клеткі ў выніку спіралізацыі храмаціну фарміруюцца кампактныя храмасомы. Кожная храмасома складаецца з дзвюх сястрынскіх храматыд, злучаных у вобласці цэнтрамеры. Набор храмасом у гаметах і спорах гаплоідны ( $1n$ ), а ў саматычных клетках, як правіла, дыплоідны ( $2n$ ). Карыятыпам называецца набор храмасом, характэрны для саматычных клетак пэўнага віду жывых арганізмаў.



1. Ахарактарызуйце будову клетачнага ядра.
2. Якія працэсы ажыццяўляюцца ў ядзерках? Чаму ядзеркі ў ядры клеткі перыядычна з'яўляюцца і знікаюць?
3. Якія функцыі выконвае клетачнае ядро? Як яго адсутнасць можа паўплываць на жыццядзейнасць клеткі?
4. Якая будова храмасом у пачатку дзялення клеткі? Чым гаплоідны набор храмасом адрозніваецца ад дыплоіднага? Для якіх клетак характэрны дадзеныя храмасомныя наборы? Якія храмасомы называюць гамалагічнымі?
5. Што такое карыятап? Чаму яго называюць «храмасомным пашпартам» віду?
- 6\*. У цёплых морах жывуць незвычайныя зялёныя водарасці ацэтабулярыі. Іх цела ўяўляе сабой адну гіганцкую клетку, якая складаецца з ножкі з рызоідамі, тонкай сцяблінкі і шапачкі (гл. мал.). Сцяблінка дасягае ў даўжыню 6 см, а шапачка, якая мае ў розных відаў розную форму, — 1 см у дыяметры. Ацэтабулярыі жывуць на мелкаводдзі і пашкоджваюцца прыбоем. Аднак яны валодаюць здольнасцю рэгенерываць усе часткі свайго цела, акрамя ядра, якое знаходзіцца ў прымацаванай да камянёў ножцы. Якія эксперыменты з гэтымі водарасцямі можна правесці, каб даказаць, што менавіта ядро з'яўляецца асноўным захавальнікам спадчыннай інфармацыі?



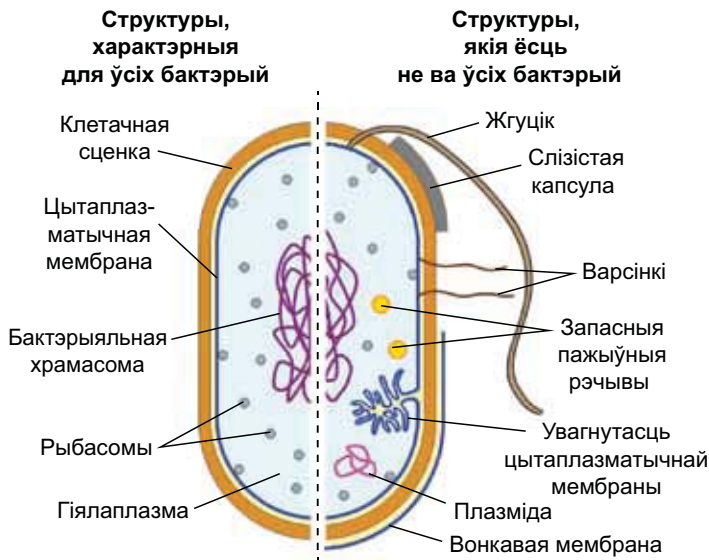
## § 15. Асаблівасці будовы клетак пракарыёт і эўкарыёт

Як вы ведаеце, клеткі пракарыёт, у адрозненне ад эўкарыятычных, пазбаўлены ядра і мембранных арганоідаў. Пракарыётамі з'яўляюцца бактэрыі, а эўкарыётамі — пратысты, грыбы, расліны і жывёлы.

**Будова пракарыятычных клетак.** Памеры клетак пракарыёт звычайна складаюць ад 0,5 да 10 мкм. Аднак сустракаюцца бактэрыі як большых, так і меншых памераў. Форма бактэрыяльных клетак таксама адрозніваецца. Напрыклад, клеткі *кокаў* маюць шарападобную форму, *бацыл* — палачкападобную, а ў *спірыл* яны закручаны ў выглядзе спіралі. Нягледзячы на адрозненні ў памерах і форме, усе пракарыятычныя клеткі пабудаваны па адзіным плане і складаюцца з паверхневага апарату і цытаплазмы (мал. 47, с. 82).

У састаў *паверхневага апарату* бактэрыяльнай клеткі ўваходзяць цытаплазматычная мембрана (плазмалема) і клетачная сценка, часам — слізистая капсула. У некаторых пракарыёт паверхневы апарат, акрамя плазмалема і клетачнай сценкі, уключае вонкавую мембрану, падобную па будове да плазмалема.

Цытаплазматычная мембрана клетак пракарыёт можа ўтвараць розныя па форме ўвагнутасці ў цытаплазму. Па саставе, структуры і выконваемых



Мал. 47. Схема будовы бактэрыяльнай клеткі

функцыях плазмалема бактэрый падобная да цытаплазматычнай мембраны эўкарыятычных клетак. Цвёрдая клетачная сценка забяспечвае падтрыманне формы бактэрыяльнай клеткі і яе ахову ад механічных пашкоджанняў. Яна засцерагае клетку ад разрыву ў выніку дзеяння высокага тургарнага ціску, выкліканага паступленнем вады ў цытаплазму шляхам осмасу.

У некаторых бактэрый па-над клетачнай сценкай ці вонкавай мембранай ёсць слізістая *капсула*, якая складаецца галоўным чынам з поліцукрыдаў. Капсула ахоўвае клетку ад механічных пашкоджанняў і высыхання, а ў хваробатворных бактэрый — яшчэ і ад дзеяння імуннай сістэмы арганізма-гаспадара.

На паверхні клетак многіх бактэрый знаходзяцца тонкія бялковыя вырасты — *варсінькі*. Яны служаць для прымацавання да розных субстратаў ці іншых клетак.

Клеткі некаторых пракарыёт маюць арганоіды руху — *жгуцікі*. Бываюць клеткі з адным, некалькімі ці мноствам жгуцікаў. Бактэрыяльны жгуцік уяўляе сабой доўгую бялковую ніць, вярчэнне якой забяспечвае рух клеткі.

У цытаплазме пракарыятычнай клеткі размешчана кальцавая малекула ДНК — *бактэрыяльная храмасома*. У клетках большасці бактэрый, акрамя бактэрыяльнай храмосомы, знаходзяцца невялікія кальцавыя

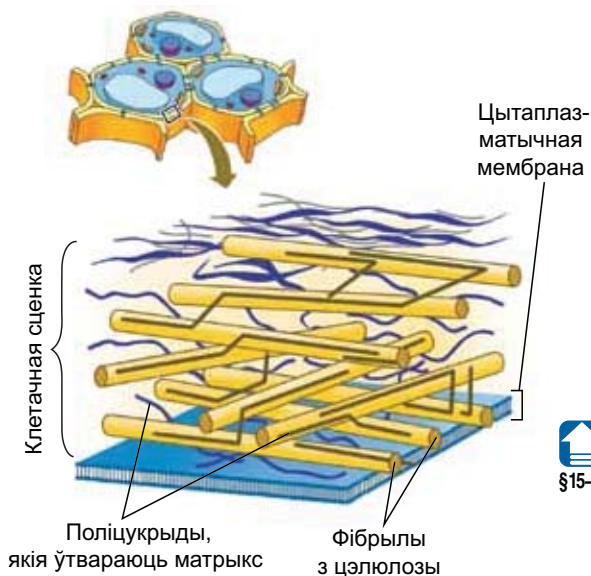
малекулы ДНК — **плазміды**. Плазміды не з’яўляюцца абавязковымі кампанентамі бактэрыяльнай клеткі. Аднак яны могуць утрымліваць спадчынную інфармацыю, якая забяспечвае праяўленне ў клеткі ўласцівасцей, якія дапамагаюць ёй выжыць у пэўных умовах навакольнага асяроддзя. Прыкладам могуць служыць плазміды, якія абумоўліваюць устойлівасць да тых ці іншых антыбіётыкаў ці таксінаў.

У кожнай пракарыятычнай клетцы абавязкова прысутнічаюць *рыбасомы*, якія, як вы ўжо ведаеце, адрозніваюцца ад рыбасом эўкарыёт меншымі памерамі. У клетках бактэрыі таксама могуць знаходзіцца запасныя пажыўныя рэчывы, напрыклад кроплі ліпідаў, крухмальныя зерні ці гранулы глікагену. Іх адкладанне адбываецца ва ўмовах лішку пажыўных рэчываў, а спажыванне — пры недахопе харчовых рэсурсаў.

**Асаблівасці будовы клетак эўкарыёт.** Як ужо адзначалася, да эўкарыёт належаць прадстаўнікі чатырох царстваў: Расліны, Жывёлы, Грыбы і Пратысты. Іх клеткі пабудаваны падобным чынам. Усе яны змяшчаюць ядро і цытаплазму з рознымі мембраннымі і немембраннымі арганоідамі. Аднак, акрамя падабенства, паміж клеткамі арганізмаў розных царстваў існуюць пэўныя адрозненні.

Для клетак **раслін** характэрна наяўнасць пластыд, буйных вакуоляў, клетачнай сценкі. У большасці раслінных клетак адсутнічаюць цэнтрыёлі. Рэзервовым вугляводам у раслін з’яўляецца крухмал.

Асноўным структурным кампанентам, які забяспечвае трываласць клетачнай сценкі раслін, з’яўляюцца валокны (фібрылы), пабудаваныя з малекул цэлюлозы. Яны знаходзяцца ў пластычным жэлепадобным матрыксе, які ўтвораны рознымі поліцукрыдамі і некаторымі другімі рэчывамі. Цэлюлозныя фібрылы ўтвараюць шматслойны цвёрды каркас, прычым у кожным слоі клетачнай сценкі яны размяшчаюцца паралельна адна адной (мал. 48).



Мал. 48. Схема будовы клетачнай сценкі раслін

У клетках **жывёл** адсутнічаюць пластыды і клетачная сценка, а надмембранны комплекс прадстаўлены глікакаліксам. Для жывёлных клетак не характэрна наяўнасць вакуолей. У гэтых клетках змяшчаюцца цэнтрыёлі, у якасці рэзервовага вугляводу адкладаецца глікаген.

Клеткі **грыбоў** маюць рысы падабенства як з расліннымі, так і з жывёлнымі клеткамі. Як і ў клетак раслін, у клетак грыбоў ёсць буйныя вакуолі і клетачная сценка, для іх не характэрна наяўнасць цэнтрыёлей. У большасці грыбоў асноўным структурным кампанентам клетачнай сценкі з'яўляюцца валокны, утвораныя малекуламі хіціну. Гэта рэчыва не сустракаецца ў раслін, але характэрна для шэрага жывёл. Так, у членістаногіх хіцін — гэта галоўны кампанент кутыкулы, якая адыгрывае ролю вонкавага шкілета. Падобна жывёлным клеткам, клеткі грыбоў не змяшчаюць пластыд, рэзервовым поліцукрыдам у іх з'яўляецца глікаген.

Клеткі **пратыстаў** вельмі разнастайныя па будове. Для аднаклетачных прэснаводных пратыстаў характэрна наяўнасць скарачальных вакуоляў. Рухомыя пратысты могуць перамяшчацца з дапамогай жгуцікаў (хламідаманада), дзякуючы раснічкам (інфузоры) ці ілжэножкам (амёбы). Для розных відаў пратыстаў характэрны розныя запасныя вугляводы.

Як вам вядома, пратысты, здольныя ажыццяўляць фотасінтэз, называюцца *водарасцямі*. У іх клетках змяшчаюцца хларапласты, колькасць якіх можа складаць ад аднаго да некалькіх дзясяткаў. Хларапласты водарасцей таксама называюць *храматафорамі*. У розных відаў яны адрозніваюцца па форме, велічыні і ўтрыманні фотасінтэтычных пігментаў. Напрыклад, у хларэлы і хламідаманады храматафоры чашападобныя, а ў спірагіры — у форме спіральна закручаных стужак. Хларапласты зялёных водарасцей, якія жывуць на невялікіх глыбінях, змяшчаюць мінімальны набор фотасінтэтычных пігментаў. Сярод іх пераважаюць хларафілы, што і абумоўлівае зялёную афарбоўку гэтых водарасцей. У адрозненне ад зялёных водарасцей храматафоры чырвоных і бурых водарасцей змяшчаюць дадатковыя фотасінтэтычныя пігменты. Яны «маскіруюць» хларафілы і надаюць хларапластам глыбакаводных водарасцей характэрны чырвоны ці буры колер.

Клеткі большасці водарасцей змяшчаюць буйныя вакуолі і абмежаваны клетачнай сценкай, асноўным кампанентам якой звычайна з'яўляецца цэлюлоза. Для рухомах аднаклетачных водарасцей характэрна наяўнасць *святлоадчувальнага вочка*. Дзякуючы яму і арганідам руху гэтыя водарасці могуць перамяшчацца ва ўчасткі вадаёма з аптымальнымі для фотасінтэзу ўмовамі асвятлення. У клетках гетэратрофных пратыстаў адсутнічаюць клетачная сценка, пластыды і святлоадчувальнае вочка.

Абагульненая інфармацыя пра асаблівасці будовы клетак пракарыёт і эўкарыёт прадстаўлена ў табліцы 7.



Табліца 7. Параўнальная характарыстыка клетак прадстаўнікоў розных царстваў

Клетачныя структуры і працэсы	Бактэрыі	Пратысты	Расліны	Грыбы	Жывёлы
Паверхневы апарат	1. Плазмалема 2. Клетачная сценка 3. У некаторых — вонкавая мембрана і (або) капсула	1. Плазмалема 2. У большасці водарасцей клетачная сценка (звычайна змяшчае цэлюлозу)	1. Плазмалема 2. Клетачная сценка (змяшчае цэлюлозу)	1. Плазмалема 2. Клетачная сценка (змяшчае хіцін)	1. Плазмалема з глікакаліксам
Ядро	Адсутнічае	Ёсць	Ёсць	Ёсць	Ёсць
Захоўванне спадчынай інфармацыі	Кальцавая малекула ДНК — бактэрыяльная храмасома, плазміды	Некалькі (або шмат) лінейных малекул ДНК — храмасом			
Рэзервовы вуглявод	Розныя	Розныя	Крухмал	Глікаген	Глікаген
Цыташкілет	Ёсць	Ёсць	Ёсць	Ёсць	Ёсць
Эндацытоз	Не адкрыты	Ёсць	Ёсць	Ёсць	Ёсць
Рух цытаплазмы	Не выяўлены	Ёсць	Ёсць	Ёсць	Ёсць
Аднамембранныя арганойды	Адсутнічаюць	Ёсць	Ёсць	Ёсць	Ёсць (не характэрныя вакуолі)
Двухмембранныя арганойды	Адсутнічаюць	Мітахондры, а ў водарасцей і пластыды	Мітахондры і пластыды	Мітахондры	Мітахондры
Рыбасомы	Ёсць, меншыя, чым у эўкарыёт	Ёсць	Ёсць	Ёсць	Ёсць
Цэнтрыёлі	Адсутнічаюць	Ёсць у многіх	У большасці адсутнічаюць	У большасці адсутнічаюць	Ёсць



Пракарыётамі з'яўляюцца бактэрыі. Іх клеткі не змяшчаюць ядра і мембранных арганідаў. Кожная пракарыятычная клетка абмежавана цытаплазматычнай мембранай і клетачнай сценкай. Для клетак некаторых пракарыёт характэрна наяўнасць слізистой капсулы, варсінак і арганідаў руху — жгуцікаў. Непасрэдна ў цытаплазме пракарыятычнай клеткі размешчана кальцавая малекула ДНК — бактэрыяльная храмасома. У клетках большасці бактэрыі таксама ёсць невялікія кальцавыя малекулы ДНК — плазміды. Клеткі ўсіх пракарыёт змяшчаюць рыбасомы.

Да эўкарыёт належаць прадстаўнікі чатырох царстваў: Расліны, Жывёлы, Грыбы і Пратысты. Іх клеткі пабудаваны падобным чынам: у іх ёсць ядро і цытаплазма з рознымі мембраннымі і немембраннымі арганідамі. Аднак паміж клеткамі арганізмаў розных царстваў ёсць адрозненні, звязаныя з асаблівасцямі будовы паверхневага апарату, наяўнасцю ці адсутнасцю вакуоляў, пластыд і цэнтрыёлей. У розных эўкарыятычных клетках назапашваюцца розныя рэзервовыя вугляводы.



1. Якія з пералічаных структур ёсць ў бактэрыяльнай клетцы?

Цытаплазматычная мембрана, ядро, цытаплазма, мембранныя арганіды, немембранныя арганіды.

2. Якая будова паверхневага апарату клетак пракарыёт? Якія функцыі выконваюць слізистыя капсулы? Варсінікі? Жгуцікі?

3. Што ўяўляе сабой бактэрыяльная храмасома? Плазміды?

4. Якая будова клетачнай сценкі раслін? Чым адрозніваюцца жывёльная і раслінная клеткі?

5. Якія асаблівасці будовы клетак пратыстаў?

6\*. Параўнайце клеткі бактэрыі, пратыстаў, грыбоў, раслін і жывёл па розных крытэрыях. Вызначыце рысы падабенства і адрозненні паміж імі.

7\*. Параўнайце будову двухмембранных арганідаў (мітахондрый, хларапластаў) і бактэрыяльных клетак. Якія рысы падабенства выяўляюцца? Чым яны могуць тлумачыцца?

8\*. У клетках пракарыёт адсутнічаюць мембранныя арганіды, напрыклад мітахондрый, пластыды, комплекс Гольджы, эндаплазматычная сетка. Як вы думаеце, як пракарыятычныя клеткі могуць функцыянаваць без гэтых арганідаў? Чаму пракарыёты не могуць «абысціся» без рыбасом?

## § 16. Клетачны цыкл. Рэплікацыя ДНК

**Клетачны цыкл.** Усе новыя клеткі ўтвараюцца шляхам дзялення ўжо існуючых. Гэты прынцып, як ужо адзначалася, сфармуляваў Р. Вірхаў яшчэ ў сярэдзіне XIX ст. Дзяленне клетак забяспечвае бесперапыннасць існавання жыцця на нашай планеце. Менавіта дзякуючы

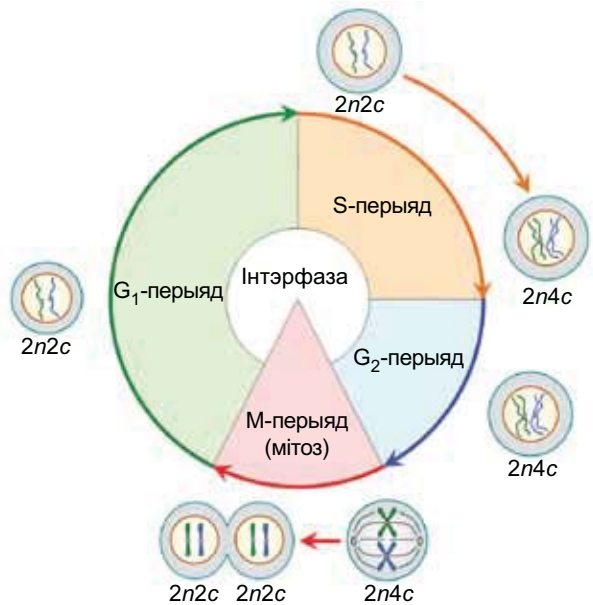
чы яму ажыццяўляюцца розныя спосабы бясплага і палавога размнажэння арганізмаў. У аснове працэсаў росту, рэгенерацыі і індывідуальнага развіцця мнагаклетачных арганізмаў таксама ляжыць дзяленне клетак.

Перыяд існавання клеткі ад моманту яе ўтварэння з мацярынскай клеткі да ўласнага дзялення (уключаючы гэта дзяленне) ці гібелі называецца **клетачным цыклам**.

Працягласць клетачнага цыкла ў розных арганізмаў і розных клетак, якія складаюць адзін арганізм, вар'іруе. Так, у бактэрыі у спрыяльных умовах ён доўжыцца прыкладна 20 мін. Кароткія клетачныя цыклы (30—60 мін) характэрны для бластамераў рыб і земнаводных на этапе драблення, у той час як у млекакормячых прамежак часу паміж дзяленнямі бластамераў можа дасягаць 10 гадзін і больш. У дарослых мышэй клеткі кішачнага эпідэлію дзеляцца кожныя 11—22 гадзіны, а рагавіцы вока — прыблізна адзін раз у тры сутак. Для клетак мнагаклетачных арганізмаў, якія дзеляцца рэгулярна, працягласць клетачнага цыкла звычайна складае 12—36 гадзін.

Клетачны цыкл складаецца з інтэрфазы і дзялення клеткі (мал. 49). **Інтэрфаза** — гэта частка клетачнага цыкла паміж двума паслядоўнымі дзяленнямі. Як правіла, яна займае больш часу, чым само дзяленне. Разгледзім асноўныя перыяды інтэрфазы на прыкладзе эўкарыятычнай клеткі.

**Прэсінтэтычны**, ці **G<sub>1</sub>-перыяд** (ад англ. *gap* — прамежак), пачынаецца з моманту ўтварэння новай клеткі ў выніку дзялення мацярынскай. Звычайна гэта самы працяглы перыяд інтэрфазы і клетачнага цыкла ў цэлым. На працягу G<sub>1</sub>-перыяду маладая клетка інтэнсіўна расце, у ёй павялічваюцца колькасць арганоідаў і сінтэзуюцца розныя злучэнні, неабходныя для працякання працэсаў жыццядзейнасці. У тым ліку ўтвараюцца рэчывы, якія будуць патрэбныя для наступнага падваення малекул ДНК.



Мал. 49. Асноўныя перыяды клетачнага цыкла



Вы ўжо ведаеце, што набор храмасом абазначаюць як  $n$ : напрыклад,  $1n$  — гаплоідны набор,  $2n$  — дыплоідны. Набор малекул ДНК у клетках прынята запісваць з дапамогай літары  $c$ . З § 14 вам вядома, што кожная храматыда змяшчае адну малекулу ДНК, г. зн. колькасць малекул ДНК і храматыд у складзе храмасом заўсёды супадае. Такім чынам, запісы тыпу  $1c$ ,  $2c$ ,  $4c$  адлюстроўваюць утрыманне ў клетках не толькі малекул ДНК, але і адпаведных храматыд.

У прэсінтэтычным перыядзе кожная храмасома складаецца з адной храматыды. Такім чынам, у  $G_1$ -перыядзе лік храмасом ( $n$ ) і храматыд ( $c$ ) у клетцы аднолькавы. Набор храмасом і храматыд дыплоіднай клеткі ў  $G_1$ -перыядзе клетачнага цыкла можна адлюстраваць запісам  $2n2c$ .

У **сінтэтычным**, ці **S-перыядзе** (ад англ. *synthesis* — сінтэз), адбываецца падваенне малекул ДНК — **рэплікацыя**, а таксама падваенне цэнтрэлей клетачнага цэнтра (у тых клетках, дзе ён ёсць). Пасля завяршэння рэплікацыі кожная храмасома складаецца ўжо з дзвюх ідэнтычных сястрынскіх храматыд, якія злучаны адна з адной у вобласці цэнтрамеры. Колькасць храматыд у кожнай пары гамалагічных храмасом становіцца роўнай чатыром. Такім чынам, набор храмасом і храматыд дыплоіднай клеткі ў канцы S-перыяду (г. зн. пасля рэплікацыі) адлюстроўваецца запісам  $2n4c$ .

**Постсінтэтычны**, ці  **$G_2$ -перыяд**, працягваецца ад заканчэння сінтэзу ДНК (рэплікацыі) да пачатку дзялення клеткі. У гэты час клетка актыўна запасае энергію і сінтэзуе бялкі для дзялення, якое адбудзецца пазней (напрыклад, бялок *тубулін* для пабудовы мікратрубчак, якія пасля ўтвараюць верацяно дзялення). На працягу ўсяго  $G_2$ -перыяду набор храмасом і храматыд у клетцы застаецца нязменным —  $2n4c$ .

Такім чынам, інтэрфаза звычайна ўключае тры перыяды: прэсінтэтычны ( $G_1$ ), сінтэтычны (S) і постсінтэтычны ( $G_2$ ) (табл. 8). На працягу ўсёй інтэрфазы храмосомы не спіралізаваны. Яны размяшчаюцца ў ядры клеткі ў выглядзе храмаціну.

Пасля завяршэння інтэрфазы пачынаецца дзяленне клеткі. Асноўным спосабам дзялення клетак эўкарыёт з'яўляецца **мітоз**, таму дадзены этап клетачнага цыкла абазначаюць як **M-перыяд**. Пры мітозе адбываецца спіралізацыя храмаціну. Гэта прыводзіць да фарміравання кампактных двуххраматыдных храмасом. Пасля гэтага сястрынскія храматыды кожнай храмосомы аддзяляюцца адна ад адной і затым трапляюць у розныя даччыныя клеткі. Значыць, даччыныя клеткі, якія ўтварыліся ў выніку мітозу і ўступілі ў новы клетачны цыкл, маюць набор  $2n2c$ .

Табліца 8. Асноўныя перыяды клетачнага цыкла

Перыяд		Утрыманне спадчыннага матэрыялу ў дыплоіднай клетцы	Кароткая характарыстыка
Інтэрфаза	Прэсінтэтычны (G <sub>1</sub> )	2n2c	Рост клеткі, утварэнне арганоідаў, падрыхтоўка да рэплікацыі
	Сінтэтычны (S)	2n2c (у пачатку) → → 2n4c (у канцы)	Рэплікацыя ДНК, падваенне цэнтрыёлей клетачнага цэнтра
	Постсінтэтычны (G <sub>2</sub> )	2n4c	Завяршэнне падрыхтоўкі да дзялення
Мітоз (M)		2n4c (у мацярынскай клетцы) → → 2n2c (у кожнай даччынай клетцы)	Дзяленне клеткі на дзве даччыныя

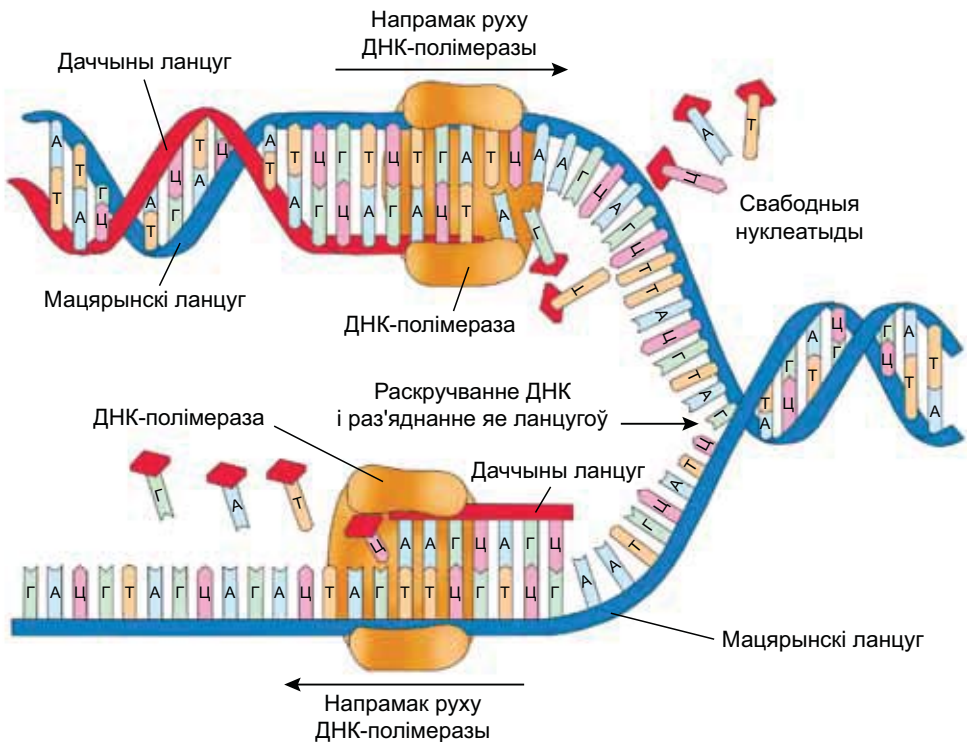
Некаторыя клеткі мнагаклетачных арганізмаў, якія ўтварыліся пры мітозе, праходзяць далей G<sub>1</sub>-, S- і G<sub>2</sub>-перыяды інтэрфазы і зноў уступаюць у мітоз. Гэта характэрна, напрыклад, для клетак пакрыўных эпителияў (растковага слоя эпідэрмісу скуры, эпителию страўнікава-кішэчнага тракту і інш.), чырвонага касцявога мозгу, утваральных тканак раслін.

У адрозненне ад іх многія клеткі пасля праходжання часткі G<sub>1</sub>-перыяду ўступаюць у так званы **перыяд спакою**, ці **G<sub>0</sub>-перыяд**. Клеткі, якія знаходзяцца ў G<sub>0</sub>-перыядзе, выконваюць свае функцыі ў арганізме, аднак у іх не адбываецца падрыхтоўкі да рэплікацыі. Гэта ўласціва, перш за ўсё, высокаспецыялізаваным клеткам — нейронам, клеткам сардэчнай мышцы, хрусталіка вока і інш. Такія клеткі, як правіла, назаўсёды губляюць здольнасць да дзялення.

Аднак некаторыя клеткі, якія знаходзяцца ў G<sub>0</sub>-перыядзе (напрыклад, клеткі печані, эндакрынных залоз, лейкоцыты), захоўваюць здольнасць да выхаду з перыяду спакою, працягу клетачнага цыкла і наступнага дзялення. Такая з'ява назіраецца, напрыклад, пры пашкоджанні органа, у склад якога дадзеныя клеткі ўваходзяць.

**Рэплікацыя ДНК.** Успомнім, што падваенне малекул ДНК, якое ажыццяўляецца ў сінтэтычным (S) перыядзе клетачнага цыкла, называецца **рэплікацыяй**. У ажыццяўленні рэплікацыі ДНК прымае ўдзел цэлы комплекс ферментаў. Спачатку з дапамогай асаблівых ферментаў адбываецца раскручванне зыходнай мацярынскай малекулы ДНК і раз'яднанне двух яе ланцугоў за кошт разрыву вадародных сувязей паміж камплементарнымі азоцістымі асновамі.

Пасля гэтага з ланцугамі, якія разышліся, звязваюцца малекулы *ДНК-полімеразы* — галоўнага ферменту рэплікацыі. Малекулы *ДНК-полімеразы* пачынаюць рухацца ўздоўж мацярынскіх ланцугоў, выкарыстоўваючы іх у якасці матрыц для пабудовы з нуклеатаў новых даччыных ланцугоў (мал. 50). Пры гэтым нуклеатыды ўключаюцца ў даччыныя ланцугі *ДНК*, якія растуць, па прынцыпе камплементарнасці. Напрыклад, калі ўчастак мацярынскага ланцуга *ДНК* змяшчае паслядоўнасць нуклеатаў **ГТАЦАГ**, то ў адпаведным яму ўчастку даччынага ланцуга нуклеатыды будуць размяшчацца наступным чынам: **ЦАТГТЦ**. У сувязі з гэтым рэплікацыя адносіцца да **рэакцый матрычнага сінтэзу**.



Мал. 50. Схема працэсу рэплікацыі *ДНК*

У выніку рэплікацыі ўтвараюцца дзве малекулы *ДНК*, ідэнтычныя адна адной і зыходнай мацярынскай малекуле. У склад кожнай з іх уваходзіць адзін ланцуг мацярынскай малекулы *ДНК* і адзін толькі што сінтэзаваны даччыны ланцуг.



Перыяд жыцця клеткі з моманту яе ўтварэння з мацярынскай клеткі да дзялення (уключаючы гэта дзяленне) ці гібелі называецца клетачным цыклам. Ён складаецца з інтэрфазы і дзялення клеткі. Інтэрфаза (частка клетачнага цыкла паміж дзяленнямі) звычайна ўключае тры перыяды. У  $G_1$ -перыядзе клетка расце і рыхтуецца да рэплікацыі, у S-перыядзе адбываецца рэплікацыя, у  $G_2$ -перыядзе завяршаецца падрыхтоўка да дзялення. Рэплікацыя ДНК адбываецца з удзелам розных ферментаў, найважнейшым з якіх з'яўляецца ДНК-полімераза. Матрыцамі для сінтэзу даччыных ланцугоў ДНК служаць абодва ланцугі мацярынскай малекулы, г. зн. рэплікацыя з'яўляецца рэакцыяй матрычнага сінтэзу. У выніку рэплікацыі ўтвараюцца дзве ідэнтычныя малекулы ДНК. У склад кожнай з іх уваходзіць адзін ланцуг зыходнай мацярынскай малекулы і адзін толькі што сінтэзаваны даччыны ланцуг.



1. Што такое клетачны цыкл?

2. Ахарактарызуйце асноўныя перыяды клетачнага цыкла па плане: 1) назва і скарачанае абазначэнне; 2) працэсы, якія адбываюцца; 3) утрыманне генетычнага матэрыялу ў клетцы.

3. Што ўяўляе сабой  $G_0$ -перыяд? Якія клеткі ў яго ўступаюць? Ці ўсе клеткі, што ўступаюць у перыяд спакою, назаўсёды страчваюць здольнасць да дзялення? Адкаж растлумачце.

4. Што такое рэплікацыя ДНК? Якім чынам ажыццяўляецца гэты працэс?

5. Чаму рэплікацыю ДНК адносяць да рэакцыі матрычнага сінтэзу?

6\*. Ці аднолькавыя малекулы ДНК, якія ўваходзяць у склад гамалагічных храмасом? У склад сестрынскіх храматыд? Чаму?

7\*. У мнагаклетачных арганізмах ёсць так званыя ствалавыя клеткі. Яны з'яўляюцца першаснымі клеткамі, з якіх у пачатку эмбрыянальнага развіцця фарміруюцца органы зародка, і на працягу ўсяго жыцця захоўваюць здольнасць да дзялення. Раней лічылася, што ствалавыя клеткі ёсць толькі ў эмбрыёнаў, зараз жа яны выяўлены амаль ва ўсіх органах дарослых людзей. У 1999 г. часопіс «Science» прызнаў адкрыццё ствалавых клетак найважнейшай навуковай падзеяй у біялогіі. Якія перспектывы выкарыстання ствалавых клетак?

## § 17. Мітоз. Амітоз

Як вы ведаеце, бактэрыі размнажаюцца шляхам простага дзялення папалам. Перад гэтым адбываецца рэплікацыя адзінай бактэрыяльнай храмасомы — кальцавой малекулы ДНК. У выніку наступнага дзялення ў кожнай з дзвюх даччыных клетак аказваецца па адной храмасоме.

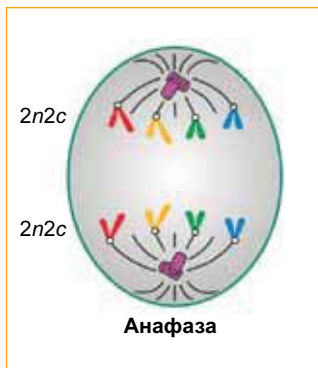
Эўкарыятычныя клеткі, у адрозненне ад пракарыятычных, маюць больш складаную арганізацыю. Таму для іх характэрны іншыя спосабы дзялення: мітоз, амітоз, меёз.



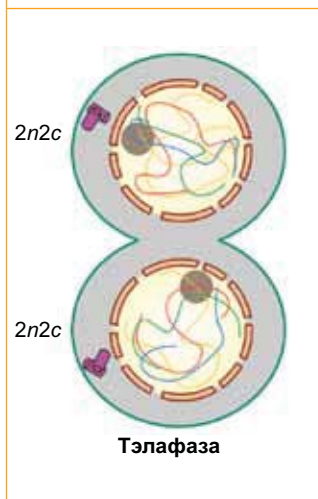
**Мітоз** — асноўны спосаб дзялення клетак эўкарыёт, у выніку якога з адной мацярынскай клеткі ўтвараюцца *дзе даччыныя з такім жа наборам храмасом, як і ў мацярынскай клетцы*. Працягласць мітозу ў сярэднім складае 1—2 гадзіны. Гэта бесперапынны працэс, але для зручнасці яго падзяляюць на некалькі фаз. Мітозам могуць дзяліцца клеткі з рознымі наборамі храмасом — гаплоідныя ( $1n$ ), дыплоідныя ( $2n$ ), трыплоідныя ( $3n$ ) і г. д. Разгледзім працэс мітатычнага дзялення на прыкладзе дыплоіднай клеткі (табл. 9).

Табліца 9. Мітоз

Схема	Фаза і працэсы, якія ў ёй адбываюцца
<p>Ядзерная абалонка</p> <p>Цэнтрыёлі</p> <p>Храмацін</p> <p><math>2n4c</math></p> <p><b>Ранняя прафаза</b></p> <p>Ніці верацяна дзялення</p> <p><math>2n4c</math></p> <p><b>Позняя прафаза</b></p> 	<p><b>Прафаза.</b> У ядры клеткі пачынаецца спіралізацыя храмаціну, што паступова прыводзіць да фарміравання храмасом. Кожная з іх складаецца з дзвюх сястрынскіх храматыд, злучаных у вобласці цэнтрамеры. Падчас фарміравання храмасом знікаюць ядзеркі. Абалонка ядра распадаецца на дробныя фрагменты. Часткова спіралізаваныя храмасомы аказваюцца ў гіялаплазме і размяшчаюцца ў ёй хаатычна. Набор храмасом і храматыд у клетцы можна адлюстравіць запісам <math>2n4c</math>.</p> <p>У час прафазы два клетачныя цэнтры (падваенне гэтага арганоіда, як вы ведаеце, адбылося ў S-перыядзе інтэрфазы) ініцыююць утварэнне мікратрубчак. З іх пачынае фарміравацца <i>верацяно дзялення</i>. У працэсе яго ўтварэння цэнтрыёлі парамі разыходзяцца да процілеглых полюсаў клеткі. Ніці верацяна дзялення (мікратрубчкі) прымацоўваюцца да цэнтрамераў храмасом і спрыяюць іх перамяшчэнню ў экватарыяльную плоскасць клеткі. У клетках, дзе адсутнічае клетачны цэнтр (што характэрна, напрыклад, для большасці раслін), верацяно дзялення фарміруецца без удзелу цэнтрыёлей</p>
<p><math>2n4c</math></p> <p><b>Метафаза</b></p> 	<p><b>Метафаза.</b> Завяршаецца фарміраванне верацяна дзялення. Храмасомы дасягаюць максімальнай спіралізацыі і размяшчаюцца ў цэнтральнай частцы клеткі, прыкладна на роўнай адлегласці ад полюсаў. Пры гэтым іх цэнтрамеры знаходзяцца ў экватарыяльнай плоскасці клеткі. З дапамогай ніцей верацяна дзялення цэнтрамера кожнай храмасомы звязана з двума процілеглымі полюсамі клеткі</p>



**Анафаза.** Цэнтрамера кожнай храмасомы дзеліцца папалам, і сястрынскія храматыды аддзяляюцца адна ад адной. З гэтага моманту іх называюць даччынымі храмасомамі. Ніці верацяна дзялення, прымацаваныя да цэнтрамер, скарачаюцца, і даччыныя храмасомы разыходзяцца да процілеглых полюсаў клеткі. У канцы анафазы каля кожнага полюса клеткі аказваецца ідэнтычны набор даччыных храмасом (малекул ДНК) —  $2n2c$



**Тэлафаза.** Ніці верацяна дзялення паступова разбураюцца. Поблізу ад кожнага полюса клеткі адбываецца дэспіралізацыя (раскручванне) даччыных храмасом з утварэннем храмаціну. Адначасова з гэтым вакол храмасом, якія дэспіралізуюцца, фарміруюцца абалонкі двух новых ядраў. Далей ва ўтвораных ядрах узнікаюць ядзеркі, і пачынаецца раздзяленне клеткі на дзве даччыныя. У экватарыяльнай плоскасці клетак жывёл кампаненты цыташкілета фарміруюць *кальцавую перацяжку*. Яна паглыбляецца, пакуль не адбудзецца поўны падзел дзвюх даччыных клетак. Клеткі раслін у сувязі з наяўнасцю цвёрдай клетачнай сценкі падзяляюцца інакш. У экватарыяльнай плоскасці расліннай клеткі са змесціва пупыркоў комплексу Гольджы ўтвараецца так званая *пасярэдняя пласцінка*, якая і аддзяляе даччыныя клеткі адна ад адной

Запомніць паслядоўнасць фаз мітатычнага дзялення клеткі дапаможа слова «ПРЫМАТ».

Як ужо адзначалася, пры мітозе ўтвараюцца дзве даччыныя клеткі з аднолькавым наборам храмасом — такім жа, як у зыходнай мацярынскай клетцы, якая ўступала ў мітоз. Адрозненне заключаецца толькі ў тым, што кожная храмасома даччынай клеткі, якая ўступае ў інтэрфазу новага клетачнага цыкла, да рэплікацыі прадстаўлена не дзвюма ідэнтычнымі храматыдамі, а адной.

**Біялагічнае значэнне мітозу.** У ходзе мітозу малекулы ДНК, якія змяшчаліся ў ядры мацярынскай клеткі, дакладна і раўнамерна размяркоўваюцца паміж даччынымі. Значыць, дзве новыя клеткі атрымліваюць аднолькавую спадчынную інфармацыю і аказваюцца генетычна

ідэнтычнымі адна адной і мацярынскай клетцы. Такім чынам, мітатычнае дзяленне забяспечвае дакладную перадачу генетычнай інфармацыі ў шэрагу пакаленняў клетак і абумоўлівае падтрыманне пастаяннага ліку храмасом.

Дзякуючы мітозу ў мнагаклетачным арганізме адбываецца павелічэнне колькасці клетак. Гэта ляжыць у аснове росту і развіцця ўсіх мнагаклетачных арганізмаў, а таксама забяспечвае працэсы рэгенерацыі — аднаўлення пашкоджаных тканак і органаў. Бясполае размнажэнне многіх арганізмаў (дзяленне аднаклетачных пратыстаў, пачкаванне кішачнаполасцевых, вегетатыўнае размнажэнне раслін і г. д.) таксама абумоўлена мітатычным дзяленнем клетак.

**Амітоз.** Пры амітозе ў клетцы не фарміруецца верацяно дзялення, у яе ядры не адбываецца спіралізацыя храмаціну, захоўваюцца ядзеркі і ядзерная абалонка. Ядро застаецца ў стане, характэрным для інтэрфазы, і падзяляецца папалам перацяжкай. Пры гэтым малекулы ДНК (храмасомы) размяркоўваюцца паміж даччынымі ядрамі нераўнамерна, выпадковым чынам. У шэрагу выпадкаў амітатычнае дзяленне ядра не суправаджаецца наступным дзяленнем клеткі на дзве даччыныя. Гэта прыводзіць да з'яўлення двух'ядзерных і нават шмат'ядзерных клетак. Калі ж даччыныя клеткі ўсё-такі ўтвараюцца, то клетачныя кампаненты, як і ДНК, размяркоўваюцца паміж імі выпадкова і нераўнамерна.

Амітоз — параўнальна рэдкая з'ява. Гэтым спосабам дзеліцца, напрыклад, вялікае ядро інфузорый. У мнагаклетачных арганізмаў амітоз назіраецца пры розных паталагічных працэсах (рост пухлін, запаленне і інш.), а таксама ў клетках, якія старэюць ці павінны загінуць. Як правіла, клеткі, што ўзніклі ў выніку амітозу, губляюць здольнасць уступаць у звычайны клетачны цыкл і ў далейшым дзеліцца мітозам.



Мітоз — асноўны спосаб дзялення клетак эўкарыёт, у выніку якога з адной мацярынскай клеткі ўтвараюцца дзве даччыныя з такім жа наборам храмасом. У мнагаклетачных арганізмаў мітатычнае дзяленне клетак забяспечвае працэсы росту, развіцця і рэгенерацыі. У аснове бясполага размнажэння многіх арганізмаў таксама ляжыць мітоз. Пры амітозе ядро клеткі дзеліцца перацяжкай, малекулы ДНК размяркоўваюцца паміж даччынымі ядрамі нераўнамерна і часта не адбываецца дзялення клеткі на дзве даччыныя.



1. Якія спосабы дзялення характэрныя для клетак пракарыёт? Для эўкарыятычных клетак?

Амітоз, мітоз, меёз, простае дзяленне папалам.

2. Што такое мітоз? Ахарактарызуйце фазы мітозу.

3. У сувязі з чым даччыныя клеткі, утвораныя ў выніку мітозу, атрымліваюць аднолькавую спадчынную інфармацыю? У чым заключаецца бялагічнае значэнне мітозу?

4. Устанавіце адпаведнасць паміж саматычнымі клеткамі чалавека, якія знаходзяцца ў розных перыядах інтэрфазы і мітозу, і колькасцю храмасом і храматыд у гэтых клетках.

1)  $G_1$ -перыяд

2)  $G_2$ -перыяд

3) Прафаза

4) Метафаза

5) Каля кожнага полюса клеткі

ў канцы анафазы

6) У кожнай даччынай клетцы

ў канце тэлафазы

а) 23 храмасомы, 23 храматыды

б) 23 храмасомы, 46 храматыд

в) 46 храмасом, 46 храматыд

г) 46 храмасом, 92 храматыды

5\*. У чым заключаюцца адрозненні паміж мітозам і амітозам? Як вы думаеце, чаму мітоз называюць непрамым дзяленнем клеткі, а амітоз — прамым?

6\*. У ядры клеткі, якая не дзеліцца, спадчынны матэрыял (ДНК) знаходзіцца ў выглядзе аморфнага разасяроджанага рэчыва — храмаціну. Перад дзяленнем храмацін спіралізуюцца і ўтварае кампактныя структуры — храмасомы, а пасля дзялення вяртаюцца ў зыходны стан. Для чаго клеткі ажыццяўляюць такія складаныя відазмяненні свайго спадчыннага матэрыялу?

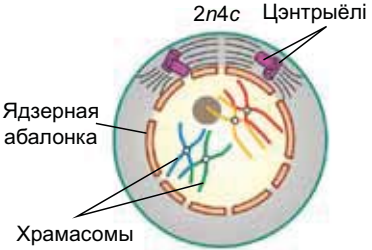
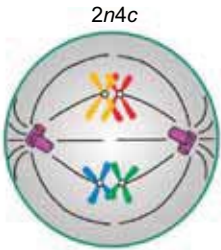
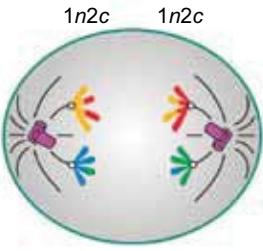
## § 18. Меёз

**Меёз** — асаблівы спосаб дзялення эўкарыятычных клетак, у выніку якога з адной мацярынскай клеткі ўтвараюцца чатыры даччыныя з паменшаным у 2 разы наборам храмасом. Калі ў меёз уступае дыплоідная клетка ( $2n4c$ ), то ўтвараюцца чатыры гаплоідныя клеткі ( $1n1c$ ). Клеткі з гаплоідным наборам храмасом не здольныя дзяліцца меёзам.

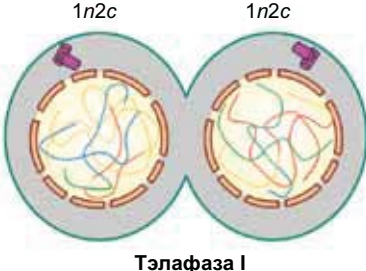
Меёз уяўляе сабой два паслядоўныя дзяленні — меёз I і меёз II. Важна адзначыць, што рэплікацыя ДНК папярэднічае толькі першаму мятычнаму дзяленню. Паміж меёзам I і меёзам II падваення ДНК не адбываецца. Кожнае з двух дзяленняў звычайна ўключае прафазу, метафазу, анафазу і тэлафазу. Разгледзім працэс мятычнага дзялення дыплоіднай клеткі. Першае дзяленне меёзу ажыццяўляецца наступным чынам (табл. 10, с. 96).



Табліца 10. Першае дзяленне меёзу (меёз I)

Схема	Фаза і працэсы, якія ў ёй адбываюцца
 <p><b>Прафаза I</b></p>	<p><b>Прафаза I.</b> У ядры пачынаецца спіралізацыя храматыду. Паступова фарміруюцца двуххраматыдныя храмасомы. Набор храмасом і храматыд у клетцы адлюстроўваецца запісам <math>2n4c</math>. Гамалагічныя храмасомы парамі збліжаюцца і злучаюцца адна з адной. Гэты працэс называецца <i>кан'югацыяй</i> гамалагічных храмасом. Паміж храматыдамі гамалагічных храмасом можа адбывацца абмен адпаведнымі ўчасткамі — <i>кросінговер</i>. Адначасова з гэтым у клетцы пачынаецца ўтварэнне вярцяна дзялення. У канцы прафазы I знікаюць ядзеркі і распадаецца ядзерная абалонка</p>
 <p><b>Метафаза I</b></p>	<p><b>Метафаза I.</b> Завяршаецца фарміраванне вярцяна дзялення. Спіралізацыя храмасом дасягае максімуму. Пары гамалагічных храмасом, злучаных адна з адной, размяшчаюцца ў цэнтральнай частцы клеткі. Пры гэтым ніці вярцяна дзялення, якія ідуць ад процілеглых полюсаў клеткі, прымацаваны да цэнтрамер розных гамалагічных храмасом. Такім чынам, у кожнай пары адна з храмасом аказваецца звязанай з адным полюсам клеткі, а другая — з процілеглым</p>
 <p><b>Анафаза I</b></p>	<p><b>Анафаза I.</b> У адрозненне ад мітозу цэнтрамеры храмасом не дзеліцца папалам. Таму ніці вярцяна дзялення расцягваюць да процілеглых полюсаў клеткі не сястрынскія храматыды, як пры мітозе, а гамалагічныя храмасомы. Такім чынам, дыплоідны набор <math>2n4c</math> дзеліцца на два гаплоідныя наборы, якія пасля трапяць у розныя даччыныя клеткі. Кожная храмасома складаецца з дзвюх храматыд, якія ў выніку кросінговера ўжо не ідэнтычныя адна адной. Такім чынам, у канцы анафазы I набор храмасом і храматыд каля кожнага полюса клеткі, якая дзеліцца, складае <math>1n2c</math></p>

## Працяг

Схема	Фаза і працэсы, якія ў ёй адбываюцца
 <p style="text-align: center;">Тэлафаза I</p>	<p><b>Тэлафаза I.</b> Верацяно дзялення разбураецца. Адбываецца дэспіралізацыя храмасом і фарміраванне двух ядраў. Далей клетка раздзяляецца на дзве даччыныя. Яны змяшчаюць гаплоідны набор храмасом, кожная храмасома складаецца з дзвюх храматыд (<math>1n2c</math>)</p>



Прамежак часу паміж першым і другім дзяленнямі меёзу звычайна вельмі кароткі. У гэты перыяд, як адзначалася, не ажыццяўляецца рэплікацыя ДНК. Кожная з дзвюх клетак, якія ўтварыліся ў выніку меёзу I, уступае ў меёз II. Гэта дзяленне працякае аналагічна мітозу (табл. 11).

Табліца 11. Другое дзяленне меёзу (меёз II)

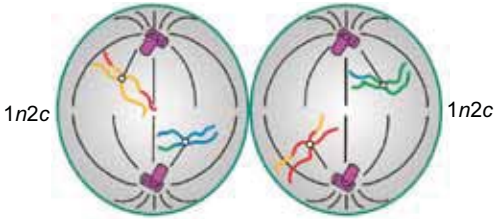
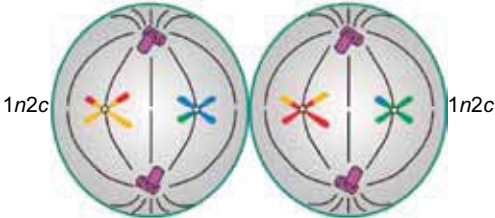
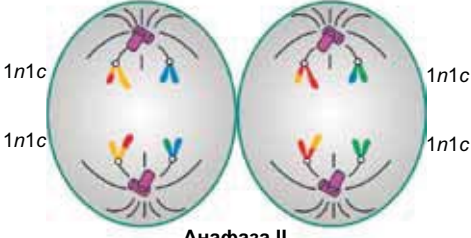
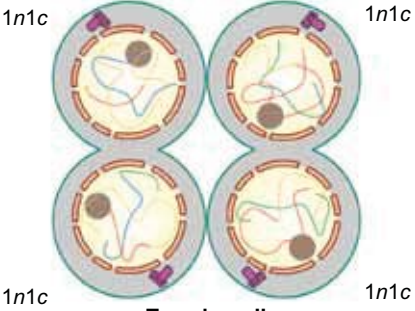
Схема	Фаза і працэсы, якія ў ёй адбываюцца
 <p style="text-align: center;">Прафаза II</p>	<p><b>Прафаза II.</b> У выніку спіралізацыі храмаціну фарміруюцца двуххраматыдныя храмасомы (набор <math>1n2c</math>). У гэты ж час пачынаецца ўтварэнне верацяна дзялення. Пасля распаду ядзернай абалонкі асобныя храмасомы хаатычна размяшчаюцца ў гіялаплазме</p>
 <p style="text-align: center;">Метафаза II</p>	<p><b>Метафаза II.</b> Завяршаецца фарміраванне верацяна дзялення. Храмасомы, якія дасягнулі максімальнай спіралізацыі, размяшчаюцца ў цэнтральнай частцы клеткі. Ніці верацяна дзялення злучаюць цэнтрамеры кожнай храмасомы з двума процілеглымі полюсамі</p>

Схема	Фаза і працэсы, якія ў ёй адбываюцца
 <p style="text-align: center;"><b>Анафаза II</b></p>	<p><b>Анафаза II.</b> Адбываецца раздзяленне цэнтрамер. Сястрынскія храматыды (цяпер ужо даччыныя храмосомы) расцягваюцца да розных полюсаў клеткі. У канцы анафазы II набор храмасом і храматыд каля кожнага полюса складае <math>1n1c</math></p>
 <p style="text-align: center;"><b>Тэлафаза II</b></p>	<p><b>Тэлафаза II.</b> Храмосомы дэспіралізуюцца, фарміруюцца ядры, і адбываецца раздзяленне клетак. Пры гэтым утвараюцца чатыры даччыныя клеткі з наборам <math>1n1c</math></p>

Такім чынам, у выніку першага дзялення меёзу зыходная мацярынская клетка ( $2n4c$ ) падзялілася на дзве даччыныя. Набор храмасом у гэтых клетках ужо паменшыўся ўдвая, аднак кожная храмосома ўсё яшчэ прадстаўлена дзвюма храматыдамі ( $1n2c$ ). Другое дзяленне, якое праходзіць па тыпе мітозу, суправаджаецца разыходжаннем сястрынскіх храматыд. Таму вынікам другога дзялення з'яўляецца ўтварэнне чатырох гаплоідных клетак з аднахраматыднымі храмасомамі ( $1n1c$ ).



Меёз — больш працяглы працэс, чым мітоз. Напрыклад, у ржы ён працякае больш за 2 сут, у рэпчатой цыбулі — каля 4 сут. Меятычнае дзяленне клетак мышы займае прыкладна тыдзень. Меёз, які праходзіць пры ўтварэнні сперматазоідаў чалавека, доўжыцца прыблізна 25 дзён. Самай працяглай стадыяй меёзу з'яўляецца прафаза I.

**Біялагічнае значэнне меёзу.** У жывёл і чалавека шляхам меёзу ўтвараюцца гаметы — гаплоідныя палавыя клеткі. У выніку наступнага апладнення фарміруецца зігота з двайным наборам храмасом, з якой развіваецца новы арганізм. Ён з'яўляецца дыплоідным, як і яго бацькі, а значыць, захоўвае ўласцівы дадзенаму віду арганізмаў карыятып. Без меёзу, які прыводзіць

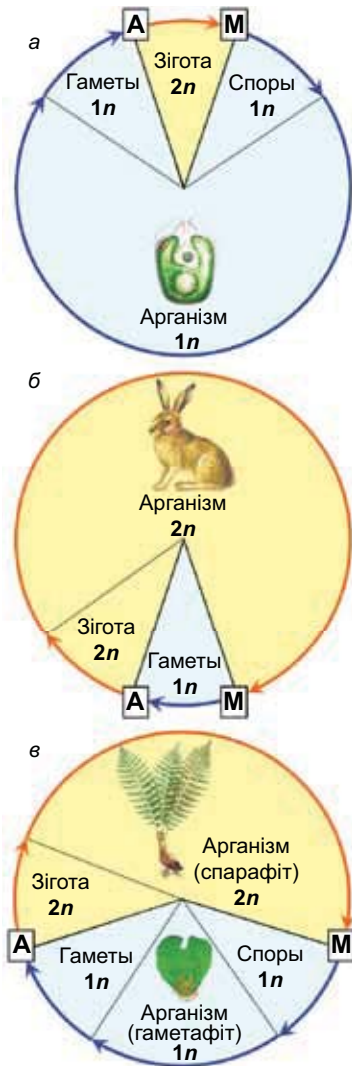
да памяншэння набору храмасом у 2 разы, палавое размнажэнне суправаджалася б падваеннем ліку храмасом у кожным новым пакаленні. У раслін, многіх водарасцей і грыбоў меёз прыводзіць да фарміравання спор, з дапамогай якіх ажыццяўляецца бясплавае размнажэнне.

Кросінговер, які адбываецца ў прафазе I, прыводзіць да перакамбінацыі спадчыннага матэрыялу паміж гамалагічнымі храмасомамі. У анафазе I гамалагічныя храмасомы кожнай пары выпадковым чынам, незалежна ад іншых пар, разыходзяцца да розных полюсаў клеткі. У анафазе II тое ж самае адбываецца з сястрынскімі храматыдамі. Усе гэтыя працэсы з'яўляюцца важнымі крыніцамі *камбінатыйнай зменлівасці* (будзе разгледжана падрабязна ў раздзеле 6), якая забяспечвае з'яўленне разнастайнага патомства як пры палавым размнажэнні, так і пры размнажэнні спорами.

**Месца меёзу і апладнення ў жыццёвым цыкле арганізмаў.** Большасці відаў эўкарыятычных арганізмаў уласціва палавое размнажэнне. Пры гэтым у жыццёвым цыкле адбываецца чаргаванне гаплоідных ( $1n$ ) і дыплоідных ( $2n$ ) стадый развіцця — *змена ядзерных фаз*.

Ключавую ролю ў змене ядзерных фаз адыгрываюць такія працэсы, як *меёз* і *апладненне*. Дзякуючы меёзу ажыццяўляецца пераход з дыплоіднай фазы ў гаплоідную. Аднаўленне дыплоіднага набору храмасом адбываецца ў выніку апладнення. У залежнасці ад месца меёзу і апладнення ў цыклах развіцця працягласць гаплоіднай і дыплоіднай фаз у розных груп арганізмаў можа істотна адрознівацца.

Напрыклад, у некаторых водарасцей (хламідаманада і інш.) і многіх грыбоў усе стадыі жыццёвага цыклу гаплоідны, за выключэннем зіготы (мал. 51, а). Першае дзяленне дыплоіднай зіготы, якая ўзнікла ў выніку апладнення, ажыццяўляецца шляхам меёзу. З утвораных



Мал. 51. Схемы жыццёвых цыклаў з рознай працягласцю гаплоіднай і дыплоіднай фаз: а — цыкл развіцця хламідаманады; б — млекакормячага; в — папараці. М — меёз, А — апладненне

гаплоідных клетак — спор — развіваюцца арганізмы, якія маюць набор храмасом *1n*. Утварэнне гамет у такіх арганізмаў адбываецца за кошт мітозу. Далей гаметы парамі зліваюцца, у зігоце аднаўляецца дыплоідны набор храмасом, і цыкл замыкаецца.

Для жывёл, наадварот, характэрны жыццёвы цыкл, у якім усе стадыі развіцця дыплоідныя, і толькі палавыя клеткі змяшчаюць гаплоідны набор храмасом (мал. 51, б). Меёз у жывёл непасрэдна папярэднічае ўтварэнню гамет. Гаметы неўзабаве зліваюцца, і з зіготы развіваецца асобіна з дыплоідным наборам храмасом.

У раслін у цыкле развіцця заканамерна змяняюць адно аднаго два пакаленні арганізмаў: гаплоіднае — *гаметафіт* і дыплоіднае — *спарафіт* (мал. 51, в). Гаметафіт — гэта палавое пакаленне, якое ўтварае гаметы шляхам мітозу. Пасля апладнення з зіготы, што змяшчае двайны набор храмасом, развіваецца дыплоідны спарафіт — бясплае пакаленне. Спарафіт шляхам меёзу фарміруе споры з наборам *1n*. З гэтых спор далей развіваюцца гаплоідныя гаметафіты.

Дыплоідны набор храмасом у параўнанні з гаплоідным забяспечвае больш надзейнае захаванне спадчыннай інфармацыі. З курса біялогіі 10-га класа вы ведаеце, што арганізмы, якія змяшчаюць двайны набор храмасом, здольныя лепш адаптавацца да зменлівых ўмоў асяроддзя, чым гаплоідныя. Таму ў працэсе эвалюцыі, пры пераходзе ад прымітыўных форм жыцця да больш дасканалых, ступень развіцця гаплоіднай фазы і яе працягласць у жыццёвым цыкле арганізмаў памяншалася, а дыплоіднай, наадварот, узрасла.



Меёз — асаблівы спосаб дзялення клетак эўкарыёт, у выніку якога з адной мацярынскай клеткі ўтвараюцца чатыры даччыныя з паменшаным у 2 разы наборам храмасом. Меёз перашкаджае падваенню ліку храмасом пры палавым размнажэнні. Кросінговер, які працякае у прафазе I, незалежнае разыходжанне гамалагічных храмасом у анафазе I і сястрынскіх храматыд у анафазе II служаць важнымі крыніцамі камбінатыўнай зменлівасці арганізмаў. Меёз і апладненне забяспечваюць змену ядзерных фаз у жыццёвым цыкле арганізмаў, якім уласціва палавое размнажэнне.



1. Колькі даччыных клетак і з якім наборам храмасом утвараецца з адной дыплоіднай клеткі ў выніку: а) мітозу; б) меёзу?

Дзве гаплоідныя, дзве дыплоідныя, чатыры гаплоідныя, чатыры дыплоідныя.

2. Што ўяўляе сабой кан'югацыя храмасом? У якой фазе меёзу адбываецца кросінговер? Якое значэнне мае гэты працэс?

3. Якія падзеі, што працякаюць у меёзе, забяспечваюць памяншэнне ў два разы набору храмасом у даччыных клетках?

4. У чым заключаецца біялагічнае значэнне меёзу?

5\*. Параўнайце мітоз і меёз, выявіце рысы падабенства і адрозненні. У чым заключаецца галоўнае адрозненне меёзу ад мітозу?

6\*. Як вы лічыце, чаму меёз характэрны толькі для тых відаў жывых арганізмаў, якім уласціва палавое размнажэнне? Якую ролю ў жыццёвым цыкле гэтых арганізмаў адыгрывае працэс апладнення?

## § 19. Будова і ўтварэнне палавых клетак

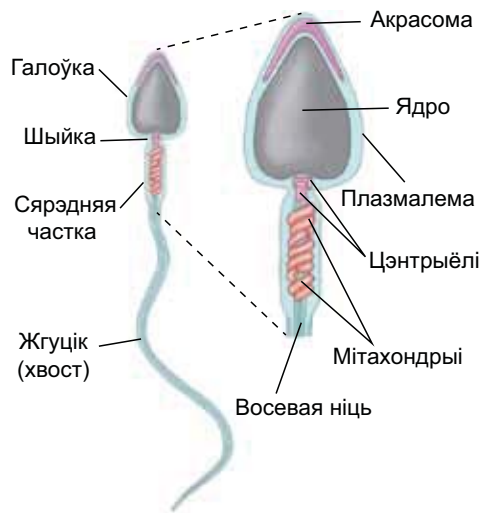
Як ужо адзначалася, большая частка відаў эўкарыёт валодае здольнасцю да палавога размнажэння. Вам таксама вядома, што спецыялізаваныя клеткі, якія забяспечваюць палавое размнажэнне арганізмаў, называюцца **палавымі клеткамі** ці **гаметами**. Іх зліццё (за выключэннем выпадкаў партэнагенезу) прыводзіць да ўтварэння зіготы, з якой у далейшым развіваецца новая асобіна.

Для большасці арганізмаў, акрамя некаторых пратыстаў і грыбоў, характэрна ўтварэнне гамет двух тыпаў — мужчынскіх і жаночых. Яны істотна адрозніваюцца па памерах, будове і фізіялагічных уласцівасцях. Мужчынскія палавыя клеткі звычайна значна меншыя за жаночыя і валодаюць рухомасцю — гэта *сперматазоіды*. У насенных раслін мужчынскія гаметы — *сперміі* — нерухомыя. Жаночыя палавыя клеткі называюцца *яйцаклеткамі*.

**Гаметагенез** — працэс ўтварэння палавых клетак — у мнагаклетачных арганізмаў, як правіла, працякае ў спецыяльных органах. Напрыклад, у жывёл, за выключэннем самых прымітыўных (напрыклад, кішачнаполасцевых), гаметагенез ажыццяўляецца ў палавых залозах. Мужчынскія палавыя залозы называюцца *семяннікамі*, жаночыя — *яечнікамі*.

**Будова палавых клетак.** Разгледзім асаблівасці будовы гамет на прыкладзе тыповых палавых клетак жывёл — сперматазоіда і яйцаклеткі.

**Сперматазоіды** жывёл звычайна складаюцца з галоўкі, шыйкі, сярэдняй часткі і жгуціка (хвоста), які забяспечвае актыўнае перамяшчэнне (мал. 52). У галоўцы

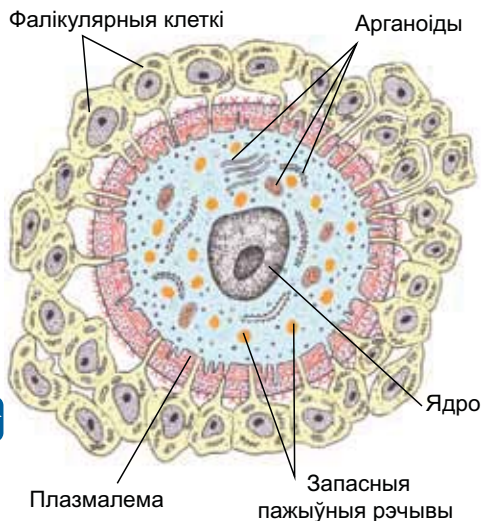


Мал. 52. Схема будовы сперматазоіда

знаходзіцца ядро, перад ім размяшчаецца *акрасома* — асаблівы мембранны пузырок. Ён змяшчае ферменты, якія раствараюць абалонкі яйцаклеткі пры апладненні. У вузкай шыйцы сперматазоіда знаходзяцца дзве центрыёлі. Ад адной з іх бярэ пачатак рухомая *восевая ніць* жгуціка, утвораная мікратрубачкамі. Пачатковы аддзел восевай ніці, які праходзіць праз некалькі пашыраную сярэднюю частку сперматазоіда, акружаны мітахондрыямі. Яны выпрацоўваюць АТФ, неабходную для руху жгуціка.

Такім чынам, сперматазоід пазбаўлены запасу пажыўных рэчываў і змяшчае мінімальную колькасць унутрыклетачных структур, якія забяспечваюць яго рухомасць і здольнасць да апладнення яйцаклеткі. Энергію, неабходную для руху, сперматазоіды атрымліваюць, перш за ўсё, за кошт расщеплення рэчываў, якія змяшчаюцца ў семявай вадкасці вакол іх.

**Яйцаклеткі** большасці жывёл нерухомыя і звычайна маюць акруглую форму (мал. 53). Жаночая палавая клетка змяшчае буйное ядро і цытаплазму з рознымі арганоідамі, а таксама з запасам пажыўных рэчываў для развіцця зародка. Як правіла, яйцаклеткі значна буйнейшыя за сперматазоіды і большасць саматычных клетак. Так, дыяметр яйцаклеткі чалавека складае 150—200 мкм, у той час як даўжыня сперматазоіда роўна прыблізна 60 мкм пры шырыні галоўкі каля 3 мкм.



Самыя буйныя жаночыя гаметы характэрны для жывёл, зародкі якіх развіваюцца па-за мацярынскім арганізмам, — птушак, паўзуноў, земнаводных, многіх рыб. Напрыклад, памер яйцаклеткі (ікрынкі) жабы роўны 2 мм, ласасёвых рыб — 6—9 мм. У птушак дыяметр яйцаклетак можа дасягаць некалькіх сантыметраў. Панад плазмалемай яйцаклетка можа быць акружана яшчэ адной ці некалькімі абалонкамі. Яны выконваюць галоўным чынам ахоўную функцыю.

Працэс утварэння мужчынскіх палавых клетак называецца **сперматагенезам**, жаночых — **аагенезам**. Разгледзім праходжанне сперматагенезу і аагенезу на прыкладзе млекакормячых.

Мал. 53. Схема будовы яйцаклеткі

**Сперматагенез у млекакормячых** пачынаецца з перыяду палавога паспявання. Як вы ведаеце з курса біялогіі 9-га і 10-га класаў, утварэнне сперматазоідаў ажыццяўляецца ў *звітых семявых каналах* мужчынскіх палавых залоз — *семяннікоў*. Падчас свайго развіцця папярэднікі сперматазоідаў паступова перамяшчаюцца ад перыферычных зон сценак канальцаў бліжэй да іх прасветаў. У чалавека гэты працэс займае каля 75 сут, пасля чаго сфарміраваныя сперматазоіды выходзяць у прасвет семявага канальца. Сперматагенез уключае чатыры перыяды (табл. 12).

Табліца 12. Сперматагенез у млекакормячых

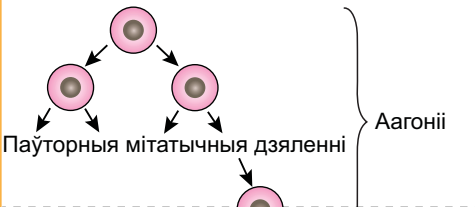
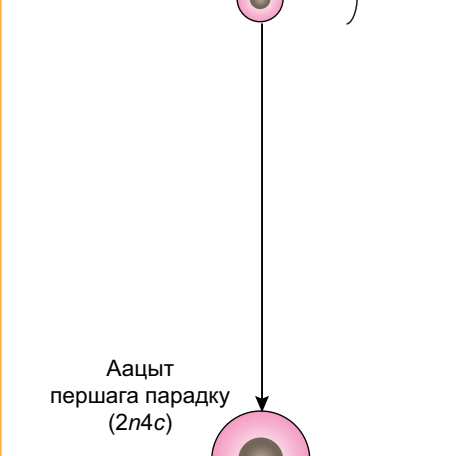
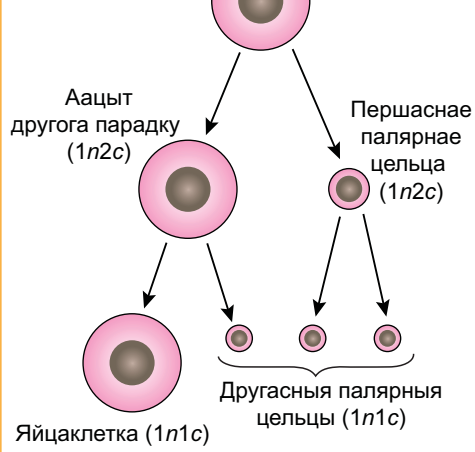
Перыяд і працэсы, якія ў ім адбываюцца	Схема
<p><b>1. Перыяд размнажэння.</b> Дыплоідныя папярэднікі мужчынскіх палавых клетак — <i>сперматагоніі</i> — шматразова дзеляцца мітозам. Гэта прыводзіць да істотнага павелічэння ліку сперматагоніяў</p>	
<p><b>2. Перыяд росту.</b> Сперматагоніі, якія завяршылі мітатычныя дзяленні, пачынаюць расці. З гэтага моманту яны называюцца <i>сперматацытамі першага парадку</i>. Рост сперматацытаў першага парадку не прыводзіць да значнага павелічэння іх памераў</p>	
<p><b>3. Перыяд паспявання.</b> Сперматацыты першага парадку дзеляцца меёзам. У выніку першага дзялення меёзу з кожнага сперматацыта першага парадку ўтвараюцца 2 гаплоідныя <i>сперматацыты другога парадку</i>, у выніку другога дзялення — 4 гаплоідныя <i>сперматыды</i></p>	
<p><b>4. Перыяд фарміравання.</b> Кожная сперматыда ператвараецца ў <i>сперматазоід</i>. Пры гэтым змяняецца форма клеткі, адбываецца ўтварэнне акрасомы, жгуціка і іншых структур, характэрных для спелых мужчынскіх гамет</p>	





**Аагенез у млекакормячых** пачынаецца яшчэ да нараджэння. Развіццё будучых яйцаклетак адбываецца ў яечніках, унутры асаблівых пузыркоў — *фалікулаў*. У працэсе аагенезу вылучаюць тры перыяды (табл. 13).

Табліца 13. Аагенез у млекакормячых

Перыяд і працэсы, якія адбываюцца ў ім	Схема
<p><b>1. Перыяд размнажэння.</b> У час эмбрыянальнага развіцця жаночага арганізма дыплоідныя папярэднікі яйцаклетак — <i>аагоніі</i> — шматразова дзяляцца шляхам мітозу. У выніку гэтага колькасць аагоніяў значна ўзрастае</p>	 <p>Паўторныя мітатычныя дзяленні</p> <p>Аагоніі</p>
<p><b>2. Перыяд росту,</b> як і папярэдні перыяд размнажэння, адбываецца ў ходзе эмбрыянальнага развіцця. Пасля завяршэння мітатычных дзяленняў аагоніі пачынаюць павялічвацца ў памерах. Цяпер яны называюцца <i>аацытамі першага парадку</i>. Іх рост адбываецца перш за ўсё дзякуючы паступленню рэчываў з навакольных фалікулярных клетак і крыві. У гэты перыяд маса і аб'ём клетак, якія растуць, павялічваюцца ў шмат разоў. Рост аацытаў першага парадку завяршаецца яшчэ да нараджэння, пасля чаго яны доўгі час — да наступлення палавой спеласці — захоўваюцца без змянення</p>	 <p>Аацыт першага парадку (2n4c)</p>
<p><b>3. Перыяд паспявання.</b> З наступленнем палавой спеласці аацыты першага парадку перыядычна дзяляцца меёзам. Пры гэтым утвараюцца неаднолькавыя па памеры даччыныя клеткі. Першае дзяленне меёзу прыводзіць да з'яўлення дзвюх гаплоідных клетак — буйнога <i>аацыта другога парадку</i> і дробнай клеткі, якую называюць <i>першасным палярным цельцам</i>. У выніку меёзу II з аацыта другога парадку ўтвараецца вялікая <i>яйцаклетка</i> і маленькае <i>другаснае палярнае цельца</i>. Першаснае палярнае цельца звычайна таксама падзяляецца папалам. У далейшым усе палярныя цельцы гінуць і разбураюцца</p>	 <p>Аацыт другога парадку (1n2c)</p> <p>Першаснае палярнае цельца (1n2c)</p> <p>Яйцаклетка (1n1c)</p> <p>Другасныя палярныя цельцы (1n1c)</p>



Меёз, які праходзіць падчас сперматагенезу, суправаджаецца раўнамерным дзяленнем цытаплазмы клетак. У выніку гэтага з кожнага сперматацыта першага парадку ўтвараюцца чатыры аднолькавыя клеткі — сперматыды, якія далей ператвораюцца ў сперматазоіды. Пры аагенезе дзяленне як аацыта першага парадку (меёз I), так і аацыта другога парадку (меёз II) не суправаджаюцца раўнамерным размеркаваннем цытаплазмы паміж даччынымі клеткамі. Аддзяленне дробных палярных цельцаў, якія пасля гінуць, забяспечвае выдаленне залішняга спадчыннага матэрыялу з будучай яйцаклеткі. Пры гэтым яна захоўвае максімальны запас пажыўных рэчываў, неабходны для развіцця зародка.



Сперматазоід складаецца з галоўкі, шыйкі, сярэдняй часткі і жгуціка (хваста). Ён пазбаўлены запасу пажыўных рэчываў і мае мінімальную колькасць унутрыклетачных структур, якія забяспечваюць рухомасць і здольнасць да апладнення яйцаклеткі. Яйцаклетка — буйная, звычайна нерухомая клетка, якая змяшчае набор розных арганідаў і пажыўныя рэчывы для развіцця зародка. У млекакормячых і іншых жывёл працэсы ўтварэння мужчынскіх і жаночых гамет уключаюць некалькі перыядаў. Ключавую ролю ў гэтых працэсах адыгрывае меёз, які праходзіць у перыяд паспявання. Пры сперматагенезе меёз прыводзіць да ўтварэння чатырох аднолькавых даччыных клетак з адной мацярынскай. Пры аагенезе ўтвараецца адна буйная яйцаклетка, якая захавала запас пажыўных рэчываў, і тры дробныя клеткі, якія ў далейшым гінуць.



1. Якія словы прапушчаны ў сказах і заменены літарамі (а—в)?

Нерухомыя мужчынскія гаметы насенных раслін называюцца (а). Рухомыя мужчынскія палавыя клеткі — гэта (б). Жаночыя гаметы называюцца (в).

2. Як будова сперматазоіда і яйцаклеткі звязана з функцыямі, якія выконваюць гэтыя клеткі?

3. Сперматазоіды практычна не змяшчаюць цытаплазмы і пажыўных рэчываў, аднак для руху ім неабходна вялікая колькасць энергіі. Адкуль бярэцца гэта энергія?

4. Якая максімальная колькасць яйцаклетак і другасных палярных цельцаў можа сфарміравацца ў кошкі з чатырох аацытаў першага парадку?

5. Якія працэсы, што адбываюцца ў ходзе аагенезу, забяспечваюць назапашванне ў яйцаклетках вялікай колькасці пажыўных рэчываў?

6\*. Параўнайце сперматагенез і аагенез, вызначыце рысы падабенства і адрознення.

### ПАДВЯДЗЁМ ВЫНІКІ

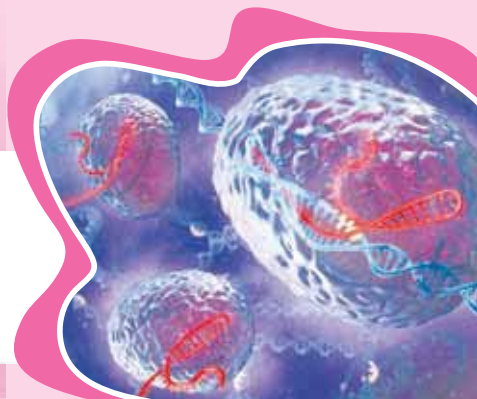
Будову і функцыянаванне клетак, працэсы іх размнажэння, старэння і гібелі вывучае цыталогія. Для ўсіх клетак характэрны адзіны прынцып арганізацыі: іх асноўнымі кампанентамі з'яўляюцца паверхневы апарат, цытаплазма і ядро (у эўкарыёт). Паверхневы апарат уключае цытаплазматычную мембрану і надмембранны комплекс. Цытаплазма складаецца з вадкай часткі — гіялаплазмы і пагружаных у яе цыташкілета і арگانоідаў. Немембраннымі арگانоідамі з'яўляюцца клетачны цэнтр, міяфібрылы і рыбасомы. Да аднамембранных арگانоідаў належаць эндаплазматычная сетка, комплекс Гольджы, лізасомы і вакуолі. Мітахондры і пластыды — гэта двухмембранныя арگانоіды. Ядро клеткі змяшчае малекулы ДНК, якія забяспечваюць захоўванне і рэалізацыю спадчыннай інфармацыі.

У сувязі з асаблівасцямі будовы клетак арганізмы падзяляюцца на дзве групы — пракарыёты і эўкарыёты. У адрозненне ад эўкарыятычных клеткі пракарыёт пазбаўлены ядра і мембранных арگانоідаў. Пракарыётамі з'яўляюцца бактэрыі. Да эўкарыёт належаць расліны, жывёлы, грыбы і пратэісты. Паміж клеткамі арганізмаў розных царстваў ёсць некаторыя адрозненні.

Клетачны цыкл складаецца з інтэрфазы і дзялення клеткі. У  $G_1$ -перыядзе інтэрфазы клетка расце і рыхтуецца да рэплікацыі, у  $S$ -перыядзе адбываецца рэплікацыя, у  $G_2$ -перыядзе завяршаецца падрыхтоўка да дзялення. Рэплікацыя ДНК адбываецца з удзелам фермента ДНК-полімеразы, якая выкарыстоўвае ланцугі зыходнай мацярынскай малекулы ў якасці матрыц для сінтэзу даччыных ланцугоў. У выніку ўтвараюцца дзве аднолькавыя малекулы ДНК. Кожная з іх змяшчае адзін ланцуг мацярынскай малекулы і адзін толькі што сінтэзаваны даччыны ланцуг.

Клеткі эўкарыёт могуць дзяліцца мітозам, амітозам ці меёзам. У выніку мітозу з мацярынскай клеткі ўтвараюцца дзве даччыныя з такім жа наборам храмасом, у выніку меёзу — чатыры даччыныя з наборам, паменшаным у 2 разы. У жывёл меёз адыгрывае ключавую ролю ў працэсах сперматагенезу і аагенезу і забяспечвае ўтварэнне гаплоідных гамет з зыходных дыплоідных клетак. Пры мітозе і меёзе малекулы ДНК раўнамерна размяркоўваюцца паміж даччынымі клеткамі. Пры амітозе гэтага не адбываецца, паколькі клетачнае ядро дзеліцца перацяжкай без спіралізацыі храмаціну і фарміравання верацяна дзялення.

# 3 Абмен рэчываў і пераўтварэнне энергіі ў арганізме



Вам вядома, што жывыя арганізмы ўяўляюць сабой адкрытыя біялагічныя сістэмы, якія знаходзяцца ў пастаянным узаемадзеянні з навакольным асяроддзем. Для ажыццяўлення працэсаў жыццядзейнасці ім неабходна паглынаць з навакольнага асяроддзя пэўныя рэчывы. У арганізме гэтыя рэчывы хімічна перапрацоўваюцца, а ўтвораныя канчатковыя прадукты выводзяцца ў навакольнае асяроддзе.

Такім чынам, асновай жыццядзейнасці арганізмаў з'яўляецца **абмен рэчываў**, ці **метабалізм**, — сукупнасць працэсаў хімічнага ператварэння рэчываў ад моманту іх паступлення ў арганізм да выдзялення канчатковых прадуктаў. Працэсы метабалізму працякаюць пад дзеяннем ферментаў.

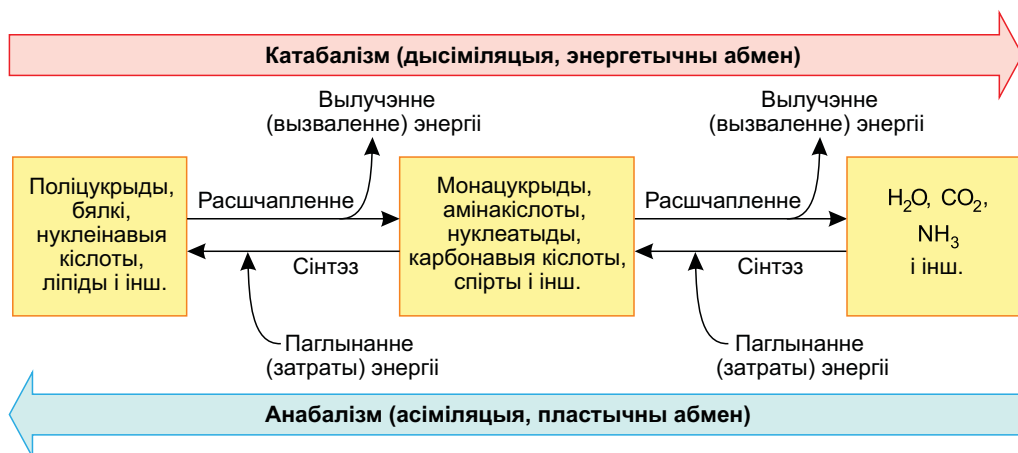
Абмен рэчываў суправаджаецца **пераўтварэннем энергіі**. Так, расщачапенне пажыўных рэчываў у арганізме прыводзіць да вызвалення энергіі, якая змяшчаецца ў іх хімічных сувязях. Адна частка гэтай энергіі рассеіваецца ў выглядзе цяпла (г. зн. пераўтвараецца ў цеплавую), другая частка запасаецца ў выглядзе малекул АТФ. Фотасінтэзуючыя арганізмы пераўтвараюць светлавую энергію, якую яны паглынулі, у энергію хімічных сувязей арганічных злучэнняў.

Рэчывы, утвораныя аднымі арганізмамі, могуць выкарыстоўвацца другімі для сінтэзу неабходных ім злучэнняў ці ў якасці крыніцы энергіі. Такім чынам, працэсы метабалізму і пераўтварэння энергіі ляжаць у аснове кругавароту рэчываў і патоку энергіі ў экасістэмах. Вывучэнню гэтых працэсаў, якія забяспечваюць існаванне як асобных арганізмаў, так і біясферы ў цэлым, прысвечаны дадзены раздзел.

## § 20. Агульная характарыстыка абмену рэчываў і пераўтварэння энергіі

Як ужо адзначалася, для працякання працэсаў метабалізму неабходна паступленне ў арганізм з навакольнага асяроддзя пэўных рэчываў. У арганізме з гэтымі рэчывамі адбываюцца розныя хімічныя ператварэнні. Адны з іх выкарыстоўваюцца для ўтварэння больш складаных злучэнняў, г. зн. у якасці будаўнічага матэрыялу. Другія рэчывы, наадварот, расщачпляюцца і акісляюцца, у выніку чаго вылучаецца неабходная арганізму энергія. Такім чынам, метабалізм складаецца з рэакцый двух процілеглых тыпаў — сінтэзу і расщачПЛення рэчываў.

Сукупнасць працэсаў расщачПЛення складаных арганічных злучэнняў да больш простых рэчываў называецца **катабалізмам**, **дысіміляцый** ці **энергетычным абменам**. У выніку рэакцый катабалізму арганічныя злучэнні не толькі расщачПЛяюцца, але і акісляюцца. Усё гэта прыводзіць да вызвалення энергіі, якая ў іх змяшчаецца (мал. 54).



Мал. 54. Схема працэсаў катабалізму і анабалізму

З курса хіміі вы ведаеце, што гарэнне арганічных рэчываў таксама суправаджаецца іх расщачПЛеннем, акісленнем і вылучэннем энергіі. Аднак пры гарэнні арганічныя злучэнні разбураюцца хутка, з бурным вызваленнем энергіі, прычым амаль уся яна выдзяляецца ў выглядзе цеплаты. У ходзе энергетычнага абмену, наадварот, расщачПЛенне і акісленне арганічных рэчываў адбываецца ступеньчата, пры ўдзеле шэрага ферментаў. Таму энергія вызваляецца паэтапна, невялікімі порцыямі. Пры

гэтым каля 50 % вызваленай энергіі паступова расейваецца ў выглядзе цяпла. Астатнія 50 % выкарыстоўваюцца клеткамі для ўтварэння малекул АТФ, якія з'яўляюцца пастаўшчыкамі энергіі для розных працэсаў жыццядзейнасці (успомніце якіх). У сувязі з гэтым катабалізм і называецца энергетычным абменам.

Да працэсаў катабалізму належаць *клетачнае дыханне і браджэнне*. Канчатковымі прадуктамі энергетычнага абмену з'яўляюцца вада, вуглякіслы газ, аміяк і інш.

Рэакцыі сінтэзу арганічных злучэнняў з больш простых рэчываў належаць да **анабалізму (асіміляцыі, пластычнага абмену)**. Гэтыя працэсы працякаюць з паглыннаннем энергіі (гл. мал. 54). У выніку асіміляцыі з рэчываў, якія паступілі ў клеткі, сінтэзуюцца арганічныя злучэнні, уласцівыя дадзенаму арганізму, — бялкі, вугляводы, ліпіды і г. д. Яны выкарыстоўваюцца для пабудовы і абнаўлення розных клетачных і пазаклетачных структур: арганоідаў, цыташкілета, плазмалемы, міжклетачнага рэчыва і інш. Прадукты пластычнага абмену могуць таксама адкладвацца ў якасці рэзервовых рэчываў, г. зн. запасацца ў арганізме.

Прыкладамі працэсаў анабалізму могуць служыць *фотасінтэз, біясінтэз ДНК (рэплікацыя), біясінтэз РНК, бялкоў, поліцукрыдаў, ліпідаў* і г. д.

У арганізме працэсы дысіміляцыі і асіміляцыі працякаюць узаемазвязана. Так, прадукты катабалізму могуць выкарыстоўвацца ў якасці будаўнічага матэрыялу ў рэакцыях анабалізму. Пастаўшчыком энергіі для працякання такіх працэсаў біясінтэзу з'яўляецца АТФ, якая ўтвараецца пры энергетычным абмене. У той жа час рэакцыі дысіміляцыі каталізуюцца ферментамі, якія сінтэзуюцца ў працэсах асіміляцыі. Такім чынам, рэакцыі катабалізму не могуць ажыццяўляцца без рэакцый анабалізму і наадварот.

Працэсы энергетычнага і пластычнага абмену працякаюць у арганізме адначасова, але не заўсёды з аднолькавай інтэнсіўнасцю. Напрыклад, у маладым арганізме ў перыяд актыўнага росту і развіцця пераважаюць анабалічныя працэсы. У старым арганізме баланс, як правіла, зрушваецца ў бок катабалізму. Такая ж з'ява назіраецца пры недастатковым харчаванні і (ці) цяжкіх фізічных нагрузках. У жывёл і чалавека інтэнсіўнасць працэсаў асіміляцыі і дысіміляцыі рэгулюецца нервовай і эндакрыннай сістэмамі.

Трэба яшчэ раз падкрэсліць, што працэсы энергетычнага і пластычнага абмену цесна звязаны не толькі на ўзроўні асобна ўзятага арганізма. У біясферы аўтатрофы з неарганічных рэчываў сінтэзуюць арганічныя

(асіміляцыя), якія служаць ежай гетэратрофным арганізмам. Яны перадаюцца па ланцугах харчавання і трансфармуюцца на кожным трафічным узроўні. Расшчапленне гэтых злучэнняў (дысіміляцыя) прыводзіць да ўтварэння неарганічных рэчываў, неабходных аўтатрофным арганізмам. Такім чынам, узаемасувязь працэсаў анабалізму і катабалізму ляжыць у аснове кругавароту рэчываў, што забяспечвае існаванне і стабільнасць біясферы.



Працэсы абмену рэчываў і пераўтварэння энергіі ў арганізме прадстаўлены рэакцыямі двух тыпаў — катабалізму і анабалізму. Катабалізм (дысіміляцыя, энергетычны абмен) уяўляе сабой расшчапленне складаных арганічных злучэнняў да больш простых рэчываў. Працэсы дысіміляцыі суправаджаюцца вызваленнем энергіі, неабходнай для жыццядзейнасці. Анабалізм (асіміляцыя, пластычны абмен) — гэта сукупнасць працэсаў сінтэзу арганічных злучэнняў з больш простых рэчываў. Рэакцыі асіміляцыі ідуць з паглынанням энергіі. Працэсы энергетычнага і пластычнага абмену працякаюць у арганізме адначасова і ўзаемазвязана.



1. Якія паняцці прапушчаны ў біялагічных «ураўненнях» і заменены пыталнікамі?

Анабалізм + ? = метабалізм

Асіміляцыя + дысіміляцыя = ?

Абмен рэчываў = ? + энергетычны абмен

2. Што такое катабалізм? Анабалізм? Прывядзіце прыклады працэсаў катабалізму і анабалізму.

3. У якіх выпадках працэсы энергетычнага абмену ў арганізме пераважаюць над працэсамі пластычнага абмену і наадварот?

4. Прывядзіце прыклады пераўтварэння энергіі ў жывым арганізме.

5\*. Дакажыце справядлівасць сцверджання: «Катабалізм і анабалізм — два ўзаемазвязаныя бакі адзінага працэсу абмену рэчываў і пераўтварэння энергіі».

6\*. Сутачная норма вугляводаў для дарослага чалавека складае 5—8 г на 1 кг масы цела (у залежнасці ад энергетычных затрат арганізма). Пры акісленні 5 г вугляводаў вылучаецца каля 88 кДж энергіі, што дастаткова для награвання 1 кг цела чалавека ад тэмпературы 36,6 °С да 62 °С. Паспрабуйце самастойна выканаць гэты нескладаны разлік на аснове ведаў, атрыманых пры вывучэнні фізікі. Улічыце, што сярэдняя ўдзельная цеплаёмістасць чалавечага цела 3,47 кДж/(кг · °С). Да чаго магло б прывесці разграванне клетак цела чалавека да такой тэмпературы? Як вы думаеце, чаму гэтага на самай справе не адбываецца?

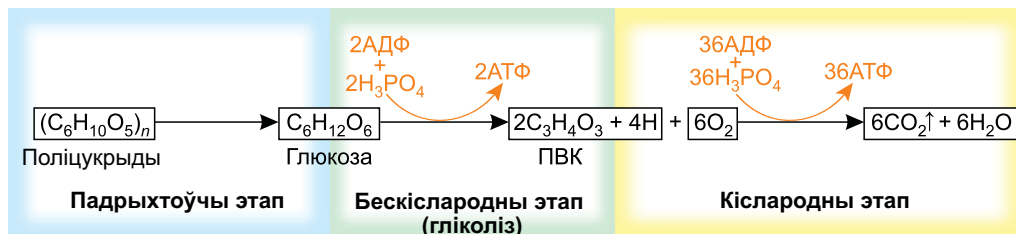
## § 21. Клетачнае дыханне. Браджэнне

**Паняцце пра клетачнае дыханне.** Жывым арганізмам пастаянна патрабуецца энергія для ажыццяўлення розных працэсаў жыццядзейнасці. Універсальным пастаўшчыком гэтай энергіі служыць АТФ, якая ўтвараецца ў рэакцыях катабалізму. У большасці арганізмаў АТФ сінтэзуецца перш за ўсё ў працэсе клетачнага дыхання. **Клетачнае дыханне** — працэс, пры якім у клетках адбываецца расшчапленне і акісленне арганічных злучэнняў да неарганічных рэчываў, а энергія, якая выдзяляецца пры гэтым, запасаецца ў выглядзе АТФ.

Большасці жывых арганізмаў для працякання клетачнага дыхання неабходны малекулярны кісларод ( $O_2$ ). Такія арганізмы называюцца *аэробамі*, а іх тып дыхання — *аэробным дыханнем*. Аэробамі з'яўляюцца ўсе расліны, большасць жывёл, грыбоў і пратыстаў, а таксама многія бактэрыі. Разгледзім, як адбываецца клетачнае дыханне ў аэробных умовах, г. зн. ва ўмовах свабоднага доступу кіслароду.

**Этапы клетачнага дыхання.** Працэс клетачнага дыхання ўключае тры асноўныя этапы (мал. 55). Першы этап — **падрыхтоўчы** — адбываецца ў стрававальным тракце (у жывёл), другасных лізасомах і гіялаплазме клетак. Кісларод у рэакцыях гэтага этапу не выкарыстоўваецца. Пад дзеяннем стрававальных ферментаў адбываецца расшчапленне буйных арганічных малекул да больш простых злучэнняў. Так, поліцукрыды расшчапляюцца да монацукрыдаў, тлушчы — да гліцэрыны і тлустых кіслот, бялкі — да амінакіслот, нуклеінавыя кіслоты — да нуклеатыдаў. Пры гэтым вылучаецца параўнальна невялікая колькасць энергіі, якая рассеіваецца ў выглядзе цяпла. Такім чынам, АТФ у падрыхтоўчым этапе **не сінтэзуецца**.

Прадукты першага этапу могуць уступаць у наступныя этапы дыхання (г. зн. падлягаць далейшаму расшчапленню) або ўцягвацца ў працэсы анабалізму. Напрыклад, амінакіслоты, атрыманыя ў ходзе падрыхтоўчага этапу, выкарыстоўваюцца клеткамі пераважна для сінтэзу бялкоў, а нуклеатыды — для пабудовы малекул ДНК і РНК.



Мал. 55. Схема этапаў клетачнага дыхання



Другі этап клетачнага дыхання — **бескіслародны** — працякае ў гіялаплазме клетак без удзелу кіслароду. Больш за тое, ён можа працякаць ва ўмовах поўнай адсутнасці  $O_2$ . Вы ведаеце, што асноўнай крыніцай энергіі для клетак з'яўляецца глюкоза. Таму другі этап мы разгледзім на прыкладзе **гліколізу** — шматступеньчатага працэсу бескіслароднага расшчаплення *глюкозы* ( $C_6H_{12}O_6$ ) да *піравінаграднай кіслаты* ( $C_3H_4O_3$ ).

У ходзе гліколізу кожная малекула глюкозы пад дзеяннем ферментаў расшчапляецца да 2 малекул піравінаграднай кіслаты (ПВК). Пры гэтым вызваляецца энергія, частка якой расейваецца ў выглядзе цяпла, а астатняя выкарыстоўваецца для сінтэзу АТФ. Сумарны энергетычны выхад гліколізу ў разліку на расшчэпленую малекулу глюкозы складае **2 малекулы АТФ**. Прамежкавыя прадукты гліколізу акісляюцца — ад іх адшчапляюцца атамы вадароду, якія далучаюцца да асаблівага рэчыва-пераносчыка.

Такім чынам, у выніку бескіслароднага этапу пры расшчапленні адной малекулы глюкозы ўтвараецца 2 малекулы ПВК і 4 атамы вадароду (далучаныя да пераносчыка), а таксама сінтэзуюцца 2 малекулы АТФ (гл. мал. 55).

Пры гліколізе вызваляецца толькі каля 5 % энергіі, якая ўтрымлівалася ў хімічных сувязях малекул глюкозы. Далей прадукты яе расшчаплення (ПВК і атамы вадароду) паступаюць у мітахондрыі, дзе ажыццяўляецца заключны этап дыхання — **кіслародны**.

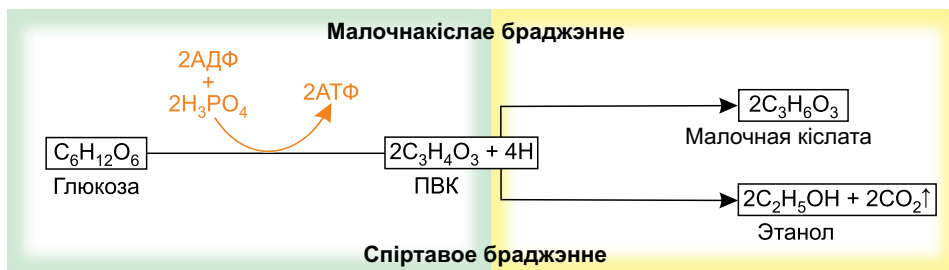
Гэты этап, як вынікае з назвы, працякае пры ўдзеле малекулярнага *кіслароду* ( $O_2$ ). У ходзе кіслароднага этапу ПВК расшчапляецца і акісляецца пад дзеяннем ферментаў. Атамы вадароду, дастаўленыя пераносчыкам, таксама акісляюцца. Пры гэтым утвараюцца канчатковыя прадукты —  $CO_2$  і  $H_2O$ , а энергія, якая выдзелілася, выкарыстоўваецца для сінтэзу **36 малекул АТФ** (у разліку на 2 малекулы ПВК).  $CO_2$  паступае з мітахондрыі у гіялаплазму клеткі, а затым — у навакольнае асяроддзе (гл. мал. 55).

Такім чынам, пры поўным расшчапленні адной малекулы глюкозы клетка можа сінтэзаваць **38 малекул АТФ** — 2 малекулы ў працэсе гліколізу і 36 малекул у ходзе кіслароднага этапу. Сумарнае ўраўненне поўнага акіслення глюкозы можна запісаць наступным чынам (для спрашчэння ва ўсіх ураўненнях рэакцый энергетычнага абмену не паказаны малекулы вады, якія ўтвараюцца пры сінтэзе АТФ):



**Брожение.** Не всім организмам для жизнедеятельности необходимы молекулярный кислород. Крайне аэробы, существуют также *анаэробы* — организмы, способные жить и развиваться в отсутствие  $O_2$ . Да этой группы относятся многие бактерии, некоторые грибы (например, дрожжи) и животные (смакуны, стужачные черви, аскариды и др.).

Большинство анаэробных организмов использует энергию для жизнедеятельности в ходе брожения. **Брожение** — процесс бескислородного расщепления органических веществ, преимущественно углеводов, які адбываецца пад дзеяннем ферментаў. При дефиците кислорода брожение может протекать и в клетках аэробных организмов. У залежнасці ад асноўнага канчатковага прадукту адрозніваюць малочнакіслае, спіртавое брожение (мал. 56) і г. д.



Мал. 56. Схема малочнакіслага і спіртавога брожджэння

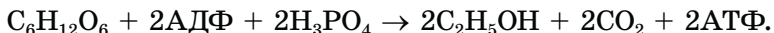
Першы этап **малочнакіслага брожджэння** фактычна ўяўляе сабой гліколіз. Малекула глюкозы расщепляецца і акісляецца з утварэннем 2 малекул ПВК і 4 атамаў вадароду. Энергетычны выхад гэтага працэсу, як вы ведаеце, складае 2 малекулы АТФ. На другім этапе за кошт атамаў вадароду ПВК аднаўляецца да *малочнай кіслаты* ( $C_3H_6O_3$ ), АТФ пры гэтым не сінтэзуецца. Працэс малочнакіслага брожджэння можна адлюстравіць агульным ураўненнем:



Гэты від брожджэння ажыццяўляюць малочнакіслыя бактэрыі. Крайне таго, малочнакіслае брожджэнне адбываецца ў мышачных валокнах чалавека і жывёл ва ўмовах недахопу кіслароду. Назапашванне малочнай кіслаты з'яўляецца адной з прычын развіцця стомленасці мышцаў.

**Спіртавое брожджэнне** на першым этапе працякае аналагічна малочнакісламу. Глюкоза расщепляецца і акісляецца да ПВК і атамаў вадароду, што суправаджаецца сінтэзам 2 малекул АТФ. На другім этапе ПВК расщепляецца і аднаўляецца атамамі вадароду. Пры гэтым утвараюцца

канчатковыя прадукты — *этылавы спірт* ( $C_2H_5OH$ ) і вуглякіслы газ. Сумарнае ўраўненне спіртавога браджэння такое:



Спіртавое браджэнне ажыццяўляюць дрожджы і некаторыя бактэрыі. Таксама яно працякае ў клетках раслін пры дэфіцыце  $O_2$ .



§21-1

Пры браджэнні не адбываецца поўнага акіслення глюкозы, таму значная частка энергіі застаецца ў канчатковых прадуктах — малочнай кіслата, этылавым спірце і інш. Энергетычны выхад браджэння — **2 малекулы ATP** (з разліку на адну малекулу глюкозы). Таму пры расшчапленні аднолькавай колькасці вугляводаў у ходзе энергетычнага абмену анаэробы атрымліваюць значна менш энергіі, чым аэробы.

Галоўнай крыніцай энергіі для жывых арганізмаў з'яўляюцца вугляводы, таму працэсы катабалізму мы разгледзелі на прыкладзе расшчаплення глюкозы. Аднак іншыя арганічныя злучэнні, напрыклад тлушчы ці бялкі, таксама могуць служыць клеткам у якасці крыніц энергіі.

Браджэнне са старажытных часоў выкарыстоўваецца чалавекам для атрымання розных прадуктаў. Вядома, што піваварэннем і вінаробствам, у аснове якіх ляжыць спіртавое браджэнне, людзі займаліся яшчэ 8 тыс. гадоў таму. Безумоўна, у той час яны не ведалі, што гэтыя працэсы працякаюць пры ўдзеле мікраарганізмаў.

У сучасным свеце браджэнне шырока выкарыстоўваецца ў харчовай прамысловасці. Прадукты і напіткі, атрыманыя з дапамогай розных відаў браджэння, уваходзяць у састаў практычна ўсіх кухань свету. Спіртавое браджэнне ўжываецца для атрымання этылавага спірту, віна, піва, квасу і г. д. Выкарыстанне дражджэй у хлебапячэнні звязана з тым, што пупыркы вуглякіслага газу, які ўтвараецца ў працэсе спіртавога браджэння, разрыхляюць цеста і робяць яго пышным.

З дапамогай малочнакіслага браджэння атрымліваюць тварог, сыры, смятану, ёгурты і іншыя кісламалочныя прадукты. Малочная кіслата — добры прыродны кансервант. Яна ўтвараецца, напрыклад, пры квашанні капусты, засолцы агуркоў, мачэнні яблыкаў. Малочная кіслата прадухіляе гніенне гэтых прадуктаў і дазваляе захоўваць іх доўгі час. У аснове сіласавання кармоў для жывёл таксама ляжыць працэс малочнакіслага браджэння. Вытворчасць некаторых прадуктаў звязана са спалучэннем розных відаў браджэння. Так, кефір атрымліваюць з дапамогай малочнакіслых бактэрыяў і дражджэй, г. зн. ён з'яўляецца прадуктам малочнакіслага і спіртавога браджэння.

Трэба адзначыць, што з XX ст. працэсы браджэння знайшлі ўжыванне для прамысловай вытворчасці шэрага хімічных рэчываў — розных спіртоў і карбонавых кіслот, ацэтона, воцатнага альдэгіду і інш.



§21-1



Большасць арганізмаў атрымлівае энергію для жыццядзейнасці ў ходзе клетачнага дыхання. Гэты працэс уключае тры этапы: падрыхтоўчы, бескіслародны і кіслародны. У выніку клетачнага дыхання кожная малекула глюкозы акісляецца да  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$ , што суправаджаецца сінтэзам 38 малекул АТФ. Некаторыя арганізмы атрымліваюць энергію ў працэсе браджэння. Пры гэтым не выкарыстоўваецца кісларод і не адбываецца поўнага акіслення глюкозы. Таму энергетычны выхад браджэння значна меншы, чым клетачнага дыхання: 2 малекулы АТФ на кожную расшчэпленую малекулу глюкозы. Адрозніваюць малочнакіслае, спіртавое і іншыя віды браджэння.



1. Клетачнае дыханне і браджэнне належаць да працэсаў катабалізму ці анабалізму? Чаму?
2. Што ўяўляе сабой працэс клетачнага дыхання? Ахарактарызуйце этапы клетачнага дыхання па плане: 1) назва этапу; 2) месца працякання; 3) зыходныя рэчывы; 4) канчатковыя прадукты; 5) энергетычны выхад (колькасць малекул АТФ, якія сінтэзуюцца ў ходзе этапу).
3. Як працякае працэс малочнакіслага браджэння? Спіртавога? Назавіце канчатковыя прадукты гэтых відаў браджэння. Колькі малекул АТФ сінтэзуюцца ў ходзе браджэння пры расшчэпленні адной малекулы глюкозы?
4. Ахарактарызуйце практычнае значэнне розных відаў браджэння.
5. Чаму пры браджэнні вызваляецца менш энергіі, чым клетачным дыханні?
- 6\*. У чым заключаецца падабенства браджэння і клетачнага дыхання? Чым браджэнне адрозніваецца ад клетачнага дыхання?
- 7\*. У падрыхтоўчы этап клетачнага дыхання ўступае 81 г глікагену. Якая максімальная колькасць АТФ (моль) можа сінтэзавацца ў выніку наступнага гліколізу? У ходзе кіслароднага этапу дыхання?



Вывучэнне дыхання насення  
Малочнакіслае браджэнне  
Спіртавое браджэнне



## § 22. Фотасінтэз

У адрозненне ад гетэратрофаў, якім неабходны гатовыя арганічныя злучэнні, аўтатрофы здольныя сінтэзаваць іх з неарганічных рэчываў. Працэсы біясінтэзу належаць да пластычнага абмену і, значыць, суправаджаюцца паглыннаннем энергіі. З курса біялогіі 10-га класа вам вядома, што некаторыя бактэрыі (жалезабактэрыі, бясколерныя серабактэрыі, нітрыфікучыя, вадародныя) для ўтварэння арганічных

злучэнняў выкарыстоўваюць энергію, якая выдзяляецца пры акісленні неарганічных рэчываў. Такія арганізмы называюцца *хемааўтатрофамі*. Аднак большасць аўтатрофных арганізмаў выкарыстоўвае для гэтага энергію святла. Яны складаюць групу *фотааўтатрофаў*.

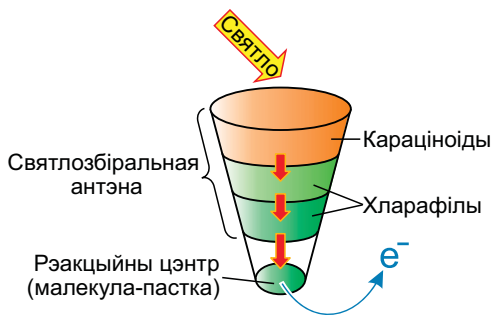
**Паняцце фотасінтэзу.** Да фотааўтатрофаў належаць зялёныя расліны, водарасці, цыянабактэрыі і інш. У працэсе фотасінтэзу з дапамогай спецыяльных пігментаў яны паглынаюць светлавую энергію і пераўтвараюць яе ў энергію хімічных сувязей арганічных рэчываў. Зыходным матэрыялам для сінтэзу арганічных злучэнняў з'яўляюцца такія неарганічныя рэчывы, як вуглякіслы газ і вада. Такім чынам, **фотасінтэз** — гэта працэс утварэння арганічных рэчываў з вуглякіслага газу і вады, які праходзіць з паглыннаннем энергіі святла пры ўдзеле фотасінтэтычных пігментаў.

**Фотасінтэтычныя пігменты і іх лакалізацыя.** Фотасінтэтычныя пігменты раслін і большасці водарасцей прадстаўлены зялёнымі *хларафіламі* і *караціноідамі*, якія звычайна маюць жоўтую ці аранжавую афарбоўку. Чырвоныя водарасці і цыянабактэрыі, акрамя таго, валодаюць дадатковымі пігментамі, афарбаванымі ў чырвоны ці сіні колер.



Як вы ведаеце, у раслін і водарасцей фотасінтэз адбываецца ў хларапластах, унутраная мембрана якіх утварае пляскатыя мяшэчкі — тылакоіды. У мембранах тылакоідаў размешчаны асаблівыя пігмент-бялковыя комплексы — *фотасістэмы*.

Вядомы два віды фотасістэм: фотасістэма I (ФС I) і фотасістэма II (ФС II). У састаў кожнай з іх уваходзіць *святлозбіральная антэна*, утвораная малекуламі пігментаў, *рэакцыйны цэнтр* і *пераносчыкі электронаў* (мал. 57). Пігменты, якія ўваходзяць у склад святлозбіральной антэны, паглынаюць святло і перадаюць усю сабраную энергію ў рэакцыйны цэнтр.

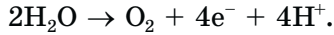


Мал. 57. Схема будовы і работы фотасістэмы

Ён прадстаўлены асаблівай малекулай хларафілу — так званай малекулай-пасткай. Паглынуўшы энергію, малекула-пастка пераходзіць ва ўзбуджаны стан і аддае адзін са сваіх электронаў спецыяльнаму пераносчыку, а сама пры гэтым акісляецца.

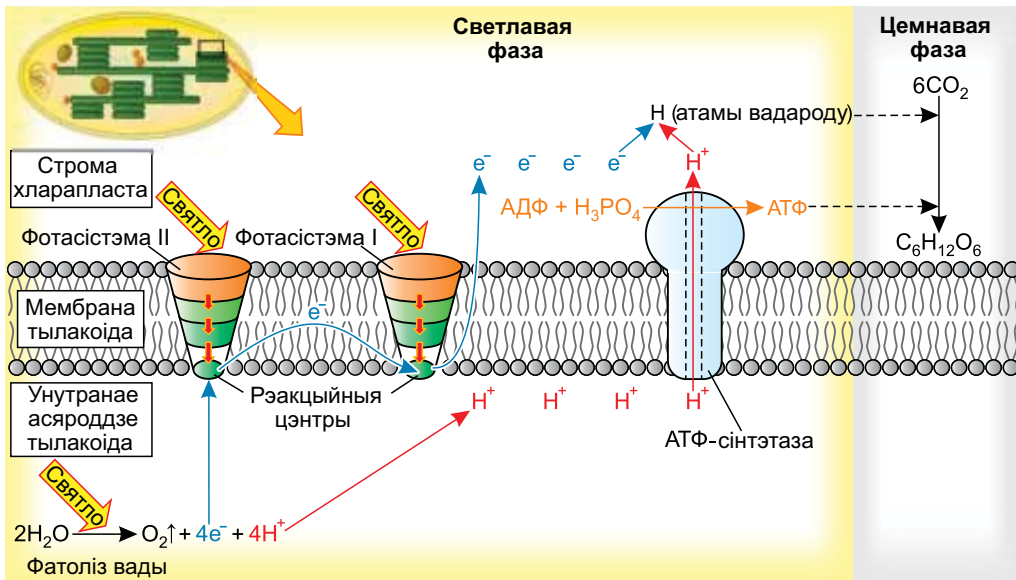
Галоўнае адрозненне паміж фотасістэмамі заключаецца ў тым, што ў састаў ФС II уваходзіць асаблівы ферментны комплекс, які пры наяўнасці святла

ажыццяўляе *фотоліз вады* — расшчапленне малекул вады з утварэннем кіслароду ( $O_2$ ), электронаў ( $e^-$ ) і пратонаў ( $H^+$ ):



ФС II выкарыстоўвае атрыманыя пры гэтым электроны для аднаўлення сваёй малекулы-пасткі. У ФС I адсутнічае падобны ферментны комплекс, і, такім чынам, яна не здольная выкарыстоўваць ваду ў якасці крыніцы электронаў для аднаўлення малекулы-пасткі.

Працэс фотасінтэзу можна падзяліць на дзве фазы — **светлавую** і **цёмнавую** (мал. 58). Светлавая фаза ажыццяўляецца на мембранах тылакоідаў і толькі пры наяўнасці святла. Рэакцыі цёмнай фазы працякаюць у строме хларапласта і не патрабуюць святла, аднак для іх неабходны прадукты светлавой фазы. Таму цёмная фаза адбываецца практычна адначасова са светлавой.



Мал. 58. Схема працэсаў, якія працякаюць у светлавой і цёмнай фазах фотасінтэзу

**Светлавая фаза фотасінтэзу.** Працэсы, якія праходзяць у светлавой фазе, можна прадставіць наступным чынам.

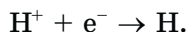
1. Пігменты абедзвюх фотасістэм паглынаюць святло. Атрыманая энергія перадаецца ў рэакцыйныя цэнтры на малекулы-пасткі, якія пераходзяць ва ўзбуджаны стан і аддаюць электроны пераносчыкам.

Электрон з ФС I транспартуецца пераносчыкамі на знешні бок тылакоіда. Электрон з ФС II з дапамогай пераносчыкаў дастаўляецца ў ФС I і аднаўляе малекулу-пастку гэтай фотасістэмы. ФС II, як вы ўжо ведаеце, аднаўляе сваю малекулу-пастку за кошт электронаў, атрыманых у выніку фатолізу вады.

Кісларод, які ўтвараецца пры фатолізе вады, вылучаецца з хларапласта ў гіялаплазму клеткі, затым у навакольнае асяроддзе, а пратоны ( $H^+$ ) назапашваюцца ўнутры тылакоіда.

2. Назапашванне пратонаў унутры тылакоіда вядзе да ўзнікнення на яго мембране так званага *электрахімічнага патэнцыялу*. У мембране тылакоіда змяшчаецца *АТФ-сінтэтаза* — ферментны комплекс, прызначаны для сінтэзу АТФ. Калі канцэнтрацыя пратонаў дасягае пэўнага ўзроўню, яны накіроўваюцца ў строму хларапласта, праходзячы праз спецыяльныя каналы АТФ-сінтэтазы. Пры гэтым АТФ-сінтэтаза выкарыстоўвае энергію руху пратонаў для *сінтэзу АТФ*.

3. На знешнім баку тылакоіда пратоны злучаюцца з электронамі:



Утвораныя атамы вадароду далучае да сябе рэчыва-пераносчык. Па структуры яно падобна да рэчыва, якое транспартуе атамы вадароду ў працэсе клетачнага дыхання.

Такім чынам, у ходзе светлавой фазы энергія святла паглынаецца і пераўтвараецца ў энергію макраэргічных сувязей АТФ, адбываецца расшчапленне вады з выдзяленнем кіслароду і назапашванне атамаў вадароду. Прадуктамі светлавой фазы фотасінтэзу з'яўляюцца *АТФ*, *атамы вадароду* і *кісларод*. Кісларод — пабочны прадукт фотасінтэзу, ён выдзяляецца ў навакольнае асяроддзе. АТФ і атамы вадароду выкарыстоўваюцца ў цёмнай фазе фотасінтэзу.

**Цёмная фаза фотасінтэзу.** З нававольнага асяроддзя ў хларапласты паступае *вуглякіслы газ*. У строме хларапластаў адбываецца яго аднаўленне да арганічных рэчываў. Пры гэтым утвараецца асноўны прадукт фотасінтэзу — *глюкоза*.

У працэсе сінтэзу глюкозы з  $CO_2$  выкарыстоўваюцца прадукты светлавой фазы — атамы вадароду, дастаўленыя пераносчыкам, і АТФ (пастаўшчык энергіі). Для ўтварэння адной малекулы глюкозы неабходна расшчапіць **18 малекул АТФ**. Такім чынам, у цёмнай фазе фотасінтэзу энергія макраэргічных сувязей АТФ пераўтвараецца ў энергію хімічных сувязей арганічных рэчываў.



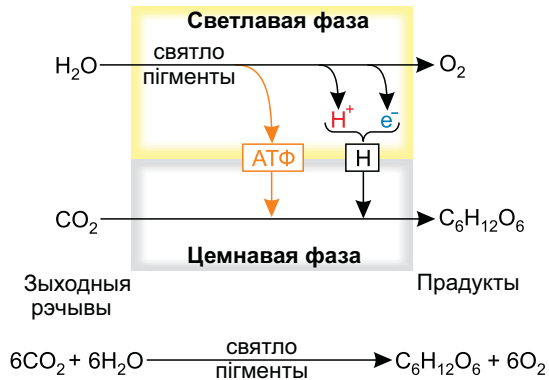
Калі аб'яднаць працэсы, якія праходзяць у светлай і цёмнай фазах, выключаўшы прамежкавыя прадукты, і расставіць каэфіцыенты, можна атрымаць сумарнае ўраўненне фотасінтэзу (мал. 59).

**Значэнне фотасінтэзу.** Галоўнай крыніцай энергіі, якая абумоўлівае існаванне жыцця на нашай планеце, з'яўляецца сонечнае святло. Дзякуючы фотасінтэзу энергія Сонца становіцца даступнай для выкарыстання ўсімі жывымі арганізмамі Зямлі

(за выключэннем хемаўтатрофаў). Фотасінтэз адыгрывае важнейшую ролю ў біясферным кругавароце вугляроду, забяспечваючы яго ўключэнне ў састаў арганічных злучэнняў. Рэчывы, сінтэзаваныя фотаўтатрофамі, выкарыстоўваюцца імі і гетэратрофамі не толькі ў якасці крыніцы энергіі. Яны таксама служаць матэрыялам для пабудовы і абнаўлення клетак і пазаклетачных структур жывых арганізмаў.

Дзякуючы фотасінтэзу падтрымліваецца адносна пастаяннае ўтрыманне кіслароду і вуглякіслага газу ў атмасферы Зямлі. Фотасінтэз забяспечвае звязанне  $\text{CO}_2$ , чым перашкаджае развіццю парніковага эфекту. Вядома, што большая частка кіслароду атмасферы мае біягеннае паходжанне і з'яўляецца пабочным прадуктам фотасінтэзу. Як вы ведаеце з курса біялогіі 10-га класа, менавіта гэты працэс, які ўзнік, паводле ацэнак вучоных, больш за 3 млрд гадоў таму, зрабіў магчымым з'яўленне і далейшае развіццё аэробных арганізмаў. З часам з кіслароду сфарміраваўся азонавы экран, які ахоўвае жыхароў нашай планеты ад згубнага ўздзеяння караткахвалевага ультрафіялетавага выпраменьвання.

Такім чынам, усё жывое на Зямлі абавязана сваім існаваннем фотасінтэзу. А чалавецтва залежыць ад гэтага працэсу яшчэ і таму, што выкарыстоўвае для розных патрэб энергію, якая на працягу мільёнаў гадоў запасалася ў карысных выкапнях, што ўтварыліся з арганічных рэчываў старажытных арганізмаў. Прыкладамі такіх выкапняў могуць служыць каменны вугаль, нафта, гаручыя сланцы і г. д.

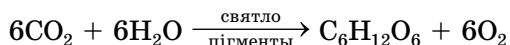


Мал. 59. Агульная схема і сумарнае ўраўненне фотасінтэзу





**Фотасінтэз** — працэс утварэння арганічных рэчываў з вуглякіслага газу і вады, які адбываецца з паглыннаннем светлавой энергіі пры ўдзеле фотасінтэтычных пігментаў. У раслін і вадарасцей фотасінтэз працякае ў хларапластах: светлавая фаза — на мембранах тылакоідаў і толькі пры наяўнасці святла, цёмная — у строме, незалежна ад наяўнасці святла. У светлавой фазе адбываецца паглыннанне святла пігментамі, фатоліз вады і сінтэз АТФ. Адзін з прадуктаў гэтай фазы — кісларод выдзяляецца ў навакольнае асяроддзе. Другія прадукты — АТФ і атамы вадароду выкарыстоўваюцца ў цёмнай фазе, у ходзе якой адбываецца аднаўленне вуглякіслага газу да арганічных рэчываў. Сумарнае ўраўненне фотасінтэзу такое:



Ад працэсу фотасінтэзу прама ці ўскосна залежаць усе жывыя арганізмы Зямлі.



1. Фотасінтэз з'яўляецца працэсам пластычнага ці энергетычнага абмену? Чаму?
2. У якіх арганоідах расліннай клеткі адбываецца фотасінтэз? Што ўяўляе сабой фотасістэма? Якую функцыю выконваюць фотасістэмы?
3. Ахарактарызуйце светлавую і цёмную фазы фотасінтэзу па плане: 1) месца працякання; 2) зыходныя рэчывы; 3) працэсы, якія адбываюцца; 4) канчатковыя прадукты. Якія прадукты светлавой фазы фотасінтэзу выкарыстоўваюцца ў цёмнай фазе?
4. Дакажыце справядлівасць сцверджання: «Ад фотасінтэзу непасрэдна ці ўскосна залежыць усё жывое на Зямлі».
- 5\*. Параўнайце па розных прыметах працэсы фотасінтэзу і аэробнага дыхання. Вызначыце рысы падабенства і адрозненні.
- 6\*. Чалавек за суткі спажывае прыкладна 430 г кіслароду. Дрэва сярэдняй велічыні паглынае каля 30 кг вуглякіслага газу за год. Колькі дрэў неабходна, каб забяспечыць аднаго чалавека кіслародам на год?
- 7\*. Даследчыкі падзялілі расліны пшаніцы на дзве групы і вырошчвалі іх у лабараторыі ў аднолькавых умовах, за выключэннем таго, што расліны першай групы асвятлялі чырвоным святлом, а расліны другой групы — зялёным. У раслін якой групы працэс фотасінтэзу працякаў больш інтэнсіўна? Як вы думаеце, з чым гэта звязана?



Вывучэнне ўтварэння крухмалу ў лістах раслін



## § 23. Генетычны код і яго ўласцівасці

Як вы ведаеце, прыметы і ўласцівасці кожнага арганізма вызначаюцца перш за ўсё бялкамі, якія сінтэзуюцца ў яго клетках. Бялкі выконваюць самыя разнастайныя функцыі (успомніце якія) і забяспечваюць тым самым працяканне працэсаў жыццядзейнасці. Можна сказаць, што менавіта ад гэтых біяпалімераў у першую чаргу і залежыць існаванне арганізма. Аднак час функцыянавання бялкоў, як і многіх іншых біямалекул, вельмі абмежаваны. Таму сінтэз бялкоў у арганізме павінен ажыццяўляцца бесперапынна. Гэты працэс працякае ва ўсіх клетках аднаклетачных і мнагаклетачных арганізмаў.

Вам таксама вядома, што захавальнікам спадчыннай (генетычнай) інфармацыі, г. зн. інфармацыі пра першасную структуру бялкоў, з'яўляецца ДНК. Участак малекулы ДНК, які змяшчае інфармацыю пра першасную структуру аднаго бялку, атрымаў назву **ген**. Акрамя таго, генамі называюць участкі ДНК, якія захоўваюць інфармацыю пра будову малекул рРНК і тРНК.

У біясінтэзе бялкоў, які ажыццяўляецца ў рыбасомах, ДНК прамога ўдзелу не прымае. Перадача генетычнай інфармацыі, якая змяшчаецца ў ДНК, да месца сінтэзу бялку адбываецца з дапамогай пасрэдніка. Гэтым пасрэднікам з'яўляецца *матрычная (інфармацыйная) РНК* (мРНК, іРНК), якая сінтэзуецца на адным з ланцугоў малекулы ДНК па прынцыпе камплементарнасці.

У малекулах ДНК і мРНК інфармацыя пра першасную структуру бялкоў «запісана» ў выглядзе паслядоўнасці нуклеатыдаў. Самі ж бялкі сінтэзуюцца з амінакіслот. Значыць, у прыродзе існуе асаблівая сістэма кадзіравання, на аснове якой паслядоўнасць нуклеатыдаў расшыфроўваецца ў выглядзе паслядоўнасці амінакіслот малекул бялкоў. Гэты «шыфр» называецца генетычным кодам. Такім чынам, **генетычны код** — гэта сістэма запісу інфармацыі пра першасную структуру бялкоў у выглядзе паслядоўнасці нуклеатыдаў ДНК (мРНК).

Генетычны код валодае наступнымі ўласцівасцямі.

**1. Код з'яўляецца трыплетным.** Гэта значыць, што кожная амінакіслата кадзіруецца *трыплетам (кадонам)* — спалучэннем трох паслядоўна размешчаных нуклеатыдаў. У састаў малекул ДНК і РНК уваходзіць па 4 тыпы нуклеатыдаў. Калі б за пэўную амінакіслату «адказваў» адзін нуклеатыд, можна было б закадзіраваць толькі 4 з 20 бялокутваральных амінакіслот. Дублетаў (па два нуклеатыды) хапіла б толькі на  $4^2 = 16$  амінакіслот. Колькасць магчымых трыплетаў (спалучэнняў трох нуклеатыдаў)

складае  $4^3 = 64$ . Гэтага з лішкам хапае для кадзіравання ўсіх 20 відаў амінакіслот (табл. 14).

Табліца 14. Генетычны код, паказаны нуклеатыды мРНК (іРНК) (першы нуклеатыд трыплета бяруць з левага вертыкальнага рада, другі — з гарызантальнага рада, трэці — з правага вертыкальнага)

Першы нуклеатыд	Другі нуклеатыд				Трэці нуклеатыд
	У	Ц	А	Г	
У	Фен	Сер	Тыр	Цыс	У
	Фен	Сер	Тыр	Цыс	Ц
	Лей	Сер	Стоп	Стоп	А
	Лей	Сер	Стоп	Трп	Г
Ц	Лей	Пра	Гіс	Арг	У
	Лей	Пра	Гіс	Арг	Ц
	Лей	Пра	Глн	Арг	А
	Лей	Пра	Глн	Арг	Г
А	Ле	Трэ	Асн	Сер	У
	Ле	Трэ	Асн	Сер	Ц
	Ле	Трэ	Ліз	Арг	А
	Мет	Трэ	Ліз	Арг	Г
Г	Вал	Ала	Асп	Глі	У
	Вал	Ала	Асп	Глі	Ц
	Вал	Ала	Глу	Глі	А
	Вал	Ала	Глу	Глі	Г

Звярніце ўвагу, што 3 з 64 кадонаў (у малекулах мРНК — УАА, УАГ і УГА) не кадзіруюць амінакіслоты. Гэта так званыя *стоп-кадоны*, яны служаць сігналам заканчэння сінтэзу бялку.

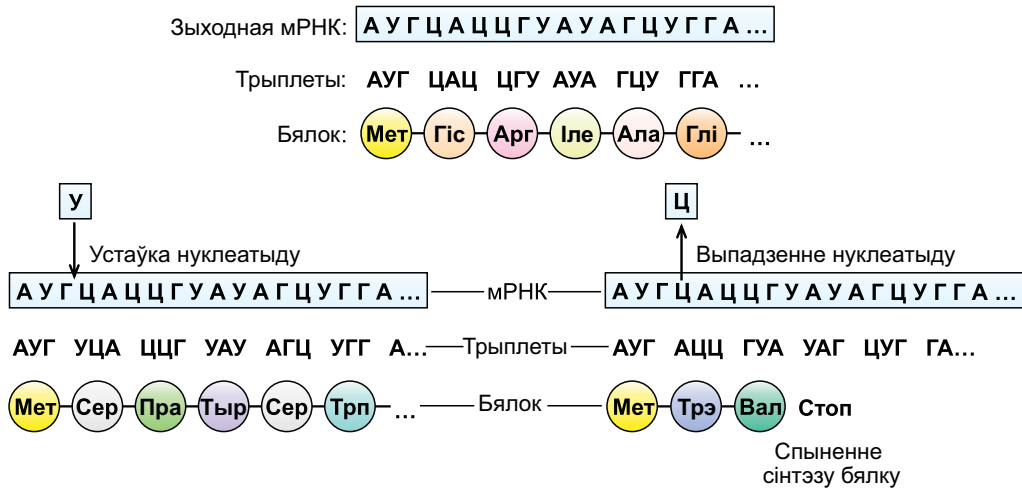
**2. Код адназначны** — кожны трыплет кадзіруе толькі адну амінакіслату.

**3. Як ужо адзначалася, лік трыплетаў перавышае колькасць амінакіслот, якія кадзіруюцца. Таму генетычны код з'яўляецца лішкавым (выраджаным)** — адна і тая ж амінакіслата можа кадзіравацца рознымі трыплетамі. Напрыклад, у мРНК цыстэін (Цыс) можа быць закадзіраваны трыплетам УГУ ці УГЦ, трэанін (Трэ) — АЦУ, АЦЦ, АЦА ці АЦГ. Некаторыя амінакіслоты, напрыклад лейцын (Лей), кадзіруюцца шасцю рознымі трыплетамі, у той жа час метыяніну (Мет) і трыптафану (Трп) адпавядае толькі па адным кадоне (праверце па табліцы генетычнага кода).

**4. Код не перакрываецца** — адзін і той жа нуклеатыд не можа адначасова ўваходзіць у састаў двух суседніх трыплетаў.

**5. Код бесперапынны.** У полінуклеатыдным ланцугу нуклеатыды размяшчаюцца бесперапынна і суседнія трыплеты нічым не адзелены адзін ад аднаго. Гэта значыць, што фактычна дзяленне на трыплеты ўмоўнае — усё залежыць ад таго, з якога менавіта нуклеатыду пачынаецца іх счытванне. Таму ў клетках счытванне інфармацыі, якая змяшчаецца ў генах, заўсёды пачынаецца са строга вызначанага нуклеатыду.

Калі ў саставе гена адбываецца змяненне колькасці нуклеатаў (іх выпадзенне ці ўстаўка) на лік, не кратны тром, назіраецца так званы *зрух рамкі счытвання* (мал. 60). Гэта прыводзіць да істотнага змянення паслядоўнасці амінакіслот у бялку, які кадзіруецца змененым генам. У некаторых выпадках зрух рамкі счытвання прыводзіць да ўзнікнення стоп-кадонаў, з прычыны чаго сінтэз бялку абрываецца.



Мал. 60. Зрух рамкі счытвання і яго наступствы

Як ужо адзначалася, правільнае счытванне генетычнай інфармацыі забяспечваецца толькі тады, калі яно пачынаецца са строга вызначанай пазіцыі. У эўкарыёт *стартавым кадонам* малекулы мРНК з'яўляецца трыплет АУГ. Менавіта з яго і пачынаецца счытванне.

**6. Код універсальны** — ва ўсіх жывых арганізмаў адным і тым жа трыплетам адпавядаюць адны і тыя ж амінакіслоты. Іншымі словамі, ва ўсіх арганізмаў генетычны код расшыфроўваецца аднолькава (за рэдкім выключэннем). Гэта сведчыць пра адзінства паходжання жывых арганізмаў.



Участак малекулы ДНК, які змяшчае інфармацыю пра першасную структуру пэўнага бялку, рРНК ці тРНК, называецца генам. Перадача спадчыннай інфармацыі, якая змяшчаецца ў ДНК, да рыбасом, дзе адбываецца сінтэз бялкоў, ажыццяўляецца з дапамогай пасрэдніка — мРНК. Генетычны код — гэта сістэма запісу інфармацыі пра першасную структуру бялкоў у выглядзе паслядоўнасці нуклеатыдаў ДНК (мРНК). Асноўныя ўласцівасці генетычнага кода: трыплетнасць, адназначнасць, лішканасць (выраджанасць), неперакрывальнасць, бесперапыннасць і ўніверсальнасць.



1. Што такое ген? Што ўяўляе сабой генетычны код?
2. Ахарактарызуйце ўласцівасці генетычнага кода.
3. Што ўяўляюць сабой стоп-кадоны? Якую ролю адыгрывае стартавы кадон АУГ?
4. Чаму амінакіслата кадріруецца не адным і не двума, а трыма паслядоўна размешчанымі нуклеатыдамі?
- 5\*. Малекула мРНК пачынаецца з наступнай паслядоўнасці нуклеатыдаў: АУГГУАЦЦУУГГЦАЦ... З якой паслядоўнасці амінакіслотных астаткаў пачынаецца бялок, закадріраваны гэтай мРНК? Для адказу выкарыстайце табліцу генетычнага кода (гл. табл. 14).
- 6\*. Як вы думаеце, якое біялагічнае значэнне мае ўласцівасць выраджанасці генетычнага кода?
- 7\*. Дзеянне некаторых фактараў (рэнтгенаўскіх прамяняў, ультрафіялетавага выпраменьвання, пэўных хімічных рэчываў і інш.) ці памылкі, якія часам узнікаюць пры рэплікацыі, могуць прыводзіць да змянення паслядоўнасці нуклеатыдаў ДНК. Пры гэтым можа адбывацца ўстаўка ці выпадзенне нуклеатыдаў або замена адных нуклеатыдаў на другія. Як вы лічыце, якія змяненні часцей прыводзяць да парушэння нармальнага функцыянавання клетак (і нават да іх гібелі) — устаўкі і выпадзення або замены нуклеатыдаў ДНК? Абгрунтуйце адказ.

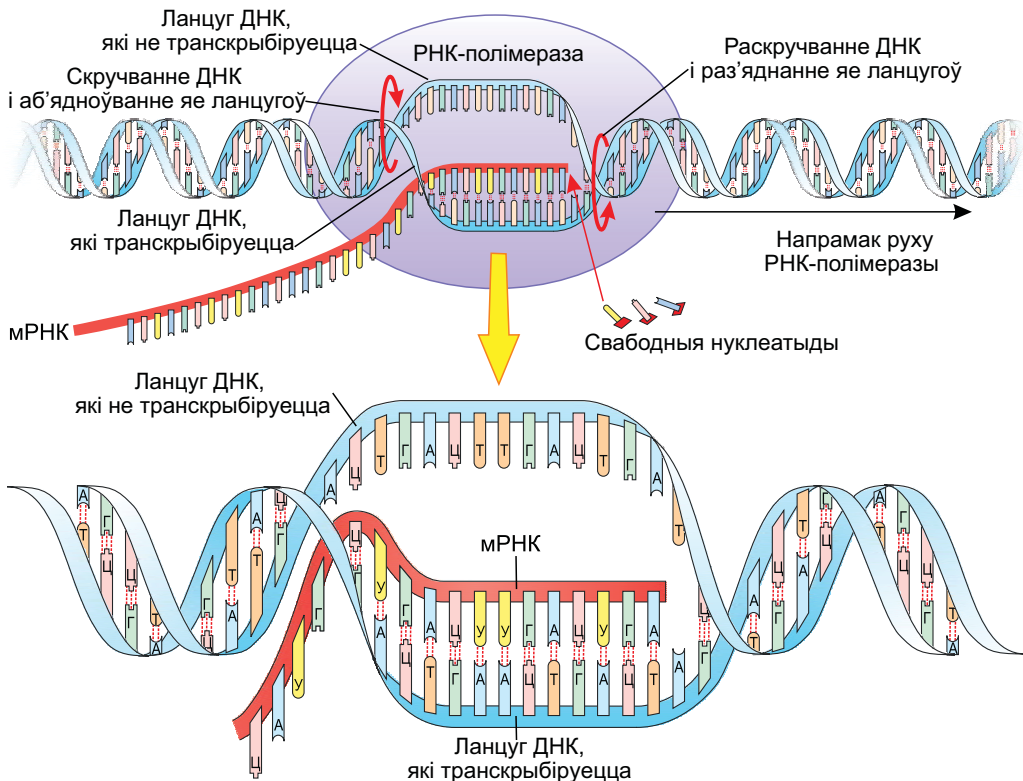
## § 24. Рэалізацыя спадчыннай інфармацыі

Вам вядома, што інфармацыя пра першасную структуру бялкоў, якая захоўваецца ў малекулах ДНК, з дапамогай пасрэдніка — мРНК — перадаецца да рыбасом. У гэтых арганойдах і адбываецца сінтэз бялкоў. Такім чынам, рэалізацыя спадчыннай інфармацыі ў клетцы ажыццяўляецца ў два этапы. Спачатку інфармацыя пра структуру бялку капіруецца з ДНК на мРНК (*транскрыпцыя*), а затым рэалізуецца на рыбасоме ў выглядзе канчатковага прадукта — бялка (*трансляцыя*). Гэта можна паказаць у выглядзе схемы:



**Транскрыпцыя.** Матрыцай для сінтэзу малекулы мРНК служыць пэўны ўчастак аднаго з ланцугоў малекулы ДНК. Паводле прынцыпу камплементарнасці парадак нуклеатыдаў у мРНК, якая ўтвараецца, строга вызначаны парадкам нуклеатыдаў у ланцугу ДНК. Па такім жа прынцыпе ў клетках сінтэзуюцца і іншыя віды РНК. Сінтэз РНК з выкарыстаннем ДНК у якасці матрыцы называецца **транскрыпцыяй**. Ланцуг малекулы ДНК, якая падчас транскрыпцыі з'яўляецца матрыцай, называецца ланцугом, які транскрыбіруецца (у адрозненне ад другога ланцуга, які не транскрыбіруецца).

Транскрыпцыя ажыццяўляецца з дапамогай ферменту *РНК-полімеразы*. Кожны ўчастак малекулы ДНК, на якім можа адбывацца транскрыпцыя, мае так званы *праматар*. Гэта асаблівая паслядоўнасць нуклеатыдаў, да якой далучаецца РНК-полімераза. Пасля далучэння ферменту адбываецца лакальнае раскручванне двайной спіралі ДНК, і яе камплементарныя ланцугі на гэтым участку адзяляюцца адзін ад аднаго (мал. 61).



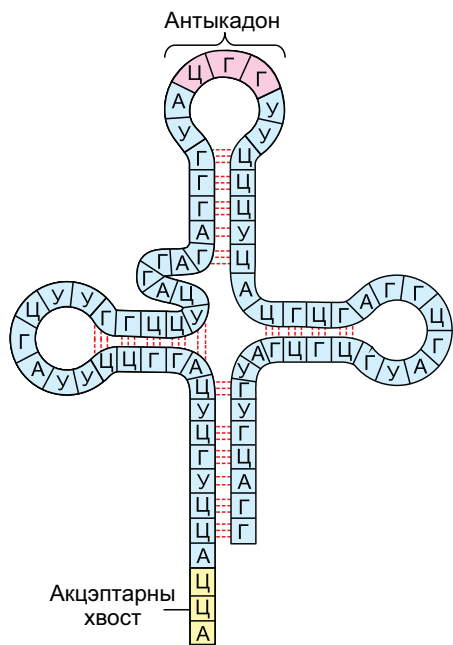
Мал. 61. Схема працэсу транскрыпцыі

Далей РНК-полімераза пачынае рух уздоўж малекулы ДНК. Фермент выкарыстоўвае ланцуг, які транскрыбіруецца, у якасці матрыцы для сінтэзу РНК з нуклеатыдаў. Маллекула РНК, якая пры гэтым утвараецца, камплементарная ўчастку ДНК, які транскрыбіруецца. Напрыклад, калі ўчастак ланцуга ДНК, які транскрыбіруецца, змяшчае паслядоўнасць нуклеатыдаў ТАЦАГЦ, то ў адпаведным яму фрагменце малекулы РНК парадак нуклеатыдаў будзе такім: АУГУЦГ (успомніце, што ў састаў нуклеатыдаў РНК замест тыміну ўваходзіць урацыл). Так у ходзе транскрыпцыі генетычная інфармацыя «перапісваецца» з ДНК на РНК.

Участак малекулы ДНК, на якім ажыццяўляецца транскрыпцыя, заканчваецца *тэрмінатарам*. Гэта нуклеатыдная паслядоўнасць, дасягнуўшы якой РНК-полімераза завяршае транскрыпцыю. Яна аддзяляецца ад малекулы ДНК і вызваляе сінтэзаваную РНК.

У клетцы працэс транскрыпцыі можа адначасова працякаць як на розных малекулах ДНК (храмасомах), так і на розных участках адной і той жа малекулы.

**Трансляцыя.** Працэс сінтэзу бялку з амінакіслот, які ажыццяўляецца ў рыбасомах, называецца **трансляцыяй**.



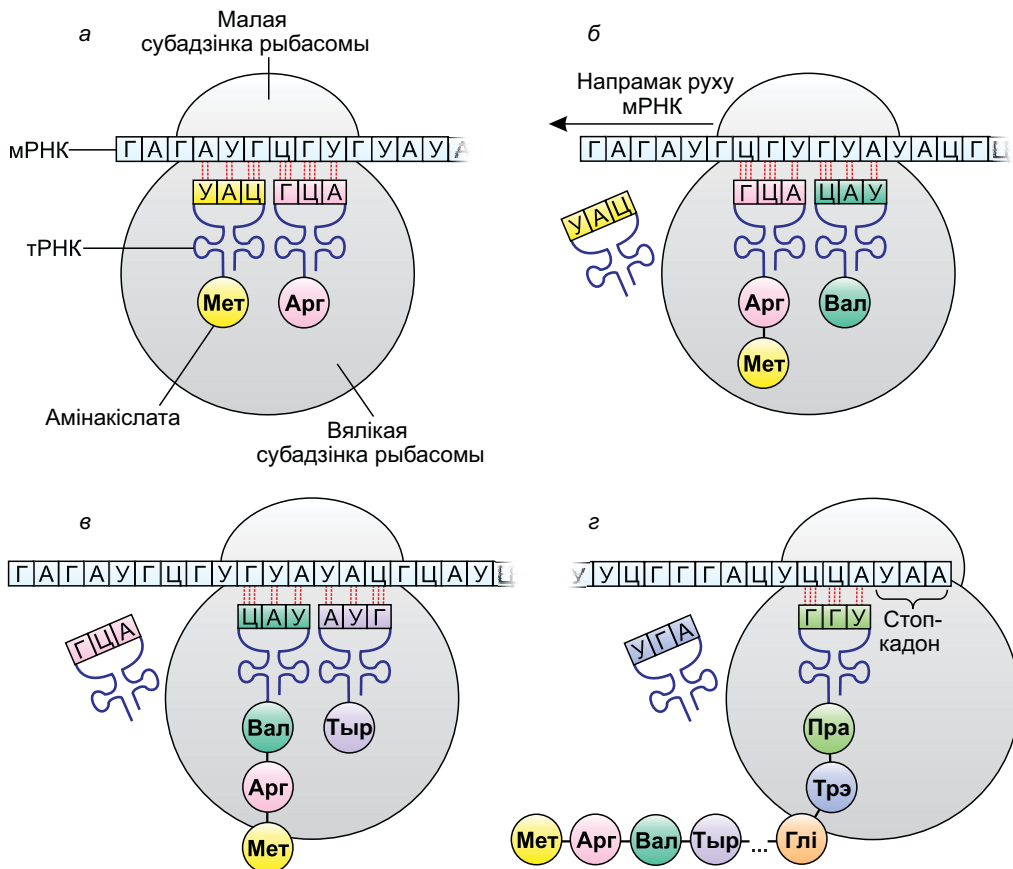
Мал. 62. Будова тРНК

Дастаўка амінакіслот да рыбасом ажыццяўляецца з дапамогай *транспартных РНК*. Як вы ведаеце, для малекул тРНК характэрна форма, якая нагадвае ліст канюшыны (мал. 62). Адзін з канцоў ланцуга тРНК — акцэптарны хвост служыць для далучэння амінакіслаты. У процілеглай частцы малекулы тРНК ёсць асаблівы трыплет — *антыкадон*. Паслядоўнасць нуклеатыдаў у саставе антыкадона вызначае, з якім менавіта кадонам мРНК будзе камплементарна злучацца тая ці іншая тРНК і якую амінакіслату яна будзе пераносіць. Напрыклад, тРНК, якая мае антыкадон УАЦ, можа звязацца па прынцыпе камплементарнасці толькі з трыплетам мРНК АУГ. Паколькі гэты трыплет кадзіруе метыянін (Мет), дадзеная тРНК служыць для транспарту менавіта гэтай амінакіслаты.



Працэс трансляцыі ажыццяўляецца наступным чынам. Спачатку мРНК злучаецца з малой субадзінкай рыбасомы ў вобласці стартavaга трыплета АУГ. Гэты трыплет кадзіруе амінакіслату метыянін. Далей са стартавым кадонам з дапамогай свайго антыкадона камплементарна звязваецца тРНК, якая нясе метыянін. Паколькі сінтэз бялку пачынаецца з кадона АУГ, практычна ўсе бялкі, якія ўтвараюцца ў ходзе трансляцыі (за рэдкім выключэннем), пачынаюцца з астатку метыяніну. Пазней у большасці бялкоў адбываецца адшчапленне гэтага астатку.

Пасля звязвання першай тРНК да ўтворанага комплексу далучаецца вялікая субадзінка рыбасомы. Затым у рыбасому паступае другая тРНК з амінакіслатай. Калі антыкадон гэтай тРНК камплементарны другому кадону мРНК, яна звязваецца з дадзеным трыплетам (мал. 63, а).



Мал. 63. Схema працэсу трансляцыі



Далей паміж дзвюма амінакіслотамі, дастаўленымі ў рыбасому малекуламі тРНК, утвараецца пептыдная сувязь.

Першая тРНК (метыянінавая) вызваляецца ад амінакіслаты. Затым мРНК зрушваецца на адзін трыплет. Разам з мРНК зрушваюцца і звязаныя з ёй тРНК. Пры гэтым першая тРНК аддзяляецца ад малекулы мРНК і пакідае рыбасому, а другая тРНК, злучаная з дыпептыдам, займае месца першай (мал. 63, б). Далей у рыбасому паступае наступная тРНК з амінакіслотой. У выніку ўтвораны раней дыпептыд злучаецца з трэцяй амінакіслотой. Пасля гэтага мРНК зрушваецца яшчэ на адзін трыплет. Другая тРНК пакідае рыбасому, на яе месца становіцца трэцяя. У рыбасому паступае чарговая тРНК з амінакіслотой (мал. 63, в), і апісаныя вышэй працэсы паўтараюцца. Так адбываецца нарошчванне поліпептыднага ланцуга.

Біясінтэз бялку працягваецца да таго часу, пакуль у рыбасому не трапіць адзін са стоп-кадонаў — УАА, УАГ ці УГА (мал. 63, г). У клетках не існуюць тРНК, антыкадоны якіх адпавядалі б гэтым кадонам. Таму працэс трансляцыі спыняецца, і субадзінкі рыбасомы аддзяляюцца адна ад адной.



Сінтэз бялкоў у клетках ажыццяўляецца хутка, пры ўдзеле асаблівых ферментаў, з затратамі энергіі АТФ і ГТФ (макраэргічнага злучэння, падобнага па структуры да АТФ). Вызначана, што за 1 мін у рыбасоме ўтвараецца прыблізна 5—6 тыс. пептыдных сувязей. Такім чынам, час сінтэзу невялікіх бялковых малекул састаўляе некалькі секунд, а на ўтварэнне буйных, якія змяшчаюць па некалькі тысяч амінакіслотных астаткаў, патрабуецца каля мінуты.

У арганізме чалавека масай 70 кг змяшчаецца прыкладна 10 кг бялкоў. Пры гэтым штодня каля 300—400 г бялкоў, якія ўваходзяць у састаў клетак і тканак, расщчапляецца да амінакіслот і прыблізна такая ж колькасць амінакіслот уключаецца ў толькі што сінтэзаваныя бялковыя малекулы. Гэта значыць, што ўсе бялкі арганізма абнаўляюцца ў сярэднім за 30 дзён.

Па меры прасоўвання мРНК праз рыбасому з яе вызваленым канцом можа звязвацца наступная рыбасома. Дзякуючы гэтаму на адной малекуле мРНК могуць адначасова знаходзіцца некалькі рыбасом, якія сінтэзуюць з невялікай разбежкай у часе ідэнтычныя малекулы бялку. Такія комплексы рыбасом, звязаных адной малекулай мРНК, называюцца *палісोмамі*.

Такім чынам, генетычная інфармацыя, якая змяшчаецца ў ДНК, у выніку працэсаў транскрыпцыі і трансляцыі рэалізуецца ў выглядзе малекул бялкоў. Сінтэз бялку забяспечваецца ўзаемадзеяннем розных відаў РНК. Рыбасомныя РНК з'яўляюцца галоўным структурным кампанен-

там рыбасом. Матрычная РНК — гэта носьбіт інфармацыі пра першасную структуру бялку. Транспартныя РНК дастаўляюць у рыбасому амінакіслоты.

Біясінтэз РНК (транскрыпцыя) і біясінтэз бялку (трансляцыя) ажыццяўляюцца з выкарыстаннем матрыц — ДНК і мРНК адпаведна. Таму, гэтак жа як і *рэплікацыя*, працэсы *транскрыпцыі* і *трансляцыі* з'яўляюцца **рэакцыямі матрычнага сінтэзу**.



§24-1



Рэалізацыя спадчыннай інфармацыі ў клетцы ўключае два этапы: транскрыпцыю і трансляцыю. Транскрыпцыя — гэта біясінтэз РНК на матрыцы ДНК. Гэты працэс адбываецца з удзелам РНК-полімеразы, якая ў якасці матрыцы для сінтэзу малекулы РНК выкарыстоўвае пэўны ўчастак ланцуга ДНК, што транскрыбіруецца. Трансляцыя — гэта біясінтэз бялку з амінакіслот, які адбываецца ў рыбасомах. У ходзе трансляцыі матрыцай служыць мРНК. Правільнае ўключэнне амінакіслот у састаў бялку забяспечваецца камплементарным звязваннем кадонаў мРНК з антыкадонамі тРНК. Транскрыпцыя і трансляцыя, гэтак жа як і рэплікацыя, з'яўляюцца рэакцыямі матрычнага сінтэзу.



1. Якія працэсы належаць да рэакцыі матрычнага сінтэзу?  
Брадэжэнне, трансляцыя, транскрыпцыя, фотасінтэз, рэплікацыя.
2. Што такое транскрыпцыя? Як працякае гэты працэс?
3. Які працэс называецца трансляцыяй? Ахарактарызуйце асноўныя этапы трансляцыі.
4. Чаму пры трансляцыі ў састаў бялку ўключаюцца не любыя амінакіслоты ў выпадковым парадку, а толькі тыя, якія закадзіраваны трыплетамі мРНК, прычым у строгай адпаведнасці з паслядоўнасцю гэтых трыплетай? Як вы думаеце, колькі відаў тРНК удзельнічае ў сінтэзе бялкоў у клетцы?
5. Рэакцыі матрычнага сінтэзу трэба адносіць да працэсаў асіміляцыі або дысіміляцыі? Чаму?
- 6\*. З дапамогай табліцы генетычнага кода (гл. табл. 14) вызначыце, якую амінакіслату транспартуе тРНК, паказаная на малюнку 62.
- 7\*. Участак ланцуга ДНК, які транскрыбіруецца, мае наступны парадак нуклеатыдаў: ТАЦТГГАЦАТАТТАЦААГАЦТ. Устанавіце паслядоўнасць амінакіслотных астаткаў пептыду, закадзіраванага гэтым участкам. Для рашэння выкарыстайце табліцу 14.
8. Вызначана, што ў малекуле мРНК адэнілавая нуклеатыды складаюць 14 % ад агульнай колькасці нуклеатыдаў, цытыдзілавая — 30 %, урыдзілавая — 34 %, гуанілавая — 22 %. Вызначыце працэнтныя суадносіны нуклеатыдаў у саставе двухланцуговага ўчастка малекулы ДНК, адзін з ланцугоў якога з'яўляўся матрыцай для сінтэзу дадзенай мРНК.

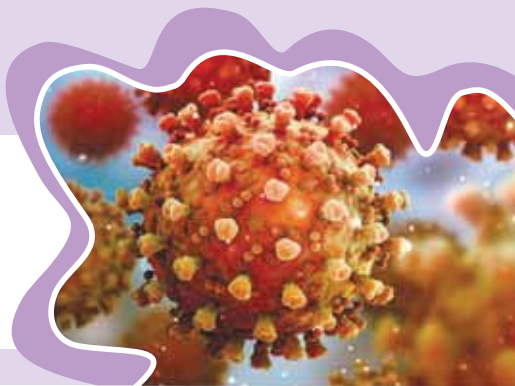
### ПАДВЯДЗЁМ ВЫНІКІ

Абмен рэчываў у арганізме прадстаўлены ўзаемазвязанымі рэакцыямі катабалізму і анабалізму, якія працякаюць адначасова.

Працэсы катабалізму (клетачнае дыханне і браджэнне) уяўляюць сабой расшчапленне складаных арганічных злучэнняў да больш простых рэчываў. Энергія, якая пры гэтым вылучаецца, выкарыстоўваецца для сінтэзу АТФ. Расшчапленне адной малекулы глюкозы ў ходзе клетачнага дыхання суправаджаецца сінтэзам 38 малекул АТФ, а ў працэсе браджэння — толькі 2 малекул АТФ. Гэта звязана з тым, што пры браджэнні, у адрозненне ад клетачнага дыхання, не адбываецца поўнага акіслення глюкозы да  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$ .

Працэсы анабалізму (фотасінтэз, транскрыпцыя, трансляцыя і інш.) суправаджаюцца сінтэзам складаных злучэнняў з параўнальна простых рэчываў і працякаюць з паглыннаннем энергіі. У выніку фотасінтэзу з  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$  утвараюцца арганічныя рэчывы. Гэты працэс адбываецца з паглыннаннем светлавой энергіі пры ўдзеле фотасінтэтычных пігментаў. Ад фотасінтэзу прама ці ўскосна залежыць усё жывое на Зямлі.

Танскрыпцыя і трансляцыя — этапы рэалізацыі спадчынай інфармацыі, якая захоўваецца ў ДНК. У ходзе транскрыпцыі на матрыцы ДНК утвараюцца розныя віды РНК. Трансляцыя ўяўляе сабой сінтэз бялкоў у рыбасомах, ролю матрыцы ў гэтым працэсе адыгрывае мРНК. Сістэма запісу інфармацыі пра першасную структуру бялкоў у выглядзе паслядоўнасці нуклеатыдаў ДНК (мРНК) называецца генетычным кодам.



Клетачная тэорыя сцвярджае: клетка — структурная і функцыянальная адзінка жыцця. Кажучы па-іншаму, усё жывое складаецца з клетак. Аднак у прыродзе існуюць і формы жыцця, якія не маюць клетачнай будовы, — **вірусы**.

Іх вывучэнне — няпростая задача, рашэнне якой стала магчымым толькі дзякуючы прагрэсу фізікі, хіміі і біялогіі. Цяжкасці ў даследаванні гэтай часткі жывой прыроды заключаюцца не толькі ў вельмі малых памерах вірусаў — менш за адзін мікраметр, але і ў складанасцях атрымання матэрыялу для даследавання. У адрозненне ад іншых мікраскапічных жывых аб'ектаў вырошчываць гэтыя формы жыцця на пажыўных асяродках немагчыма. Яны размнажаюцца толькі ў клетках жывых арганізмаў, г. зн. з'яўляюцца ўнутрыклетачнымі паразітамі.

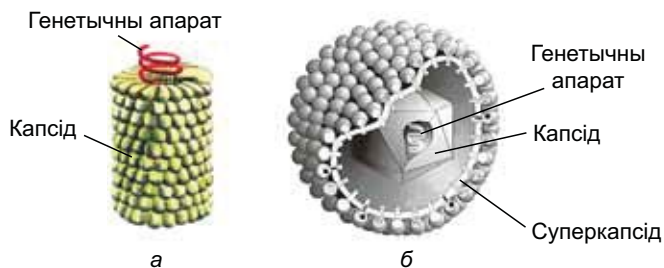
## § 25. Будова, разнастайнасць і размнажэнне вірусаў

У 1892 г. расійскі вучоны Д. І. Іваноўскі ўпершыню апісаў заразныя ўласцівасці вадкасці, атрыманай з расцёртых лістоў тытуню, пашкоджанага мазаічнай хваробай (мал. 64). Гэта вадкасць захоўвала здольнасць выклікаць захворванне нават пасля таго, як была прапушчана праз спецыяльны фільтр, які затрымлівае бактэрыяльныя клеткі. Гэты факт паслужыў першым указаннем на тое, што існуюць узбуджальнікі хвароб, якія маюць меншыя памеры, чым у бактэрыях.

У 1898 г. дачыненне агентаў, якія фільтруюцца, да развіцця захворванняў не толькі раслін, але і жывёл была пацверджана другімі вучонымі. Для назвы такіх не бачных у светлавых мікраскопы ўзбуджальнікаў сталі ўжываць слова «вірус», што ў перакладзе



Мал. 64. Лісты расліны тытуню, пашкоджаныя вірусам тытунёвай мазаікі

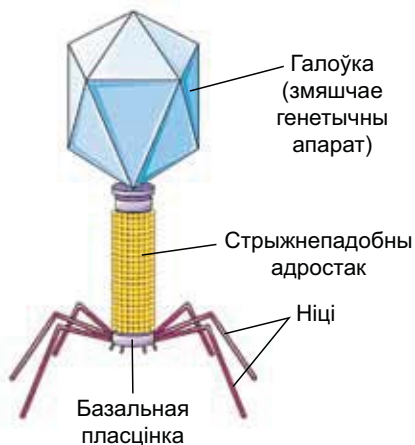


Мал. 65. Будова вірыёнаў: а — прсты (вірус тытунёвай мазаікі); б — складаны (вірус герпеса)

з лацінскага азначае «яд». У першай чвэрці XX ст. падобныя звесткі былі атрыманы для такіх захворванняў чалавека і жывёл, як шаленства, поліяміеліт, грып і інш. Было паказана, што не толькі мазаіка тытуню, але і шмат якія іншыя хваробы раслін звязаны з вірусамі.

**Будова вірусаў.** Вірусы ўяўляюць сабой часцінкі памерам ад 10 да 400 нм. Форму і структуру **вірыёнаў** — вірусных часцінак атрымалася вывучыць толькі пасля вынаходства электроннага мікраскопа. Вірыёны некаторых вірусаў нагадваюць палачкі ці ніці. У іншых вірусаў яны маюць выгляд правільных шматграннікаў або блізкія па форме да шара.

Асноўнымі кампанентамі віруса з'яўляюцца нуклеінавая кіслата і бялковая абалонка вакол яе — *капсід* (мал. 65). У адных вірусаў унутры капсіда знаходзіцца ДНК, у другіх — РНК. Гэта *геном (генетычны апарат)* віруса. У залежнасці ад тыпу нуклеінавай кіслаты вірусы падзяляюць на ДНК-змяшчальныя і РНК-змяшчальныя. Пры гэтым малекулы ДНК (або РНК) у розных відах вірусаў могуць быць адналанцуговымі ці двухланцуговымі. Колькасць малекул нуклеінавых кіслот у саставе геному вірусаў вар'іруе ад адной да некалькіх.



Мал. 66. Будова бактэрыяфага

Вірыёны, якія прадстаўлены толькі генетычным апаратам і капсідам, называюць прстымі. У складаных вірыёнаў над капсідам ёсць *суперкапсід* — абалонка з ліпідаў і бялкоў (гл. мал. 65).

Некаторыя вірусы маюць вірыёны, якія складаюцца з галоўкі ў форме шматгранніка і стрыжняпадобнага адростка. Такая будова характэрна для некаторых вірусаў бактэрыя (мал. 66). Яны былі ад-

крыты ў 1915—1917 гг. і названы **бактэрыяфагамі**. Калі ў прабірку з адчувальнымі да такога віруса бактэрыямі ўнесці некалькі соцень вірыёнаў бактэрыяфагаў, праз некалькі гадзін амаль усе бактэрыі загінуць. Вывучэнне такога дзеяння вірусаў прывяло да адкрыцця характэрнага для іх спосабу размнажэння.

У 1 мл марской вады ля паверхні акіяна змяшчаецца каля 100 млн бактэрыяфагаў. Тэарэтычна разлічаная колькасць вірусаў бактэрыя на планеце Зямля ацэньваецца лічбамі  $10^{30}$  —  $10^{31}$ . З улікам таго што маса адной віруснай часцінкі складае прыкладна  $10^{-15}$  г, агульная маса толькі бактэрыяфагаў прыблізна ў тысячу разоў большая за масу ўсіх сланоў, што жывуць на планеце. Калі размясціць у адну лінію ўсе бактэрыяфагі Зямлі, яе даўжыня склала б прыблізна  $10^{21}$  км ці 100 млн светлавых гадоў!

**Спосаб існавання і размнажэння вірусаў.** Хімічны састаў вірыёнаў паказвае на тое, што вірусы належаць да жывой прыроды. Аднак яны не праяўляюць многіх прымет жывых арганізмаў (успомніце прыметы жывога). Так, вірусы не маюць клетачнай будовы, не валодаюць рухомасцю і раздражняльнасцю, не здольныя расці, для іх не характэрны абмен рэчываў. Але вірусы могуць *размнажацца* і валодаюць такімі ўласцівасцямі жывога, як *спадчыннасць* і *зменлівасць*.

Вірусы размнажаюцца толькі ў клетках іншых арганізмаў. Інакш кажучы, усе вірусы з'яўляюцца абавязковымі ўнутрыклетачнымі паразітамі. Вядома, што паразітычны спосаб існавання характарызуецца высокай ступенню спецыфічнасці — кожнаму віду паразітаў патрэбныя свае віды-гаспадары. На прыкладзе вірусаў гэта ўласцівасць паразітызму выяўляецца асабліва ярка.

Пэўныя вірусы здольныя існаваць у клетках строга вызначаных відаў жывых арганізмаў. Пры гэтым гаспадарамі для розных вірусаў могуць быць прадстаўнікі ўсіх царстваў жывой прыроды. Лічыцца, што для ўсіх відаў бактэрыяў, пратыстаў, раслін, грыбоў і жывёл існуюць вірусы, прыстасаваныя паразітаваць у іх клетках. Больш таго, у клетках арганізмаў аднаго віду могуць жыць розныя вірусы. Далёка не ўсе віды вірусаў на сённяшні дзень вядомыя навуцы. Магчыма, што іх колькасць перавышае лік астатніх відаў біясферы.

Нягледзячы на такую разнастайнасць, для ўсіх вірусаў характэрны агульны прынцып існавання. Па-за клеткай гаспадара любы вірус уяўляе сабой сукупнасць арганічных малекул без якіх-небудзь прымет жыцця. Але калі вірусныя часцінкі аказваюцца на паверхні клетак гаспадара, яны праяўляюць пэўную актыўнасць. Адно вірусы ўводзяць сваю нуклеінавую кіслату ў цытаплазму клеткі, пры гэтым капсід віруснай

часцінкі застаецца звонку. Другія вірусы пранікаюць у клетку як цэласныя вірыёны. Пасля пападання такога вірыёна ў цытаплазму яго капсід разбураецца для вызвалення віруснай нуклеінавай кіслаты.

На стадыі ўзаемадзеяння вірыёнаў з паверхняй клетак гаспадара найважнейшую ролю адыгрываюць спецыяльныя рэцэптарныя бялкі вірусных часцінак. Іх будова вызначае магчымасць ці, наадварот, немагчымасць спецыфічнага звязвання вірыёнаў з клеткай таго ці іншага тыпу і спосаб заражэння клеткі.

Праз некаторы час пасля пранікнення віруса ў заражанай клетцы пачынаецца рэалізацыя спадчыннай інфармацыі, якая змяшчаецца ў яго геноме. Як вы ўжо ведаеце з раздзела 3, рэалізацыя генетычнай інфармацыі заключаецца ў сінтэзе пэўных бялкоў. Для гэтага вірус выкарыстоўвае тРНК, амінакіслоты і рыбасомы клеткі гаспадара. Асноўнымі бялкамі, неабходнымі для размнажэння віруса (г. зн. для фарміравання вірыёнаў новага пакалення), з'яўляюцца бялкі капсіда. У рыбасомах заражанай клеткі гэтыя бялкі сінтэзуюцца ў колькасці, дастатковай для зборкі некалькіх дзясяткаў ці нават соцень новых капсідаў.

Адначасова з гэтым у клетцы павялічваецца колькасць малекул віруснай нуклеінавай кіслаты. Іх сінтэз таксама ажыццяўляецца за кошт рэсурсаў клеткі гаспадара — ферментаў, нуклеатыдаў, АТФ і інш. Нуклеінавыя кіслоты віруса, якія толькі што ўтварыліся, самаадвольна ўпакоўваюцца ў капсіды. Такім чынам унутры клеткі з'яўляецца мноства новых вірыёнаў.

Для выхаду вірыёнаў новага пакалення з заражанай клеткі розныя вірусы выкарыстоўваюць розныя спосабы. Адзін з іх — гэта поўнае разбурэнне клеткі пад уздзеяннем спецыяльных вірусных бялкоў, якія сінтэзуюцца ў канцы працэсу размнажэння віруса. У гэтым выпадку ўсе вірусныя часцінкі, якія ўтварыліся, вызваляюцца адначасова.

Пры другім спосабе кожны вірыён пакідае клетку гаспадара самастойна. Гэта адбываецца наступным чынам. Спачатку вірусная часцінка прымацоўваецца да плазмалемы знутры. Далей гэты ўчастак мембраны выпінаецца вонкі і аддзяляецца ад клеткі. У выніку гэтага вірусная часцінка набывае суперкапсід — дадатковую абалонку з мембраны клеткі гаспадара, утвораную ліпідамі і бялкамі. Пры такім спосабе вызвалення вірыёнаў клетка гаспадара застаецца жывой, а працэс выхаду вірусаў з яе аказваецца больш працяглым.

Вызвалення вірыёны пры пападанні на паверхню адчувальных да іх клетак гаспадара здольныя паўтарыць характэрны для дадзенага віду вірусаў працэс размнажэння.

Некаторыя вірусы пасля пранікнення ў клетку гаспадара здольныя пераходзіць у стан *правіруса*. Пры гэтым нуклеінавая кіслата віруса (ці яе копія) убудоўваецца ў ДНК клеткі гаспадара. У такім выглядзе вірус можа працяглы час захоўвацца ў клетцы, не выклікаючы ўтварэння новых вірусных часцінак. Заражаная клетка не змяняе характэрнага для яе абмену рэчываў да таго часу, пакуль якое-небудзь уздзеянне не выкліча пераход правіруса ў актыўны стан і не пачнецца размнажэнне віруса.

Працягласць працэсаў размнажэння вірусаў розных відаў не аднолькавая. Напрыклад, у большасці бактэрыяфагаў час ад моманту пранікнення віруса ў клетку да выхаду новых вірусных часцінак складае менш за гадзіну. У некаторых вірусаў чалавека працэс размнажэння ў заражанай клетцы можа займаць некалькі сутак і больш.

У апошняй чвэрці XX ст. былі адкрыты яшчэ больш проста пабудаваныя ўзбуджальнікі захворванняў раслін, чым вірусы. Яны называюцца **віроідамі** і ўяўляюць сабой замкнутыя ў кольца адналанцуговыя малекулы РНК. Капсіда ў віроідаў няма.



§25-1



§25-1



Вірусная часцінка (вірыён) складаецца з нуклеінавай кіслаты, якая знаходзіцца ў бялковай абалонцы — капсідзе. У некаторых вірусаў ёсць суперкапсід — дадатковая абалонка з ліпідаў і бялкоў. Вірусы — унутрыклетачныя паразіты, яны размнажаюцца толькі ў клетках арганізма-гаспадара. Генетычная інфармацыя, што змяшчаецца ў нуклеінавай кіслаце віруса, рэалізуецца з выкарыстаннем рэчываў і энергіі заражанай клеткі. Нуклеінавыя кіслоты і бялкі віруса сінтэзуюцца ў клетцы асобна, а затым збіраюцца ў новыя вірыёны. У адной клетцы можа ўтварыцца мноства вірыёнаў. Вірыёны, якія выйшлі з клеткі гаспадара, заражаюць новыя клеткі. Разнастайнасць вірусаў велізарная. Вірусы бактэрыя называюцца бактэрыяфагамі. Больш простымі, чым вірусы, няклетачнымі формамі жыцця з'яўляюцца віроіды.



1. Якія з ніжэйпералічаных уласцівасцей жывых арганізмаў характэрныя для вірусаў, а якія не?

Клетачная будова, рост, размнажэнне, рухомасць, раздражняльнасць, спадчыннасць.

2. Якія памеры і форма вірусных часцінак? Які мікраскоп выкарыстоўваюць для вывучэння формы і структуры вірусаў?



3. Дайце азначэнні паняццям «вірыён», «бактэрыяфаг», «віроід», «правірус».
4. З якіх хімічных рэчываў складаюцца вірусы?
5. Ахарактарызуйце будову простых і складаных вірыёнаў. Як фарміруюцца складаныя вірыёны? Як пабудаваны бактэрыяфагі?
6. Дзе і як адбываецца размнажэнне вірусаў?
- 7\*. Параўнайце вірусы і хваробатворныя бактэрыі па розных прыметах. Вызначце рысы падабенства і адрозненні.
- 8\*. Як вы думаеце, ці патрабуе факт існавання вірусаў перагляду аднаго з асноўных палажэнняў клетачнай тэорыі, якое сцвярджае, што элементарнай структурнай і функцыянальнай адзінкай усяго жывога з'яўляецца клетка?

## § 26. Вірусныя захворванні і іх прафілактыка

Як вы ўжо ведаеце, тып біятычных адносін, якія ўзнікаюць паміж вірусам і яго гаспадаром, адносяць да паразітызму. Асновай для гэтага з'яўляецца тое, што пераважная большасць вірусаў у ходзе свайго размнажэння наносіць шкоду арганізму гаспадара.

Пры пашкоджанні вірусам клетка траціць свае рэсурсы не на ўласныя патрэбы, а на ўзнаўленне вірусных часцінак, што ўжо з'яўляецца неспрыяльным уздзеяннем. Многія вірусы ў перыяд размнажэння з дапамогай спецыяльных бялкоў абмяжоўваюць біясінтэз шэрага ўласных бялкоў клеткі, што яшчэ больш шкодзіць гаспадару. Большасць інфіцыраваных клетак гіне або пры вызваленні новых вірусных часцінак, або ў выніку вычарпання сваіх рэсурсаў. Усё гэта прыводзіць да развіцця тых ці іншых захворванняў на ўзроўні мнагаклетачнага арганізма.

Выкліканыя вірусамі хваробы сельскагаспадарчых раслін і жывёл наносіць чалавецтву істотную матэрыяльную шкоду. Вірусы могуць выклікаць гібель мікраарганізмаў, якія выкарыстоўваюцца ў біятэхналагічных працэсах, і тым самым парушаць вытворчасць прадуктаў харчавання, а таксама антыбіётыкаў, вітамінаў і іншых біялагічна актыўных рэчываў. Асабліваю ўвагу даводзіцца надаваць вірусам, якія паразітуюць у клетках чалавека.

**Вірусныя захворванні чалавека.** Хваробы, якія выклікаюцца вірусамі, належаць да катэгорыі найбольш небяспечных інфекцыйных захворванняў чалавека. Многія інфекцыйныя хваробы характарызуюцца здольнасцю ахопліваць вялікую колькасць людзей адначасова, што істотна зніжае магчымасці аказання неабходнай медыцынскай дапамогі. Але вірусныя захворванні займаюць асаблівае становішча. Калі супраць інфекцый, якія выклікаюцца паразітычнымі бактэрыямі, медыцына

ў XX ст. знайшла лекавыя прэпараты, якія эфектыўна дзейнічаюць, — антыбіётыкі, то супрацьвірусных сродкаў у арсенале ўрачэй істотна менш.

Справа ў тым, што сутнасць лячэння пры інфекцыйным захворванні зводзіцца да абмежавання размнажэння мікраарганізма, які выклікаў хваробу. У залежнасці ад хімічнай прыроды антыбіётыкі здольныя ўздзейнічаць на пэўныя структуры клетак бактэрыяў і парушаць тым самым працэсы іх жыццядзейнасці. Падзейнічаць такім жа чынам на змешчаныя па-за клеткай вірусныя часцінкі практычна немагчыма, бо для іх уласны абмен рэчываў не характэрны. Для прадухілення размнажэння віруса неабходна знайсці такія рэчывы, якія б парушалі той ці іншы этап у яго размнажэнні, але пры гэтым не мелі згубнага ўплыву на жыццядзейнасць клеткі-гаспадара. Зрабіць гэта значна цяжэй, паколькі вірус выкарыстоўвае для свайго размнажэння менавіта сістэмы жыццядзейнасці клеткі. Таму ў барацьбе з віруснымі захворваннямі важнейшую ролю адыгрывае *прафілактыка* — прадухіленне заражэння.

Прафілактычныя меры ў сучаснай сістэме аховы здароўя прадугледжваюць выкананне санітарна-гігіенічных норм і правіл паводзін, а таксама стварэнне актыўнага імунітэту ў шырокіх слаёў насельніцтва.

Прафілактыка на ўзроўні санітарыі і гігіены накіравана на прадухіленне пападання вірусаў у арганізм чалавека. Для кожнага віду вірусаў вядомы так званыя «ўваходныя вароты». Гэта тыя тканкі арганізма, дзе знаходзяцца адчувальныя да віруса клеткі. Калі вірус здолее прымацавацца да іх паверхні і трапіць унутр, пачнецца працэс яго размнажэння. Як вы ўжо ведаеце, адна заражаная клетка становіцца крыніцай мноства новых вірусных часцінак. Таму колькасць пашкоджаных вірусам клетак будзе хутка нарастаць, што і прывядзе да з'яўлення сімптомаў хваробы.

Уваходнымі варотамі для многіх вірусаў з'яўляюцца слізістыя абалонкі дыхальнай, стрававальнай, выдзяляльнай і палавой сістэм. Слізь, якая на іх змяшчаецца, перашкаджае ўздзеянню вірусаў на клеткі. Таму істотную ролю адыгрывае колькасць вірусных часцінак, якія першапачаткова трапляюць на слізістую абалонку. Чым менш іх будзе, тым менш верагодны пачатак інфекцыйнага працэсу.

Звычайна крыніцай вірусных часцінак з'яўляюцца хворыя людзі. Таму кантакты з імі, а таксама з прадметамі ўжытку, на якія маглі трапіць вірусы ад хворага, неабходна звесці да мінімуму. Пры захворваннях дыхальнай сістэмы важнай мерай прафілактыкі з'яўляецца выкарыстанне ахоўных масак, якія закрываюць рот і нос. Надзяваць такія маскі трэба як тым, хто хварэе, так і людзям, што кантактуюць з імі. Нашэнне маскі

ў месцах з вялікай колькасцю людзей (грамадскі транспарт, магазіны, месцы вучобы ці работы і г. д.) у перыяд абвешчаных эпідэміі істотна памяншае распаўсюджванне вірусаў.

Мыццё рук з мылам і іх апрацоўка сродкамі для дэзінфекцыі спрыяе ахове ад усіх груп вірусаў, паколькі праз інфіцыраваныя рукі вірус трапляе на ежу, прадметы ўжытку і далей у адпаведныя ўваходныя вароты.

Асобнае месца займае прафілактыка *ВІЧ-інфекцыі*. Узбуджальнік гэтага захворвання — вірус імунадэфіцыту чалавека (ВІЧ) перадаецца пры пападанні крыві заражанага чалавека ва ўнутранае асяроддзе ці на слізистыя абалонкі здаровых людзей. Таму не трэба выкарыстоўваць рэжучыя і колючыя прадметы (іголки, шпрыцы, манікюрныя інструменты, прыборы для нанясення татуіроўкі і г. д.), на якіх магла застацца кроў іншага чалавека. Выдзяленнямі чалавека, якія змяшчаюць вірус, могуць быць таксама сямевая і вагінальная вадкасці. З улікам гэтага рэкамендавана ўступаць у неабароненыя палавыя кантакты толькі з партнёрамі, якім вы давяраеце, або выкарыстоўваць прэзерватывы. Да прафілактычных мер належыць і добраахвотнае тэсціраванне на наяўнасць заражэння.



ВІЧ-інфекцыя належыць да інфекцыйных захворванняў, якія працякаюць павольна. Нягледзячы на тое што цалкам вылячыць заражанага ВІЧ чалавека сучасная медыцына не можа, стрымліваць развіццё інфекцыйнага працэсу магчыма. Існуе шэраг медыцынскіх прэпаратаў, ужыванне якіх памяншае тэмпы размнажэння віруса. Лячэнне такімі прэпаратамі дазваляе аддаліць на гады наступленне смяротна небяспечнага этапу ў інфекцыйным працэсе, які называецца *сіндром набытага імунадэфіцыту (СНІД)*. Смяротная небяспека звязана з тым, што арганізм ВІЧ-інфіцыраванага чалавека перастае абараняцца ад узбуджальнікаў захворванняў. Несмяротныя для здаровых людзей хваробы становяцца прычынай гібелі заражаных ВІЧ.

Апісаныя вышэй рэкамендацыі не абавязковыя для выканання, прытрымлівацца іх ці не залежыць ад асабістага жадання кожнага чалавека. Але пры пэўных умовах санітарна-гігіенічныя меры прафілактыкі павінны ажыццяўляцца ў абавязковым парадку і пад кантролем працаўнікоў эпідэміялагічных службаў. Пры асабліва небяспечных інфекцыях можа быць абвешчаны *карантын* — комплекс супрацьэпідэмічных і лячэбна-прафілактычных мерапрыемстваў, накіраваных на прадухіленне эпідэміі. Парушэнні карантыннага рэжыму праследуюцца па законе.

Некаторыя вірусы пападаюць у арганізм чалавека пры ўкусах крова-сысучых членістаногіх (камароў, кляшчоў, вошай). У гэтым выпадку прафілактыка заключаецца ў абмежаванні кантакту з пераносчыкамі вірусаў.

Вірус *шаленства* здольны выклікаць захворванне не толькі ў чалавека, але і ў шэрагу відаў жывёл, у тым ліку і хатніх (сабакі, кошкі). Ён пашкоджвае нервовыя клеткі, што робіць паводзіны жывёл больш агрэсіўнымі. Укусы, нанесеныя хворай жывёлай чалавеку, могуць прыводзіць да яго заражэння. Таму, калі вас укусіла жывёла, трэба абавязкова звярнуцца да ўрача для атрымання прафілактычнай дапамогі.

У пачатку XXI ст. да ўжо вядомых медыцыне вірусных захворванняў чалавека дабавілася *каранавірусная інфекцыя*. Узбуджальнік гэтай хваробы вядзе сваё паходжанне ад каранавірусаў, якія жылі ў арганізме кажаноў. У выніку прыродных генетычных змяненняў з'явіліся варыянты каранавіруса, здольныя размнажацца ў клетках чалавека. Як і іншыя ўзбуджальнікі захворванняў дыхальнай сістэмы (напрыклад, вірусы грыпу), каранавірусы перадаюцца ад чалавека да чалавека паветрана-кропельным шляхам, таму асноўнай мерай прафілактыкі з'яўляецца абмежаванне кантактаў паміж людзьмі і ахова органаў дыхання ад пападання вірусаў з дапамогай масак, якія закрываюць рот і нос.

Апісаныя меры прафілактыкі дапамагаюць змагацца з хваробатворнымі вірусамі, але не вырашаюць праблему канчаткова. Цалкам пазбавіць чалавецтва ад той ці іншай віруснай інфекцыі можна шляхам стварэння ў людзей штучнага актыўнага імунітэту. Як вы памятаеце з курса біялогіі 9-га класа, дадзеная форма імунітэту ўзнікае ў выніку вакцынацыі (прышчэпкі).

Прафілактыка з дапамогай вакцын патрабуе значна большых матэрыяльных і фінансавых затрат, але дае вельмі добрыя вынікі. Масавае прышчэпленне насельніцтва ў многіх краінах свету на працягу XX ст. прывяло да значнага скарачэння ліку выпадкаў захворвання такімі віруснымі хваробамі, як воспа, поліяміэліт, гепатыт В і інш. У 1977 г. Сусветная арганізацыя аховы здароўя (СААЗ) абвясціла пра канчатковую перамогу над вірусам натуральнай воспы і адмену абавязковай вакцынацыі супраць гэтага раней шырока распаўсюджанага захворвання.

Такі эффект масавага прышчэплення тлумачыцца высокай спецыфічнасцю ўзбуджальнікаў. Паколькі вірус з'яўляецца абавязковым паразітам чалавека (г. зн. нідзе, акрамя клетак чалавечага арганізма, размнажацца не можа), прышчэпленне большасці людзей фактычна

пазбаўляе яго асяроддзя пражывання. Колькасць віруса падае так моцна, што ён можа цалкам знікнуць. У гэтым выпадку праблема звязанага з дадзеным вірусам захворвання вырашаецца цалкам і канчаткова.

Супраць вірусаў, якія валодаюць высокім узроўнем зменлівасці, даводзіцца ўжываць асаблівы варыянт вакцынапрафілактыкі. У гэтым выпадку выкарыстоўваюцца прэпараты, якія ўяўляюць сабой спалучэнні вакцын супраць некалькіх варыянтаў віруса. Напрыклад, для прафілактыкі грыпу праводзіцца штогадовая вакцынацыя супраць трох найбольш распаўсюджаных у дадзеным годзе штамаў узбуджальніка. Гэта дазваляе не дапускаць у апошнія дзесяцігоддзі эпідэміі грыпу, якія яшчэ 15 гадоў таму штогод узнікалі ў большасці краін. У цяперашні час вядзецца інтэнсіўная работа па стварэнні падобных полівакцын супраць каранавіруснай інфекцыі.

Аднак для дасягнення падобных вынікаў патрэбна не толькі вялізная шматгадовая праца вучоных, медыцынскіх работнікаў, стваральнікаў і вытворцаў вакцын. Найважнейшым складальнікам такой прафілактыкі з'яўляецца правільнае стаўленне да вакцынацыі кожнага чалавека. Калі па стане здароўя вакцынацыя вам не супрацьпаказаная, то ўхіляцца ад абавязковых прышчэпак — значыць перашкаджаць барацьбе чалавечтва з узбуджальнікамі хваробы. Важна і тое, што, прышчэпляючыся, мы не толькі захоўваем уласнае здароўе, але і ахоўваем людзей навокал. Чым больш людзей прышчэплена, тым меншая верагоднасць заражэння тых, хто не мог быць прышчэплены.



Вірусы наносзяць істотную шкоду сельскай гаспадарцы і мікрабіялагічнай вытворчасці. Лячэнне вірусных захворванняў чалавека ўскладнена адносна слабай вывучанасцю вірусаў і адсутнасцю высокаэфектыўных супрацьвірусных прэпаратаў. Прафілактыка вірусных хвароб чалавека ўключае санітарна-гігіенічныя мерапрыемствы і стварэнне штучнага актыўнага імунітэту. Прышчэпленне шырокіх слаёў насельніцтва — найбольш эфектыўны шлях барацьбы з віруснымі інфекцыямі.



1. Чаму вірусныя захворванні чалавека ў цэлым больш небяспечныя, чым большасць бактэрыяльных?
2. Якія правілы трэба выконваць, каб не заразіцца вірусным захворваннем? Ад чаго залежыць выбар канкрэтных мер засцярогі? Якія меры выкарыстоўваюць медыцынскія службы для абмежавання распаўсюджвання хваробатворных вірусаў чалавека?

3. У чым заключаецца прафілактыка заражэння вірусам імунадэфіцыту чалавека (ВІЧ)?
4. Якім шляхам можна цалкам пазбавіць чалавецтва ад канкрэтнай віруснай хваробы? Якую работу неабходна выканаць вучоным і медыцынскім работнікам для дасягнення жаданай мэты?
5. Якая роля кожнага чалавека ў барацьбе чалавецтва з патогеннымі вірусамі?
- 6\*. Як зберагчы свойскую жывёлу ад вірусных захворванняў?
- 7\*. Як вы думаеце, у чым заключаюцца цяжкасці ў распрацоўцы супрацьвірусных вакцын?

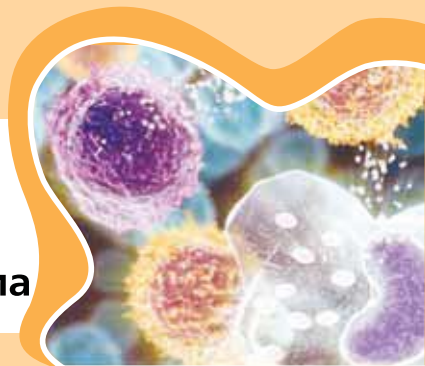
### ПАДВЯДЗЁМ ВЫНІКІ

Вірусы — асаблівыя формы жыцця, якія не маюць клетачнай будовы. Вірусныя часцінкі (вірыёны) маюць памеры ад 10 да 400 нм. Асноўнымі кампанентамі вірыёна з'яўляюцца нуклеінавая кіслата (ДНК ці РНК) і бялковая абалонка вакол яе — капсід.

Для вірусаў не характэрны многія прыметы жывых арганізмаў, аднак яны валодаюць спадчыннасцю, зменлівасцю і здольнасцю размнажацца. Гэтыя прыметы жывога праяўляюцца толькі тады, калі вірыёны (ці толькі малекулы іх нуклеінавых кіслот) трапляюць у клеткі адчувальных да іх арганізмаў. Вірусы — унутрыклетачныя паразіты, якія выкарыстоўваюць для размнажэння рэсурсы заражанай імі клеткі. Працэс размнажэння вірусаў уключае сінтэз вірусных бялкоў і нуклеінавых кіслот у клетцы гаспадара. Далей яны аб'ядноўваюцца ў вірыёны, якія вызваляюцца з клеткі. Адна заражаная вірусам клетка служыць месцам утварэння мноства новых вірыёнаў.

Кожны від вірусаў выкарыстоўвае для размнажэння клеткі пэўных відаў жывых арганізмаў. Размнажэнне вірусаў парушае працэсы жыццядзейнасці клетак гаспадара, што прыводзіць да развіцця захворвання. Лепшым спосабам барацьбы з віруснымі хваробамі чалавека і жывёл з'яўляецца вакцынацыя.

## Роля регуляцыі і імуннай сістэмы ў падтрыманні пастаянства ўнутранага асяроддзя арганізма



Як вы ўжо ведаеце, аснову жыццядзейнасці любога жывога арганізма складаюць біяхімічныя рэакцыі, якія адбываюцца ўнутры клетак. Іх працяканне залежыць ад наяўнасці ў клетцы пэўных бялкоў. З'яўленне кожнага ўнутрыклетачнага бялку вызначаецца транскрыпцыяй гена, які кадзіруе дадзены бялок. Такім чынам, кіраванне жыццядзейнасцю на ўзроўні адной клеткі заключаецца ў рэгуляванні парадку транскрыбіравання генаў. Гэты парадак змяняецца на працягу жыцця клеткі ў залежнасці ад стану самой клеткі і асяроддзя вакол яе.

Аднаклетачныя арганізмы ўвесь час адчуваюць на сабе непасрэднае ўздзеянне фактараў асяроддзя. Яны вымушаны самастойна перабудоўваць свой абмен рэчываў пры ваганнях гэтых фактараў, што абмяжоўвае магчымасці іх існавання ў шырокім дыяпазоне ўмоў.

Мнагаклетачныя арганізмы здольныя ствараць для сваіх клетак аптымальныя ўмовы. Гэта дасягаецца за кошт сумеснай дзейнасці клетак, тканак, органаў і сістэм органаў. Такая дзейнасць павінна быць каардынавана. Таму ў мнагаклетачных арганізмаў да рэгуляцыі на ўзроўні актыўнасці генаў дабаўляецца рэгуляцыя на ўзроўні арганізма.

### § 27. Рэгуляцыя жыццёвых функцый арганізма

Галоўнай перавагай жыцця клетак у мнагаклетачным арганізме ў параўнанні з адзіночным існаваннем з'яўляецца памяншэнне неспрыяльнага ўздзеяння фактараў навакольнага асяроддзя. Пры сумесным жыцці клеткі за кошт сваёй сукупнай жыццядзейнасці ствараюць для сябе асаблівае асяроддзе пражывання. Стварэнне і падтрыманне спрыяльнага для жыцця асяроддзя дасягаецца тым, што ў мнагаклетачным арганізме клеткі спецыялізуюцца для выканання пэўных функцый. Такія функцыі не абавязковыя для існавання кожнай канкрэтнай клеткі, але важныя для выжывання арганізма ў цэлым. Наколькі высокі ўзровень такой спецыялізацыі, можна ўбачыць, калі параўнаць клеткі розных тканак адна-

го арганізма, напрыклад эрытрацыты і нейроны чалавека. Гэтыя клеткі вельмі моцна адрозніваюцца па будове, памерах, асаблівасцях працэсаў жыццядзейнасці. Кожная такая спецыялізаваная клетка ў асобнасці існаваць не можа. Аднак сумесна такія клеткі ствараюць *унутранае асяроддзе мнагаклетачнага арганізма*, якое значна лепш прыстасавана для жыцця клетак, чым асяроддзе, што акружае арганізм у цэлым.

Пры гэтым неабходныя для жыцця клетак фактары ў знешнім асяроддзі могуць вагацца ў шырокіх межах, але ва ўнутраным асяроддзі яны будуць заставацца нязменнымі. Такое пастаянства ўнутранага асяроддзя называецца **гамеастазісам**.

*Рэгуляцыя жыццёвых функцый у раслін.* Асноўнай умовай існавання раслінных клетак з'яўляецца наяўнасць святла, вуглякіслага газу, вады і іонаў солей. Вегетатыўныя органы раслін пабудаваны так, каб змешчаныя ў наземна-паветраным асяроддзі клеткі атрымлівалі ўсё неабходнае. Клеткі асноўнай тканкі лістоў, якія лепш за ўсё асветлены, атрымліваюць неабходную ваду і іоны солей дзякуючы ўсмоктальнай функцыі караня і праводзячай функцыі сцябла. Праз вусцейкі да гэтых жа клетак паступае вуглякіслы газ. У выніку працэсу фотасінтэзу ў клетках лістоў утвараецца вялікая колькасць багатага энергіяй арганічнага рэчыва. Яго хапае не толькі для жыццядзейнасці гэтых клетак. Па праводзячай тканцы багатыя энергіяй вугляводы дастаўляюцца і тым клеткам раслін, на якія святло не трапляе. Дзякуючы гэтаму клеткі каранёў і ўнутранай часткі сцёблаў падтрымліваюць сваю жыццядзейнасць і выконваюць функцыі, неабходныя ўсёй расліне.

Каб усё апісанае адбывалася найлепшым чынам, неабходна рэгуляцыя агульных жыццёвых працэсаў арганізма. У раслінах яна ажыццяўляецца дзякуючы накіраванаму росту органаў. Карані растуць так, каб іх клеткі маглі паглынуць найбольшую колькасць вады і мінеральных рэчываў. Рост і галінаванне сцёблаў накіраваны на вынас лістоў да святла. Генератыўныя органы раслін таксама выносяцца ў найлепшыя ўмовы для ажыццяўлення працэсаў размнажэння.

Усё гэта магчыма таму, што ў розных частках арганізма расліны знаходзяцца ўтваральныя тканкі. Іх клеткі ўвесь час здольныя да дзялення, але дзеляцца толькі тады, калі на іх дзейнічаюць спецыяльныя рэчывы. Гэтыя рэчывы называюцца **фітагармонамі**. Пад дзеяннем фітагармонаў паскараецца ці запавольваецца дзяленне клетак і іх дыферэнцыроўка. Дзякуючы гэтаму ў залежнасці ад умоў навакольнага асяроддзя адбываюцца сезонныя змяненні ў жыцці раслін. Пры спрыяльных умовах органы растуць і развіваюцца. Пры пагаршэнні ўмоў расліна пераходзіць у стан спакою.



Састаў і колькасць фітагармонаў змяняецца ў залежнасці ад стану і размяшчэння органаў на расліне. Наглядным прыкладам з'яўляецца рэгуляванне фарміравання кроны ў дрэвавых раслін. У залежнасці ад асветленасці той ці іншай часткі расліны рэгулюецца рост яе бакавых парасткаў. Фітагармоны, якія выдзяляюцца верхавінкавымі ўчасткамі сцябла, пераразмяркоўваюцца ўнутры расліны так, каб рост парасткаў забяспечваў максімальную асветленасць ліставой паверхні. Пры гэтым частка сцябловых пупышак пад дзеяннем гэтых гармонаў пераходзіць у стан спакою. Калі парасткі, якія актыўна растуць, пашкоджаюцца (напрыклад, пры абразанні выдаляюцца іх верхавінкавыя часткі), адсутнасць гармонаў, якія яны выдзялялі, прыводзіць да развіцця парасткаў з пачак, што знаходзяцца ў стане спакою. Такім чынам расліна зноў сфарміруе крону, якая дазволіць ёй найлепшым чынам фотасінтэзаваць.

**Рэгуляцыя жыццёвых функцый у жывёл.** Будова і функцыянаванне сістэм жыццезабеспячэння ў арганізме жывёл больш складаныя. У іх для падтрымання гомеастазісу патрабуецца каардынаваная работа стрававальнай, дыхальнай, крывяноснай і выдзяляльнай сістэм. Для забеспячэння зладжанай работы гэтых сістэм у арганізме жывёл, у адрозненне ад раслін, існуюць дзве спецыялізаваныя рэгулятарныя сістэмы — эндакрынная і нервовая.

Рэгуляцыя работы органаў, якая здзяйсняецца **эндакрыннай сістэмай**, па асноўным прынцыпе падобна да рэгуляцыі ў раслін. Пэўныя рэчывы — *гармоны* — дзейнічаюць непасрэдна на клеткі, што прыводзіць да змянення ўнутрыклетачных працэсаў. Гармоны сінтэзуюцца клеткамі спецыяльных органаў — залоз унутранай і змешанай сакрэцыі. Гэтыя рэчывы размяркоўваюцца сістэмай кровазвароту па ўсім арганізме, але дзейнічаюць выбіральна. Пад іх дзеянне трапляюць толькі тыя клеткі, у якіх ёсць рэцэптары да гэтых гармонаў. Такая рэгуляцыя называецца **гумаральнай**. Яна дазваляе змяніць актыўнасць клетак адразу ў многіх тканках і органах.

**Нервовая сістэма** працуе па іншым прынцыпе. Тут сігнал перадаецца ад кіруючага органа — нервовага цэнтра да пэўнага рэгулюемага органа. Гэта дасягаецца за кошт шматлікіх нерваў, якія злучаюць усе органы з цэнтральнай нервовай сістэмай (ЦНС). У ЦНС па адчувальных валокнах нерваў паступае інфармацыя пра стан знешняга кожнага органа. Тут яна супастаўляецца з інфармацыяй пра стан асяроддзя, якая паступае ад органаў пачуццяў. Вынікам такой дзейнасці з'яўляюцца рэгулятарныя сігналы — *нервовыя імпульсы*, якія перадаюцца да органаў па рухальных валокнах. У залежнасці ад гэтых сігналаў работа органаў змяняецца.

Нервовая рэгуляцыя ажыццяўляецца ў шмат разоў хутчэй, чым гумаральная. Яна дазваляе арганізму рэагаваць на вельмі нязначныя ва-



ганні фактараў знешняга і ўнутранага асяроддзя. Але правядзенне рэгулятарных сігналаў па нервовых клетках ажыццяўляецца з пэўнымі энергетычнымі затратамі. Пасля правядзення нервовага імпульсу нейронам даводзіцца аднаўляць аптымальную для іх колькасць малекул АТФ. Таму ў цэлым для нервовай сістэмы характэрна стамляльнасць, сведчаннем якой з'яўляецца перыядычнае зніжэнне яе актыўнасці. У прыватнасці, арганізм чалавека штосутачна вымушаны пераходзіць у стан сну. У час сну нервовая рэгуляцыя не спыняецца цалкам, а ажыццяўляецца на больш нізкім узроўні ў параўнанні з перыядам няспання. Поўнае пазбаўленне магчымасці заснуць прыводзіць да парушэнняў у рабоце нервовай сістэмы, а працяглая адсутнасць сну становіцца смяротна небяспечнай.

З аднаго боку, гэта падкрэслівае значнасць нервовай рэгуляцыі, а з другога — дазваляе зразумець, чаму пры наяўнасці высокадакладнай і хуткадзейнай нервовай сістэмы ў арганізме жывёл захоўваецца і гумаральная рэгуляцыя. Дзейне гармонаў дае магчымасць пры значна меншых энергетычных затратах падтрымліваць працяглыя жыццёва важныя працэсы. Перш за ўсё гаворка ідзе пра абмен рэчываў, які павінен адбывацца ў арганізме пастаянна на працягу ўсяго жыцця. Акрамя таго, працяглыя працэсы росту і развіцця таксама падлягаюць кантролю з боку залоз унутранай і змешанай сакрэцыі. Звязаныя з парушэннямі работы гэтых залоз захворванні (пра іх вы ведаеце з курса біялогіі 9-га класа) наглядна пацвярджаюць ролю гумаральнай рэгуляцыі.

Яшчэ адным прыкладам значнасці гумаральнай рэгуляцыі з'яўляюцца сітуацыі, пры якіх у актыўны стан неабходна адначасова перавесці большасць сістэм арганізма. Вядомая кожнаму з нас мабілізацыя ўсіх рэсурсаў арганізма пры адчуванні небяспекі (спалох) вызначаецца перш за ўсё хуткім выкідам гармонаў, у прыватнасці адрэналіну.

Гэты прыклад дэманструе ўзаемасувязь нервовай і гумаральнай рэгуляцыі. Усе эндакрынныя залозы і залозы змешанай сакрэцыі інерваваны, г. зн. знаходзяцца пад кантролем нервовай сістэмы. Гэта, з аднаго боку, дазваляе ў пэўных сітуацыях узмацніць ці аслабіць сакраторную актыўнасць гэтых органаў у залежнасці ад атрыманых нервовай сістэмай сігналаў. З другога боку, мае месца ўплыў канцэнтрацыі некаторых гармонаў на функцыянаванне нервовай сістэмы. Таму гавораць, што дзейнасць органаў, сістэм органаў і ўсяго арганізма жывёл знаходзіцца пад кантролем так званай **нейрагумаральнай рэгуляцыі**.

*Паняцце пра самарэгуляцыю.* Жывыя клеткі пастаянна выкарыстоўваюць рэчывы, спажываюць энергію і выдзяляюць прадукты жыццядзейнасці. Таму асяроддзе вакол клеткі ўвесь час змяняецца. А гэта азначае, што рэгуляцыя павінна адбывацца пастаянна і бесперапынна. Пры любых адхіленнях ад аптымальных для клетак умоў у тым ці іншым органе арганізма ажыццяўляюцца працэсы, якія вяртаюць фактар, які адхіліўся, да значэння оптымуму.

Пры гэтым не важна, што выклікала парушэнне гомеастазісу — знешняе ці ўнутранае ўздзеянне. Фактычна арганізм рэагуе менавіта на змяненні ў сваім унутраным асяроддзі і сам жа, за кошт змянення дзейнасці сваіх органаў, мяняе свой стан. Таму такую рэгуляцыю ў біялогіі называюць **самарэгуляцыяй**.

Такім чынам, любы жывы арганізм уяўляе сабой адкрытую сістэму, якая самарэгулюецца. Гэта выяўляецца як на ўзроўні кожнай клеткі, так і на ўзроўні мнагаклетачнага арганізма ў цэлым. Канчатковая мэта такой рэгуляцыі — стварэнне аптымальных умоў для біяхімічных рэакцый, якія працякаюць у клетках. У мнагаклетачных арганізмаў гэта дасягаецца шляхам рэгулявання актыўнасці органаў і сістэм, якія дзейнічаюць зладжана.



Усе жывыя арганізмы здольныя рэгуляваць працэсы сваёй жыццядзейнасці. Мнагаклетачныя арганізмы здольныя ствараць для сваіх клетак аптымальныя ўмовы існавання. Гэта дасягаецца за кошт каардынаванай дзейнасці іх органаў. У раслін такая дзейнасць рэгулюецца за кошт утварэння пэўных рэчываў — фітагармонаў. У арганізме жывёл існуюць спецыяльныя рэгулятарныя сістэмы — нервовая і эндакрынная. Гэтыя сістэмы дзейнічаюць сумесна. Дзякуючы ім ажыццяўляецца нейрагумаральная рэгуляцыя, вынікам якой з'яўляецца гомеастазіс — пастаянства ўнутранага асяроддзя арганізма.



1. У чым заключаецца асноўная перавага жыцця клетак у мнагаклетачным арганізме?
2. Як называецца пастаянства ўнутранага асяроддзя арганізма?
3. Як ажыццяўляецца рэгуляцыя жыццядзейнасці ў раслін?
4. Якія працэсы кантралююцца эндакрыннай сістэмай у арганізме жывёл?
5. Якая роля нервовай сістэмы ў падтрыманні пастаянства ўнутранага асяроддзя арганізма?
- 6\*. Чаму рэгуляцыя жыццядзейнасці ў жывёл больш складаная, чым у раслін?

## § 28. Агульная (неспецыфічная) ахова ўнутранага асяроддзя арганізма

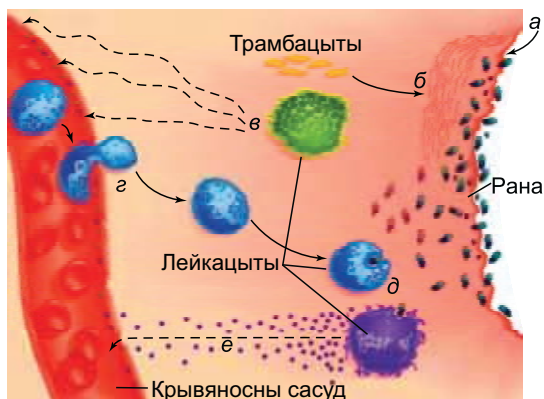
Для падтрымання пастаянства ўнутранага асяроддзя жывёлам неабходна ахоўваць яго ад пранікнення іншых арганізмаў. Для гэтага ў іх ёсць асаблівыя прыстасаванні. Лепш за ўсё яны развіты ў самых складаных па будове жывёл. Разгледзець іх можна на прыкладзе прадстаўніка класа Млекакормячых — Чалавека разумнага.

**Скурнае покрыва і слізистыя абалонкі чалавека** выконваюць бар’ерную функцыю. *Скурнае покрыва* перашкаджае пранікненню мікраарганізмаў за кошт пастаяннага адмірання і злучвання клетак верхніх слаёў эпідэрмісу. Разам з імі выдаляюцца і мікраарганізмы, якія трапілі на паверхню цела. Для выдзяляемага на паверхню эпідэрмісу поту характэрна слабакіслае асяроддзе. Гэта стварае неспрыяльныя ўмовы для размнажэння бактэрый. Змешчаная пад эпідэрмісам дэрма (уласна скура) уяўляе сабой шчыльны механічны бар’ер на шляху мікраарганізмаў. Але пры высыханні скура можа растрэскацца і губляць сваю бар’ерную функцыю. Высыханню скуры перашкаджае сакрэт тлушчавых залоз, таму яго таксама можна аднесці да ахоўных вадкасцей.

Мяжой паміж унутраным і знешнім асяроддзем з’яўляюцца *слізистыя абалонкі* дыхальнай, стрававальнай, выдзяляльнай і палавой сістэм. Іх бар’ерная функцыя вызначаецца высокай рэгенератыўнай здольнасцю і пастаянным выдзяленнем слізі. Гэта слізь дзякуючы вязкасці перашкаджае ўздзеянню мікраарганізмаў на клеткі. Яе выдаленне, напрыклад, пры кашлі ці чыханні спрыяе ачышчэнню арганізма. У састаў слізі ўваходзяць бактэрыцыдныя рэчывы. Галоўным з іх з’яўляецца *лізацым*, які разбурае клетачную сценку бактэрый. Пры інфекцыйных захворваннях колькасць слізі павялічваецца і ўтрыманне бактэрыцыдных рэчываў у ёй узрастае.

Лізацым прысутнічае таксама ў саставе слёзнай вадкасці і сліны. У стрававальным тракце, акрамя слізі, абеззаражвальнае дзеянне аказваюць *саяльная кіслата* страўнікавага соку, *кампаненты жоўці* і ўсе *стрававальныя ферменты*.

**Запаленне.** Калі цэласнасць покрыва парушаецца, развіваецца спецыяльная ахоўная рэакцыя — **запаленне** (мал. 67, с. 148). У яе рэалізацыі прымае ўдзел крывяносная сістэма. Сігналам для пачатку запалення служыць спецыяльнае рэчыва — *гістамін*. Ён вылучаецца пры разбурэнні клетак любых тканак, а таксама прыжыццёва спецыяльнымі лейкацытамі. Пад уплывам гістаміну ўзмацняецца прыток крыві



Мал 67. Умоўная схема запаленай рэакцыі: а — пранікненне ў рану бактэрыі; б — згусанне крыві ў месцы ранення; в — вылучэнне гістаміну; г — выхад лейкоцытаў з крывяноснага сасуда; д — фагацытоз; е — вылучэнне рэчываў, якія прыцягваюць клеткі імуннай сістэмы ў ачаг запалення

у дзеянне. Галоўнымі з іх з'яўляюцца **бялкі сістэмы камлементу**. Яны актывіруюцца і далучаюцца да мембраны чужародных клетак, напрыклад бактэрыі. У выніку клеткі мікраарганізмаў разбураюцца. Іх рэшткі таксама фагацытуюцца лейкоцытамі.

У ахове ад вірусаў важную ролю адыгрываюць іншыя бялкі — **інтэрфероны**. Яны ўтвараюцца ў пашкоджаных клетках і перашкаджаюць размнажэнню ў іх віруса. Пры гэтым заражаныя клеткі вылучаюць інтэрфероны ў тканкавую вадкасць. Малекулы інтэрферонаў стымулююць супрацьвірусны адказ у яшчэ не заражаных клетках шляхам далучэння да адпаведных рэцэптараў гэтых клетак. Гэта абмяжоўвае распаўсюджванне вірусаў ва ўнутраным асяроддзі.

Для лепшага ажыццяўлення ахоўных рэакцый у ачагу запалення падтрымліваецца больш высокая, чым звычайна, тэмпература. Гэта вызначаецца спецыяльнымі рэчывамі, якія выдзяляюцца пры запаленні. Іншыя спецыяльныя рэчывы прыводзяць да ўзнікнення болевых адчуванняў. Боль абмяжоўвае выкарыстанне запаленага органа, што спрыяе больш хуткаму ліквідаванню пашкоджанняў.

Заканчваецца запаленне пасля поўнага знішчэння мікраарганізмаў, якія трапілі ва ўнутранае асяроддзе. Характэрныя для запаленага ўчастка сімптомы (пачырваненне, адчэнасць, павышаная тэмпература, боль) паступова знікаюць, а пашкоджаныя тканкі аднаўляюцца.

да месца пашкоджання і павялічваецца пранікальнасць сценкі капіляраў. У выніку гэтага з крыві ў ачаг запалення паступаюць спецыяльныя ахоўныя бялкі і лейкоцыты.

Лейкацыты паглынаюць рэшткі пашкоджаных клетак і мікраарганізмы, якія трапілі ва ўнутранае асяроддзе. Такая дзейнасць лейкоцытаў называецца **фагацытозам**. Фагацытоз з'яўляецца асобнай ахоўнай рэакцыяй і можа ажыццяўляцца без запалення. Аднак у ачагу запалення ён выяўляецца ў найбольшай ступені.

Ахоўныя бялкі, якія прынесла кроў, таксама ўступаюць



У працэсе запалення ахоўныя рэакцыі ажыццяўляюцца арганізмам сумесна. Пры гэтым кожная з іх спрыяе лепшаму ажыццяўленню іншых.

Аб'ядноўвае гэтыя ахоўныя рэакцыі некалькі агульных рыс. Усе яны належаць да так званага першага ўзроўню аховы. Арганізм гатовы да іх ажыццяўлення ўвесь час. Праяўляюцца яны хутка — на працягу некалькіх мінут ці гадзін. Кожная з іх і ўсе яны комплексна могуць праяўляцца як адказ на розныя фактары, якія шкодзяць арганізму. Напрыклад, запаленне развіваецца падобным чынам у адказ на тэрмічнае (апёк), механічнае (парэз ці драпіна), біялагічнае (уздзеянне бактэрыі і г. д.) пашкоджанні. Усё гэта дазваляе разглядаць ахоўныя ўласцівасці покрыва, фагацытоз, функцыянаванне бялкоў сістэмы камленту і інтэрферонаў як *агульныя (неспецыфічныя) фактары аховы*.

Гэтыя фактары развіліся ў працэсе эвалюцыі віду і перадаюцца па спадчыне. Дзякуючы іх наяўнасці кожная асобіна валодае **відавым (прыроджаным) імунітэтам**. Напрыклад, чалавек не хварэе чумкай сабак, курынай халерай і яшчэ мноствам хвароб другіх відаў. Але ёсць віды ўзбуджальнікаў, якія здольныя пераадольваць ахову першага ўзроўню. Тады дзеянне агульных спецыфічных ахоўных фактараў у кожнага пэўнага чалавека дапаўняецца аховай другога ўзроўню. Гэта прыводзіць да развіцця **індывідуальнага (набытага) імунітэту**. Якім чынам рэалізуецца ахова другога ўзроўню, вы даведаецеся з наступнага параграфа.



Скурнае покрыва і слізистыя абалонкі жывёл перашкаджаюць пранікненню шкодных рэчываў і мікраарганізмаў. Эпідэрміс скуры пастаянна адмірае і злушчваецца, што прыводзіць да выдалення мікраарганізмаў. Уласна скура (дэрма) уяўляе сабой трывалы механічны бар'ер на шляху мікраарганізмаў. Выдзяляемая слізистымі абалонкамі вязкая вадкасць (слізь) перашкаджае ўздзеянню шкодных агентаў на клеткі эпідэрмію. У слізі змяшчаюцца бактэрыцыдныя рэчывы. Пры парушэнні бар'ерных тканак развіваецца запаленне. Да месца запалення перамяшчаюцца лейкоцыты. Яны ажыццяўляюць фагацытоз. У ачагу запалення дзейнічаюць спецыяльныя ахоўныя бялкі — сістэма камленту. Іх дзеянне прыводзіць да разбурэння клетак мікраарганізмаў. Бялкі інтэрфероны ахоўваюць арганізм ад вірусаў. Усё гэта забяспечвае спецыфічную ахову — відавы імунітэт.



1. У чым заключаецца ахоўная функцыя скурнага покрыва?
2. Як слізістыя абалонкі перашкаджаюць пранікненню мікраарганізмаў ва ўнутранае асяроддзе?
3. Якая роля запалення ў ахове арганізма?
4. Што такое фагацытоз? Якія клеткі яго ажыццяўляюць?
5. Ад якіх узбуджальнікаў захворванняў ахоўваюць інтэрфероны?
6. Як дзейнічаюць бялкі сістэмы камплементу?
7. Пералічыце асноўныя фактары аховы, якія забяспечваюць відавы імунітэт.

## § 29. Спецыфічная імунная ахова ўнутранага асяроддзя арганізма

Як вы ўжо ведаеце, неспецыфічная ахова арганізма вызначаецца сумесным дзеяннем скурнага покрыва, слізістых абалонак і некаторых клетак крыві. Яна працуе пастаянна і яе праяўленне не дужа залежыць ад таго, які непажаданы фактар дзейнічае. Дапаўняльная ў адносінах да яе спецыфічная ахова накіравана супраць пэўнага чужароднага агента і не дзейнічае супраць другіх. Яна развіваецца паступова і называецца *імунным адказам*.

Для апісання імунных адказаў даводзіцца выкарыстоўваць спецыяльны тэрмін — *антыген*. Так называюць любое рэчыва, здольнае выклікаць імунны адказ. У медыцыне пад антыгенам могуць разумець пэўнага ўзбуджальніка хваробы, напрыклад вірус ці бактэрыю. З пункту гледжання імуналогіі гэта *складаныя антыгены*, паколькі ў іх састаў уваходзіць мноства розных малекул — простых антыгенаў.



**Імунная сістэма.** Развіццё імунных адказаў на антыгены ў арганізме ажыццяўляецца дзякуючы дзейнасці **імуннай сістэмы**. Яна прадстаўлена спецыялізаванымі органамі, клеткамі і рэчывамі, якія гэтымі клеткамі выдзяляюцца.

Органамі імуннай сістэмы з'яўляюцца *чырвоны касцявы мозг, тымус (вілачкаявая залоза), селязёнка, лімфатычныя вузлы, міндаліны*. Па значнасці іх падзяляюць на першасныя (цэнтральныя) і другасныя (перыферычныя). Да першасных органаў імуннай сістэмы належаць чырвоны касцявы мозг і тымус. У іх фарміруюцца клеткі імуннай сістэмы — лейкоцыты.

Некаторыя лейкоцыты забяспечваюць неспецыфічную ахову арганізма. Яны запускаяюць і падтрымліваюць запаленне, а таксама ажыццяўляюць фагацытоз. Для спецыфічнай аховы арганізма важнымі з'яўляюцца асобныя групы лейкоцытаў: манацыты і лімфацыты.

*Манацыты* ўтвараюцца ў чырвоным касцявым мозгу і трапляюць у крывацёк. Праз некалькі гадзін яны выходзяць праз сценкі капіляраў у розныя тканкі і ператвараюцца ў *тканкавыя макрафагі*.

Утварэнне ўсіх *лімфацытаў* таксама пачынаецца ў чырвоным касцявым мозгу. Для пэўнай групы лімфацытаў (*В-лімфацытаў*) ён з'яўляецца асноўным месцам паспявання. Іншыя лімфацыты паспяваюць у тымусе (*Т-лімфацыты*).

Тканкавыя макрафагі, Т-лімфацыты і В-лімфацыты з'яўляюцца тымі клеткамі імуннай сістэмы, якія забяспечваюць развіццё імуннага адказу.

**Развіццё першаснага імуннага адказу** падзяляюць на некалькі этапаў. На першым этапе адбываецца паглыннанне макрафагамі чужародных часцінак, якія трапілі ва ўнутранае асяроддзе арганізма. Далей макрафагі перамяшчаюцца ў лімфатычныя капіляры і з токам лімфы трапляюць у другасныя органы імуннай сістэмы, напрыклад у лімфатычныя вузлы. Тут ажыццяўляецца другі этап у развіцці спецыфічнай аховы.

У другасныя органы імуннай сістэмы з крываносных капіляраў увесь час паступаюць Т-лімфацыты. Макрафагі кантактуюць з імі, знаходзяць Т-лімфацыты патрэбнай спецыфічнасці і актывуюць іх на размнажэнне. У выніку ў арганізме з'яўляецца мноства клетак, неабходных для барацьбы менавіта з гэтым антыгенам.

Тут важна адзначыць, што Т-лімфацыты адрозніваюцца не толькі па спецыфічнасці да антыгена. Пры паспяванні ў тымусе Т-лімфацыты падзяляюцца на Т-хэлперы і Т-кілеры. *Т-хэлперы* (ад англ. *helper* — памочнік) самі не ўступаюць у барацьбу з чужароднымі агентам, а дапамагаюць актывавацца В-лімфацытам. Для гэтага яны праз крывацёк пераходзяць з аднаго другаснага органа імуннай сістэмы ў другі, затым у наступны і гэтак далей.

В-лімфацыты таксама маюць рэцэптары для антыгенаў. Такімі рэцэптарамі з'яўляюцца замацаваныя ў мембране В-лімфацыта антыцелы. *Антыцелы* — гэта бялковыя малекулы, якія могуць спецыфічна злучацца з антыгенам. Для В-лімфацытаў, як і для Т-лімфацытаў, характэрна вялізная разнастайнасць па спецыфічнасці ў адносінах да антыгенаў. В-лімфацыты таксама пастаянна перамяшчаюцца з аднаго другаснага органа імуннай сістэмы ў другі. Гэта павялічвае верагоднасць сустрэчы Т-хэлпераў, якія з'явіліся на другім этапе, з В-лімфацытам патрэбнай спецыфічнасці.

Калі такая сустрэча ажыццяўляецца, В-лімфацыт атрымлівае ад Т-хэлпера сігнал актывацыі і пачынае дзяліцца. Пры гэтым усе яго нашчадкі захоўваюць уласціваю зыходнай клетцы спецыфічнасць рэцэптараў. Гэта значыць, што і на трэцім этапе развіцця спецыфічнай аховы арганізм у шмат разоў павялічвае колькасць патрэбных клетак.





Большая частка размножаных В-лімфацытаў ператвараецца ў *плазматычныя клеткі (плазмацыты)*. Так называюцца В-лімфацыты, якія з другасных органаў імуннай сістэмы пераходзяць у плазму крыві. Яны сінтэзуюць і выдзяляюць у кроў вялізную колькасць антыцел. Гэтыя антыцелы маюць тую ж спецыфічнасць, што і рэцэптары зыходнага В-лімфацыта. Антыцелы звязваюцца з антыгенам, што спрыяе яго хуткаму знішчэнню фагацытуючымі клеткамі. Сфарміраваная такім чынам спецыфічная ахова называецца **гумаральным імунным адказам**.



§29-1

Спецыфічная ахова з удзелам *T-кілераў* развіваецца ў тых выпадках, калі ўзбуджальнік хваробы ўжо паспеў трапіць у клеткі арганізма. Як вы ўжо ведаеце з раздзела 4, такімі ўзбуджальнікамі часцей за ўсё з'яўляюцца вірусы. У сувязі з тым што вірусы размнажаюцца ўнутры клетак, на іх не могуць уздзейнічаць антыцелы. T-кілеры знішчаюць пашкоджаныя вірусам клеткі і тым самым спрыяюць барацьбе з вірусам. Такая ахова ажыццяўляецца без удзелу антыцел і называецца **імунным адказам клетачнага тыпу**.

Імунны адказ развіваецца на працягу 7—10 дзён. Яны спалучаюцца з фактарамі неспецыфічнай аховы, якія працягваюць дзейнічаць, — запаленнем, фагацытозам, работай сістэмы камлементу і інш. Гэта і дазваляе цалкам ачысціць унутранае асяроддзе арганізма ад чужародных агентаў, прасцей кажучы — чалавек папраўляецца.

Але самае галоўнае тое, што пасля развіцця спецыфічных ахоўных рэакцый (развіцця *першаснага імуннага адказу*) у арганізме ўзнікае **індывідуальны (набыты) імунітэт** да дадзенага ўзбуджальніка. Гэта магчыма таму, што, акрамя першасных імунных адказаў, у арганізме развіваюцца другасныя.

*Другасны імунны адказ*. Яго развіццё засноўваецца на тым, што частка T- і В-лімфацытаў, якія размнажаліся ў ходзе фарміравання першаснага імуннага адказу, становяцца клеткамі, якія доўга жывуць. Яны захоўваюць жыццяздольнасць на працягу некалькіх гадоў, у адрозненне ад звычайных лімфацытаў, якія жывуць некалькі месяцаў. Калі ў арганізм зноў трапляе такі ж антыген, імунны адказ на яго развіваецца на працягу некалькіх гадзін. Так адбываецца таму, што клетак з патрэбнай спецыфічнасцю рэцэптараў у шмат разоў больш, чым перад першасным імунным адказам. Такі хуткі імунны адказ называецца *другасным*. Развіццё другаснага імуннага адказу не дазваляе ўзбуджальніку хваробы размножыцца да такой колькасці, пры якой ён бы мог паспяхова атакаваць арганізм гаспадара. Таму мы нават не заўважаем, што былі інфіцыраваны.

Такім чынам, набыты індывідуальны імунітэт грунтуецца на T- і В-лімфацытах, якія застаюцца ад першаснага імуннага адказу. Дзякуючы



§29-1

іх наяўнасці арганізм, умоўна кажучы, «памытае» пра кожны чужародны агент, які выклікаў імунны адказ. Таму такія клеткі называюць *клеткамі імуналагічнай памяці*.

**Алергія.** Адною з сітуацый, калі імунная сістэма стварае пэўныя праблемы, з'яўляецца развіццё ў людзей асаблівых рэакцый на некаторыя рэчывы. Гэтыя рэакцыі называюцца алергічнымі, а рэчывы, што іх выклікаюць, — *алергенамі*.

У чалавека, які мае павышаную адчувальнасць да таго ці іншага алергена, пры кантактах з ім назіраюцца фізіялагічныя адхіленні ад нормы. Ступень выяўленасці такіх адхіленняў вар'іруе ад лёгкага пачырванення ўчасткаў скуры (дыятэз у дзяцей) да смяротна небяспечных перашкод дыхання.

Найбольш распаўсюджанымі формамі алергіі з'яўляюцца харчовая алергія і алергія на пылок раслін. Нягледзячы на тое што выклікаць алергію могуць многія рэчывы, прафілактыка і аказанне дапамогі пры моцна выяўленых рэакцыях мае агульны характар. Прафілактычныя меры складаюцца ў абмежаванні, па магчымасці, кантакту з алергенам. У выпадку харчовых алергій з рацыёну чалавека выключаюць прадукты, што змяшчаюць алерген. Пры рэакцыі на пылок у час цвіцення многіх раслін (вясна і першая палова лета) абмяжоўваецца знаходжанне ў месцах магчымага кантакту з пылком.

Аказанне дапамогі заключаецца ў выкарыстанні спецыяльных супраць-алергічных прэпаратаў. Іх дзеянне накіравана на зняцце асноўных сімптомаў, якія з'яўляюцца вынікам утварэння гістаміну пры кантакце з алергенам. Як вы ведаеце з папярэдняга параграфу, гістамін спрыяе развіццю запалення. Пры запаленні рэзка змяняецца работа крывяноснай сістэмы. І калі невялікае запаленне ў месцы пашкоджання покрыва прыносіць ужо вядомую вам карысць, то рэакцыя арганізма на вялікую дозу алергена (**алергічная рэакцыя, ці алергія**) моцна парушае нармальны фізіялагічны стан.

Варта памятаць, што супрацьалергічныя прэпараты не вылечваюць ад алергіі. Яны прызначаны для зняцця сімптомаў, таму іх трэба ўжываць або ў перыяд праяўлення рэакцыі, або прафілактычна перад магчымым кантактам з алергенам. Напрыклад, людзям з алергіяй на пылок раслін антыгістамінныя (супрацьалергічныя) прэпараты можна прыняць непасрэдна перад выездам на прыроду.

Даследаванні прычын развіцця алергічных рэакцый з'яўляюцца адным з прыярытэтных напрамкаў у сучаснай імуналогіі і медыцыне. На бліжэйшыя дзесяцігоддзі прагназуецца распрацоўка метадаў лячэння схільных да алергіі людзей.



§29-1



Спецыфічную ахову арганізма — імунны адказ — ажыццяўляюць макрафагі, Т-лімфацыты і В-лімфацыты. У выніку іх паслядоўнага ўзаемадзеяння на працягу некалькіх дзён у арганізме павялічваецца колькасць Т- і В-лімфацытаў, неабходных для барацьбы з пэўным чужародным агентам. В-лімфацыты выпрацоўваюць антыцелы, якія спецыфічна звязваюцца з гэтым агентам і паскараюць яго знішчэнне. Пасля першаснага імуннага адказу ў арганізме на працягу некалькіх гадоў захоўваюцца Т- і В-лімфацыты дадзенай спецыфічнасці — клеткі імуналагічнай памяці. Гэта забяспечвае набыты (індывідуальны) імунітэт. Алергія з'яўляецца адной з праяў дзейнасці імуннай сістэмы. Людзі, схільныя да алергіі, павінны пазбягаць кантакту з алергенам і ўжываць супрацьалергічныя прэпараты.



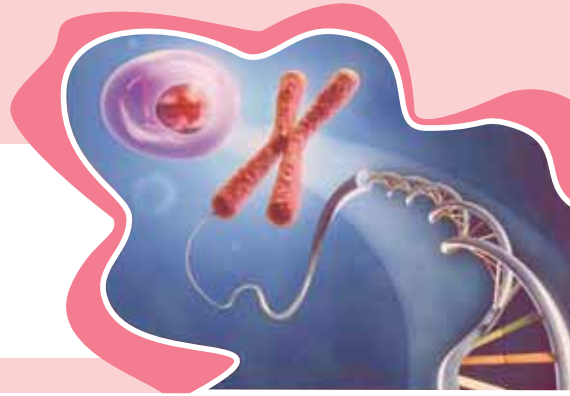
1. Што такое антыген?
2. З чаго складаецца імунная сістэма чалавека?
3. Якія клеткі забяспечваюць спецыфічную ахову арганізма?
4. Якая роля макрафагаў у развіцці імуннага адказу?
5. Чым адрозніваецца гумаральны імунны адказ ад імуннага адказу клетачнага тыпу?
6. На чым заснаваны індывідуальны (набыты) імунітэт?
7. У якіх выпадках дзейнасць імуннай сістэмы можа прыводзіць да непажаданых наступстваў?

ступстваў?

### ПАДВЯДЗЁМ ВЫНІКІ

Мнагаклетачныя арганізмы здольныя ствараць для сваіх клетак аптымальныя ўмовы існавання. Гэтыя ўмовы падтрымліваюцца на працягу ўсяго жыцця арганізма за кошт сумеснай дзейнасці ўсіх яго органаў і сістэм. У раслін такая дзейнасць рэгулюецца з дапамогай фітагармонаў. У жывёл пастаянства ўнутранага асяроддзя падтрымліваецца спецыяльнымі сістэмамі — нервовай і эндакрыннай. Гэтыя сістэмы дзейнічаюць сумесна, што забяспечвае нейрагумаральную рэгуляцыю.

Асаблівую ролю ў падтрыманні гемастазісу ў пазваночных жывёл адыгрывае імунная сістэма. Яна забяспечвае як ахову ўнутранага асяроддзя арганізма ад пранікнення ўзбуджальнікаў хвароб і чужародных рэчываў, так і вызваленне ад іх у выпадку пранікнення. Клеткі імуннай сістэмы — лейкацыты — ажыццяўляюць неспецыфічныя і спецыфічныя ахоўныя рэакцыі, дзякуючы якім у жывёл ёсць віды (прыроджаны) імунітэт, а на працягу жыцця фарміруецца індывідуальны (набыты) імунітэт.



Адной з найважнейшых уласцівасцей усяго жывога з’яўляецца **спадчыннасць** — здольнасць арганізмаў захоўваць свае прыметы і перадаваць іх пры размнажэнні наступным пакаленням. Працэс перадачы спадчыннай (генетычнай) інфармацыі ад аднаго пакалення другому называецца **наследаваннем**. Вам вядома, што большасці відаў эўкарыёт уласціва палавое размнажэнне. У такіх арганізмаў ключавую ролю ў наследаванні адыгрываюць *меёз* і *апладненне*. Пры меёзе ў кожнай асобіны ажыццяўляецца перакамбінацыя генетычнага матэрыялу і яго размеркаванне паміж палавымі клеткамі. У выніку наступнага апладнення адбываецца аб’яднанне спадчыннай інфармацыі (малекул ДНК), якая змяшчаецца ў гаметах абодвух бацькоў, і з зіготы пачынае развівацца новы арганізм.

Успомнім, што ўчасткі малекулы ДНК, якія захоўваюць інфармацыю пра структуру пэўных бялкоў (а таксама рРНК і тРНК), называюцца **генамі**. Вынікам рэалізацыі спадчыннай інфармацыі, якая змяшчаецца ў генах, з’яўляецца сінтэз адпаведных *бялкоў*. Кожны бялок выконвае пэўную функцыю, што вядзе да праяўлення той ці іншай *прыметы* арганізма.

Спадчыннасць забяспечвае пераемнасць паміж пакаленнямі, дзякуючы чаму віды жывых арганізмаў працяглы час здольны захоўваць уласцівыя ім рысы. Аднак разам са спадчыннасцю жывыя арганізмы валодаюць **зменлівасцю** — здольнасцю набываць новыя прыметы, якія адрозніваюць іх ад бацькоўскіх форм. Зменлівасць абумоўлівае разнастайнасць асобін у межах кожнага віду. Гэта пашырае магчымасці адаптацыі відаў жывых арганізмаў да пераменлівых умоў навакольнага асяроддзя.

Такім чынам, спадчыннасць і зменлівасць забяспечваюць стабільнасць і бесперапыннасць існавання жыцця на Зямлі. Вывучэнню гэтых уласцівасцей жывых арганізмаў прысвечаны дадзены раздзел.

## § 30. Монагібрыднае скрыжаванне. Першы і другі законы Мендэля

Заканамернасці спадчыннасці і зменлівасці арганізмаў вывучае **генетыка**. Арсенал гэтай навукі ўключае разнастайныя метады даследаванняў, адным з якіх з'яўляецца *гібрыдалагічны*. Ён заснаваны на скрыжаванні арганізмаў, якія адрозніваюцца па альтэрнатыўных прыметах, з наступным аналізам гэтых прымет у атрыманага патомства. *Альтэрнатыўнымі* называюць прыметы, якія ўзаемна выключаюць адна адну і ў норме не могуць прысутнічаць у арганізма адначасова (рэзус-дадатнасць і рэзус-адмоўнасць у чалавека, жоўтая і зялёная афарбоўка насення гароху і г. д.). Скрыжаванне арганізмаў называецца **гібрыдызацыяй**, а патомкі ад скрыжавання бацькоўскіх асобін, якія адрозніваюцца па адной ці больш парах альтэрнатыўных прымет, — **гібрыдамі**.

Для запісу скрыжаванняў ужываецца наступная сімволіка:

*P* — бацькі (ад лац. *parentale* — бацькоўскі);

♀ — жаночая асобіна; ♂ — мужчынская асобіна; *G* — гаметы;

*F* — патомства (ад лац. *filiale* — даччыны) з адпаведнымі індэксамі пакаленняў: *F*<sub>1</sub>, *F*<sub>2</sub>, *F*<sub>3</sub> і г. д;

значок «×» абазначае скрыжаванне.

**Вывучэнне спадчыннасці Г. Мендэлем.** Асноўныя заканамернасці наследвання прымет упершыню выявіў выдатны аўстрыйскі даследчык Г. Мендэль у сярэдзіне XIX ст. Для таго каб высветліць, як наследуюцца асобныя пары альтэрнатыўных прымет, ён прымяніў гібрыдалагічны метады. Варта адзначыць удалы выбар Г. Мендэлем аб'екта даследаванняў. Ім стаў гарох пасяўны — непатрабавальная расліна, якая лёгка культывуецца і прыносіць шматлікае патомства. З мноства сартоў гароху Г. Мендэль выбраў тыя, якія выразна адрозніваліся па сямі парах альтэрнатыўных прымет (мал. 68).

Гарох — самаапыляльная расліна, таму асобіны размнажаюцца «ў чысціні» — не скрыжоўваюцца з іншымі асобінамі. Важна тое, што Г. Мендэль правяраў «чысціню» кожнага сорту і выкарыстоўваў для правядзення скрыжаванняў толькі тыя расліны, якія ў шэрагу пакаленняў захоўвалі прыметы бацькоўскіх форм. Такія групы арганізмаў прынята называць *чыстымі лініямі*.

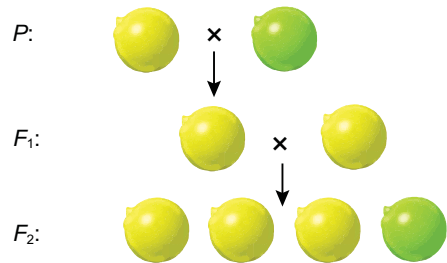
Ішчэ адной важнай асаблівасцю даследаванняў Г. Мендэля было тое, што ён веў дакладны ўлік колькасці патомкаў, якія наследавалі тыя ці іншыя бацькоўскія прыметы. Гэта дазволіла Г. Мендэлю вызначыць колькасныя заканамернасці наследвання прымет.



Мал. 68. Сем пар альтэрнатыўных прымет гароху, наследаванне якіх вывучаў Г. Мендэль

**Монагібрыднае скржыванне. Закон аднастайнасці гібрыдаў першага пакалення.** У ходзе даследаванняў Г. Мендэль спачатку скржжоўваў расліны чыстых ліній, якія адрозніваліся па адной пары альтэрнатыўных прымет, затым па дзвюх і г. д. Скржыванне, пры якім бацькоўскія арганізмы адрозніваюцца адзін ад аднаго па адной пары альтэрнатыўных прымет, называецца **монагібрыдным**.

У адным з эксперыментаў Г. Мендэль вывучаў наследаванне афарбоўкі насення гароху. Ён скржжоўваў расліны, якія выраслі з насення жоўтага колеру, з раслінамі, што выраслі з зялёных гарошын. Для таго каб прадухіліць самаапыленне, Г. Мендэль у раслін аднаго сорту выдаляў у кветках тычынкi, у другога — пясцікі і праводзіў гібрыдызацыю шляхам штучнага апылення. Высвятлілася, што ўсе гібрыдныя расліны першага пакалення мелі насенне жоўтага колеру (мал. 69). Пры гэтым было няважна, як выкарыстоўваліся



Мал. 69. Схема монагібрыднага скржывання

бацькоўскія расліны, якія выраслі з жоўтых гарошын, — у якасці мацярынскіх ці бацькоўскіх. Гібрыды першага пакалення ў любым выпадку былі аднастайнымі па жоўтай афарбоўцы насення:

$P$ : ♀ жоўтае насенне × ♂ зялёнае насенне  
(або ♀ зялёнае насенне × ♂ жоўтае насенне)

$F_1$ : усе расліны маюць жоўтае насенне.

Пры скрыжаванні раслін, якія адрозніваліся па іншых парах альтэрнатыўных прымет, напрыклад па форме пладоў ці афарбоўцы кветак, Г. Мендэль заўважыў, што ва ўсіх выпадках у гібрыдаў першага пакалення праяўлялася толькі адна з дзвюх альтэрнатыўных прымет. З'ява перавагі адных прымет над другімі была названа **дамiнаваннем**, а прыметы, якія пераважаюць, — **дамiнантнымі**. Прыметы, якія не праяўляліся ў гібрыдаў першага пакалення, прынята называць **рэцэсіўнымі**.

Адкрытая Г. Мендэлем заканамернасць носіць назву **закона аднастайнасці гібрыдаў першага пакалення ці першага закона Мендэля**. Паводле гэтага закона пры скрыжаванні асобін чыстых ліній, якія адрозніваюцца па адной пары альтэрнатыўных прымет, гібрыды першага пакалення будуць аднастайнымі па дамiнантнай прымеце.

**Закон расшчаплення.** Шляхам самаапылення гібрыдаў першага пакалення Г. Мендэль атрымаў другое пакаленне, у якім  $\frac{3}{4}$  раслін мелі жоўтае насенне і  $\frac{1}{4}$  — зялёнае (гл. мал. 69). З'яўленне ў патомстве асобін, якія адрозніваюцца па альтэрнатыўных прыметах, называецца **расшчапленнем**. У дадзеным выпадку назіралася расшчапленне **3 : 1**:

$F_1$ : ♀ жоўтае насенне × ♂ жоўтае насенне

$F_2$ : 3 жоўтае насенне : 1 зялёнае насенне.

Аналагічнае расшчапленне было выяўлена і пры даследаванні іншых пар альтэрнатыўных прымет: у другім пакаленні ў 75 % раслін праяўляліся дамiнантныя прыметы, а ў 25 % — рэцэсіўныя. Такім чынам, рэцэсіўныя прыметы, якія не назіраліся ў першым пакаленні, зноў праяўляліся ў  $\frac{1}{4}$  гібрыдаў другога пакалення. Гэта значыць, што дадзеныя прыметы ў гібрыдаў  $F_1$  былі падаўлены і захоўваліся ў скрытым стане, а не знікалі цалкам.

Сутнасць **закона расшчаплення**, ці **другога закона Мендэля**, заключаецца ў тым, што пры скрыжаванні гібрыдаў першага пакалення паміж сабой у другім пакаленні назіраецца расшчапленне па альтэрнатыўных прыметах у суадносінах: **3 часткі асобін з дамiнантнай прыметай да 1 часткі асобін з рэцэсіўнай прыметай**.

Вынікі даследаванняў Г. Мендэля былі апублікаваны ў 1866 г., аднак вучоныя таго часу не надалі ім належнай увагі. Толькі ў 1900 г. трое даследчыкаў з розных краін незалежна адзін ад аднаго выявілі ў розных відаў раслін тыя ж заканамернасці наследавання прымет, што і Г. Мендэль. Пазней справядлівасць законаў Мендэля была пацверджана на жывёлах і іншых арганізмах. Такім чынам высветлілася, што заканамернасці, выяўленыя Г. Мендэлем, носяць універсальны характар. Перадкрыццё законаў Мендэля выклікала глыбокую цікавасць да вывучэння наследавання прымет жывых арганізмаў і спрыяла хуткаму развіццю генетыкі.



Генетыка вывучае спадчыннасць і зменлівасць арганізмаў. Асноўныя заканамернасці наследавання прымет упершыню выявіў Г. Мендэль у сярэдзіне XIX ст. Вывучаючы наследаванне адной пары альтэрнатыўных прымет і выкарыстоўваючы гібрыдалагічны метадад, ён вызначыў, што пры скрыжаванні асобін чыстых ліній, якія адрозніваюцца па адной пары альтэрнатыўных прымет, гібрыды першага пакалення з'яўляюцца аднастайнымі па дамінантнай прымеце (закон аднастайнасці гібрыдаў першага пакалення, ці першы закон Мендэля). Пры скрыжаванні гібрыдаў першага пакалення паміж сабой у другім пакаленні адбываецца расшчапленне па альтэрнатыўных прыметах у суадносінах: 3 часткі асобін з дамінантнай прыметай да 1 часткі асобін з рэцэсіўнай прыметай (закон расшчаплення, ці другі закон Мендэля).



1. Якія ўласцівасці жывых арганізмаў вывучае генетыка?
2. На чым заснаваны гібрыдалагічны метадад генетыкі? Што такое гібрыдызацыя? Якія арганізмы называюцца гібрыдамі?
3. Выберыце пары альтэрнатыўных прымет чалавека.

Карыя вочы — блакітныя вочы, светлыя валасы — кучаравыя валасы, нармальны слых — прыроджаная глухата, праварукасець (праўша) — леварукасець (ляўша), кроў першай групы — рэзус-адмоўнасць.

4. Якія групы арганізмаў называюць чыстымі лініямі?
5. Што ўяўляе сабой монагібрыднае скрыжаванне? Якія заканамернасці выявіў Г. Мендэль на аснове монагібрыднага скрыжавання? Сфармулюйце іх.
- 6\*. Якім чынам можна вызначыць, якая з двох альтэрнатыўных прымет з'яўляецца дамінантнай, а якая — рэцэсіўнай?



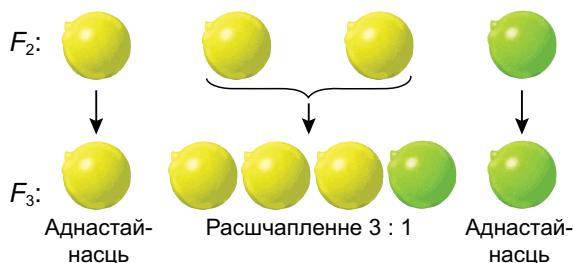
## § 31. Цытылагічныя асновы наследавання прымет пры монагібрыдным скржаванні

**Паняцце пра дамінантныя і рэцэсіўныя гены.** У сваіх далейшых даследаваннях Г. Мендэль вырашыў высветліць, як будучь наследавання прыметы ў трэцім і наступных пакаленнях гібрыдаў. Для гэтага ён даў гібрыдам другога пакалення магчымасць самаапыляцца і атрымаў трэцяе гібрыднае пакаленне.

Было вызначана, што ўсё патомства раслін, атрыманых з зялёных гарошын, было аднастайным і наследавала зялёную афарбоўку насення. Аднак у патомстве раслін, вырашчаных з жоўтага насення, падобнай карціны не назіралася. Толькі  $\frac{1}{3}$  асобін, атрыманых з жоўтага насення, давала аднастайнае патомства з жоўтымі гарошынамі. У той жа час  $\frac{2}{3}$  асобін давалі ў патомстве расшчапленне ў наступных суадносінах: 3 часткі — жоўтыя і 1 частка — зялёныя (мал. 70).

Для тлумачэння атрыманых вынікаў Г. Мендэль выказаў меркаванне пра тое, што прыметы арганізма кантралююцца асаблівымі спадчыннымі фактарамі. Паводле гіпотэзы Г. Мендэля, дамінантная прымета вызначаецца дамінантным фактарам, а рэцэсіўная прымета — рэцэсіўным фактарам. Гэтыя фактары спадчыннасці перадаюцца ад бацькоўскіх асобін патомству праз палавыя клеткі. У далейшым спадчынныя фактары, якія абумоўліваюць праяўленне тых ці іншых прымет, сталі называць **генамі**. Дамінантныя гены прынята абазначаць вялікімі літарамі (напрыклад, *A*), рэцэсіўныя — маленькімі (*a*).

Г. Мендэль выказаў меркаванне, што кожнай прымеце пэўнай асобіны адпавядаюць два фактары, адзін з якіх атрыманы ад бацькоўскага арганізма, а другі — ад мацярынскага. Таму ў выніку монагібрыднага скржавання, пры якім бацькі адрозніваліся, напрыклад, колерам насення, усе гібрыды першага пакалення мелі як спадчынны фактар *A* (які абумоўліваў жоўтую афарбоўку), так і фактар *a* (адказны за зялёны колер насення). Паколькі фактар *A* дамінуе над фактарам *a*, ва ўсіх гібрыдаў  $F_1$  праяўлялася жоўтая афарбоўка насення.



Мал. 70. Схема наследавання афарбоўкі насення гароху пры атрыманні гібрыдаў трэцяга пакалення

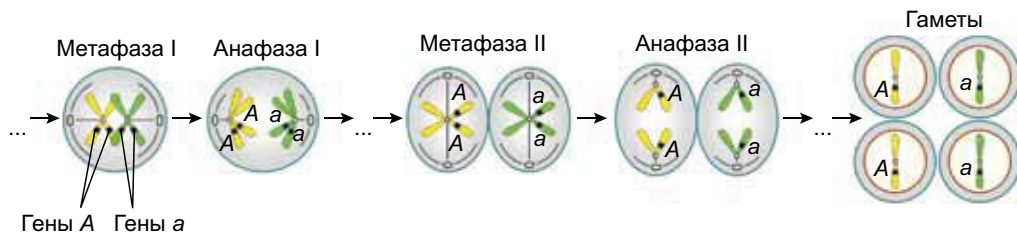
Г. Мендэль таксама меркаваў, што кожны гібрыд першага пакалення ўтварае два тыпы палавых клетак: адна палова гамет змяшчае фактар  $A$ , другая палова —  $a$ . Такім чынам, парныя спадчынныя фактары пры ўтварэнні палавых клетак падзяляюцца і ў кожную гамету трапляе толькі адзін з іх.

**Паняцце пра алельныя гены.** Цыталагічныя асновы наследавання прымет пры монагібрыдным скрыжаванні. Толькі пасля таго, як былі адкрыты храмасомы, апісаны іх паводзіны пры мітозе і меёзе і даказана, што гены размяшчаюцца ў храмасомах, меркаванні Г. Мендэля знайшлі навуковае пацверджанне.

Гены, якія кантралююць розныя (альтэрнатыўныя) формы праяўлення прыметы, называюцца **алельнымі генамі** ці **алелямі**. Вызначана, што **алельныя гены размяшчаюцца ў аднолькавых участках (локусах) гамалагічных храмасом**. Такім чынам, у любога дыплоіднага арганізма праяўленне той ці іншай прыметы вызначаецца як мінімум *двума* алельнымі генамі.

Сукупнасць усіх генаў арганізма называюць **генатыпам**. У дачыненні да асобнай прыметы словам «генатып» абазначаюць камбінацыю алельных генаў, якія кантралююць дадзеную прымету. Арганізмы, якія маюць аднолькавыя алельныя гены, называюцца **гомазіготамі**. Адрозніваюць дамінантныя гомазіготы (іх генатып можна запісаць як  $AA$ ) і рэцэсіўныя гомазіготы ( $aa$ ). Асобіны, якія маюць розныя алельныя гены, называюцца **гетэразіготамі**, іх генатып можна абзначыць як  $Aa$ .

Гаметы ўтвараюцца ў выніку меёзу і змяшчаюць гаплоідны набор храмасом. Успомнім, што ў анафазе I гамалагічныя храмасомы, якія змяшчаюць алельныя гены, разыходзяцца да процілеглых полюсаў клеткі, што дзеліцца, і ў канчатковым выніку трапляюць у розныя гаметы (мал. 71). Такім чынам, два алельныя гены не могуць апынуцца ў адной і той жа палавой клетцы. У кожную гамету трапляе толькі адзін з іх.



Мал. 71. Схема працэсаў, якія адбываюцца пры меёзе і ляжаць у аснове монагібрыднага скрыжавання

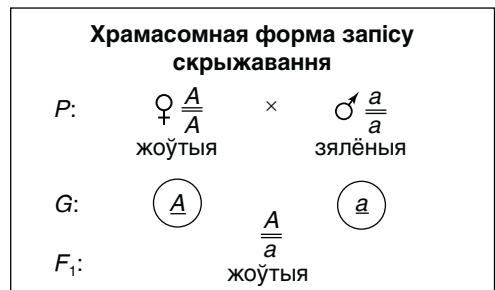
Гомазіготныя арганізмы маюць аднолькавыя алельныя гены, таму ў іх фарміруецца толькі адзін тып гамет. У асобін з генатыпам  $AA$  ўсе палавыя клеткі змяшчаюць ген  $A$ , у арганізмаў з генатыпам  $aa$  ўсе гаметы змяшчаюць ген  $a$ . Гетэразіготныя асобіны ( $Aa$ ) утвараюць два тыпы гамет у роўных суадносінах: 50 % палавых клетак змяшчаюць алель  $A$ , 50 % — алель  $a$ .

Пры апладненні гаплоідныя гаметы бацькоў зліваюцца з утварэннем дыплоіднай зіготы. У зігоце храмасомы зноў становяцца парнымі. У кожнай пары гамалагічных храмасом адна з'яўляецца мацярынскай, а другая — бацькоўскай. Значыць, у кожнага нашчадка развіццё той ці іншай прыметы будзе вызначацца двума алельнымі генамі, прычым адзін з іх унаследаваны ад маці, а другі — ад бацькі.

Вернемся да эксперыменту, у якім Г. Мендэль вывучаў наследаванне афарбоўкі насення гароху. Абазначым дамінантны ген, які абумоўлівае жоўтую афарбоўку, літарай  $A$ , і рэцэсіўны ген, што вызначае зялёную афарбоўку, —  $a$ . Паколькі Г. Мендэль выкарыстоўваў у якасці бацькоўскіх форм асобін чыстых ліній, іх генатыпы трэба запісаць як  $AA$  і  $aa$ . Абодва бацькі — гомазіготы, кожны з іх утварае гаметы толькі аднаго тыпу: у асобіны з генатыпам  $AA$  фарміруецца толькі гаметы  $A$ , у асобіны з генатыпам  $aa$  — толькі гаметы  $a$ .

Зліццё гамет прывяло да ўтварэння зігот, з якіх развіліся гібрыды першага пакалення. Відавочна, што ўсе яны мелі генатып  $Aa$  і жоўтую афарбоўку насення (дамінантны ген цалкам падавіў праяўленне рэцэсіўнага).

Запішам дадзенае монагібрыднае скрыжаванне. Найбольш распаўсюджанымі формамі запісу скрыжаванняў з'яўляюцца *генная* і *храмасомная*. У першым выпадку гены запісваюць «у радок», без указання храмасом (напрыклад,  $Aa$ ). У другім выпадку пры запісе генатыпаў алельныя гены размяшчаюць адзін над адным. Пры гэтым дзвюма рыскамі абазначаюць гамалагічныя храмасомы, у якіх гэтыя гены змяшчаюцца (напрыклад,  $\frac{A}{a}$ ). Тут і далей выкарыстоўвайце адну з форм запісу (па ўказанні настаўніка).



Сукупнасць прымет і ўласцівасцей арганізма называюць **фенатыпам**. Калі гаворка ідзе пра пэўнае скрыжаванне, паняццем «фенатып» абазначаюць тую прымету (ці прыметы), якая ў гэтым скрыжаванні даследуецца. Напрыклад, у разгледжаным выпадку можна сказаць, што гібрыды першага пакалення мелі аднолькавы фенатып — жоўты колер насення.

Гібрыды першага пакалення — гетэразіготы ( $Aa$ ), у іх утвараюцца два тыпы гамет ( $A$  і  $a$ ) у роўных суадносінах. Зліццё гамет носіць выпадковы характар, таму пры апладненні фарміруюцца розныя тыпы зігот:  $AA$ ,  $Aa$  і  $aa$ .

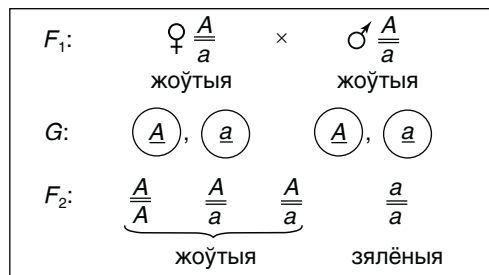
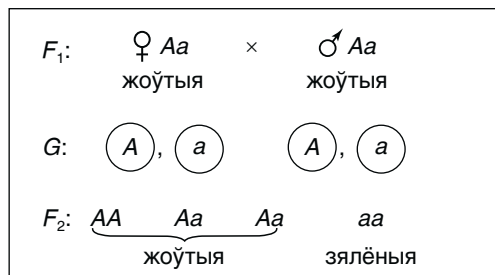
Каб наглядна паказаць усе варыянты зліцця гамет і разлічыць верагоднасць з'яўлення патомства з рознымі генатыпамі і фенатыпамі, можна пабудаваць табліцу, якая называецца *рашоткай Пенэта* (упершыню такія табліцы прапанаваў выкарыстоўваць англійскі генетык Р. Пенэт). У рашотцы Пенэта па гарызанталі запісваюць гаметы аднаго з бацькоў, па вертыкалі — гаметы другога. У клетках на скрыжаванні радкоў і слупкоў паказваюць генатыпы і фенатыпы асобін, якія ўзнікаюць пры зліцці адпаведных гамет (мал. 72).

$F_1$ :		♀ $Aa$	×	♂ $Aa$
	♂	(A)		(a)
♀	(A)	$AA$ жоўтыя		$Aa$ жоўтыя
	(a)	$Aa$ жоўтыя		$aa$ зялёныя

Мал. 72. Рашотка Пенэта

Як бачна з пабудаванай рашоткі, у гетэразіготных бацькоўскіх форм утвараецца патомства з трыма генатыпамі ў суадносінах:  $1AA : 2Aa : 1aa$ . Такім чынам, **расшчапленне па генатыпе складае 1 : 2 : 1**. Верагоднасць з'яўлення нашчадкаў кожнага тыпу можна паказаць і ў працэнтах: 25 %  $AA$ , 50 %  $Aa$ , 25 %  $aa$ .

Расшчапленне па прымеце, якая даследуецца, такое:  $\frac{3}{4}$  асобін з жоўтым насеннем (75 %) і  $\frac{1}{4}$  — з зялёным (25 %). Значыць, **расшчапленне па фенатыпе складае 3 : 1**.



Хоць расліны з жоўтым насеннем знешне выглядаюць аднолькава, генетычна яны неаднастайныя ( $AA$  і  $Aa$ ). Становяцца зразумелымі прычыны розных «паводзін» іх патомства ў трэцім і наступных пакаленнях. Пры самаапыленні сярод нашчадкаў дамінантных гомазігот  $AA$  не будзе назірацца расшчаплення, як і сярод нашчадкаў рэцэсіўных гомазігот  $aa$ . Гетэразіготныя асобіны  $Aa$  будуць даваць у патомстве расшчапленне  $3 : 1$ .

Такім чынам, цыталагічнымі асновамі першага і другога законаў Мендэля з'яўляюцца разыходжанне гамалагічных храмасом у анафазе I меёзу і выпадковае зліццё (спалучэнне) гамет пры апладненні.



Гены, якія вызначаюць развіццё альтэрнатыўных прымет, называюцца алельнымі. Генатып — гэта сукупнасць генаў, фенатып — сукупнасць прымет і ўласцівасцей той ці іншай асобіны. Кожная прымета дыплоіднага арганізма кантралюецца двума алельнымі генамі, прычым адзін з іх унаследаваны ад маці, а другі — ад бацькі. Асобіны, якія маюць аднолькавыя алельныя гены, называюцца гомазіготамі. Яны ўтвараюць гаметы толькі аднаго тыпу. Арганізмы, якія маюць розныя алелі, называюцца гетэразіготамі. Яны фарміруюць два тыпы гамет у роўных суадносінах. У аснове заканамернасцей монагібрыднага скрыжавання, вызначаных Г. Мендэлем, ляжыць разыходжанне гамалагічных храмасом у меёзе і выпадковае зліццё гамет пры апладненні.



1. Якія гены называюцца алельнымі? Дзе размяшчаюцца алельныя гены?
2. Дайце азначэнні паняццяў «фенатып», «генатып», «гомазігота», «гетэразігота».
3. Чаму тая ці іншая прымета арганізма ў большасці выпадкаў вызначаецца двума алельнымі генамі? Чаму пры ўтварэнні гамет у кожную трапляе толькі адзін алельны ген з пары?
4. Якія цыталагічныя з'явы ляжаць у аснове заканамернасцей, выяўленых Г. Мендэлем?
- 5\*. У чалавека кары колер вачэй цалкам дамінуе над блакітным. Ці магчыма нараджэнне блакітнавокага дзіцяці ў сям'і, дзе абодва бацькі каравокія? Калі магчыма, то ў якім выпадку і з якой верагоднасцю? Калі немагчыма, то чаму?
- 6\*. Дзве шэрыя самкі-пацукі былі скрыжаваны з белым самцом. У патомстве першай самкі — 7 шэрых дзіцянят, у патомстве другой — 5 белых і 4 шэрых. Які колер шэрці дамінуе? Запішыце абодва скрыжаванні.

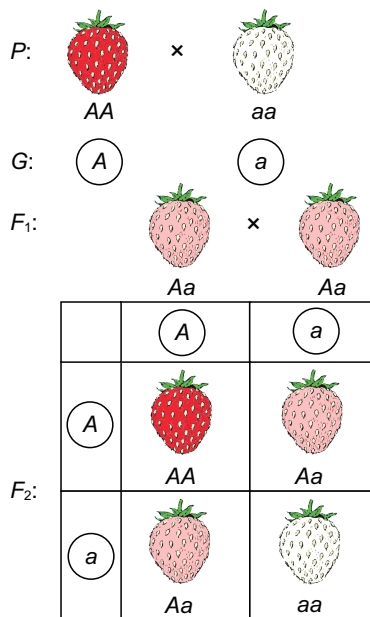
## § 32. Узаемадзеянне алельных генаў. Аналізуючае скрываўанне

**Узаемадзеянне алельных генаў.** Вы ведаеце, што гены, якія кантралююць альтэрнатыўныя формы праяўлення пэўнай прыметы, называюцца алельнымі. Вядома некалькі тыпаў узаемадзеяння алельных генаў.

**Поўнае дамінаванне** — узаемадзеянне, пры якім дамінантны алель цалкам падаўляе праяўленне рэцэсіўнага алеля. У выніку гэтага дамінантная прымета праяўляецца як у гомазігот  $AA$ , так і ў гетэразігот  $Aa$ . Поўнае дамінаванне — найбольш распаўсюджаны тып узаемадзеяння алельных генаў. Напрыклад, у гароку жоўты колер насення цалкам дамінуе над зялёным, а гладкая паверхня — над маршчыністай. У чалавека кары колер вачэй цалкам дамінуе над блакітным, рэзус-дадатнасць — над рэзус-адмоўнасцю, праварукасць — над леварукасцю, шасціпаласць — над пяціпаласцю (нармальнай колькасцю пальцаў рук) і г. д.

Некаторыя алельныя гены ўзаемадзейнічаюць па тыпе **няпоўнага дамінавання**. У гэтым выпадку дамінантная прымета праяўляецца толькі пры наяўнасці двух дамінантных алеляў у генатыпе ( $AA$ ). Калі ж арганізм гетэразіготны ( $Aa$ ), г. зн. мае толькі адзін дамінантны алель, у фенатыпе праяўляецца прымета, *прамежкая* паміж дамінантнай і рэцэсіўнай.

Няпоўнае дамінаванне назіраецца, напрыклад, пры наследаванні афарбоўкі пладоў<sup>1</sup> суніц. У гэтай расліны гомазіготныя асобіны маюць або чырвоныя ( $AA$ ), або белыя ( $aa$ ) плады (мал. 73). Калі скрываваць такія расліны, ва ўсіх гібрыдаў першага пакалення праявіцца прамежкая прымета — ружовая афарбоўка пладоў.



Расшчэпленне 1 : 2 : 1

Мал. 73. Няпоўнае дамінаванне на прыкладзе наследавання афарбоўкі пладоў суніц

<sup>1</sup> З курса біялогіі 7-га класа вам вядома, што дробныя плодзікі суніц, якія развіліся з завязей, знаходзяцца на паверхні разрослага кветаложа. Яно не з'яўляецца сапраўдным плодам, але тут для спрашчэння ўмовімся называць гэту структуру плодам.

Пры няпоўным дамінаванні прымета гетэразіготных асобін адрозніваецца ад прымет абедзвюх гомазігот. З прычыны гэтага ў другім пакаленні назіраецца расшчапленне па фенатыпе не  $3 : 1$ , як пры поўным дамінаванні, а  $1 : 2 : 1$ . Такім чынам, у выпадку няпоўнага дамінавання расшчапленне па фенатыпе супадае з расшчапленнем па генатыпе. У нашым прыкладзе адна частка гібрыдаў другога пакалення наследуе чырвоны колер пладоў (AA), дзве часткі — ружовы (Aa) і адна частка — белы (aa).

Трэба адзначыць, што пры няпоўным дамінаванні паняцці «дамінантны ген (прымета)» і «рэцэсіўны ген (прымета)» з'яўляюцца ўмоўнымі. Іх можна выкарыстоўваць выключна дзеля зручнасці. Так, для разгледжанага вышэй прыкладу можна сказаць, што ў суніц чырвоная афарбоўка пладоў не поўнасцю дамінуе над белай, або наадварот — белая не поўнасцю дамінуе над чырвонай.

Па тыпе няпоўнага дамінавання наследуюцца і іншыя прыметы жывых арганізмаў. Некаторыя з іх прадстаўлены ў табліцы 15 (не для запамінання).

Табліца 15. Некаторыя прыметы, пры наследванні якіх назіраецца няпоўнае дамінаванне

Арганізм	Прыметы гомазігот	Прымета гетэразігот (прамежкавая)
Чалавек	Кучаравыя ці прамыя валасы	Хвалістыя валасы
Курыца	Чорнае ці белае апярэнне	Шэрае апярэнне
Радыска	Доўгія ці круглыя караняплоды	Авальныя караняплоды
Начная прыгажуня (расліна)	Чырвоныя ці белыя кветкі	Ружовыя кветкі

Яшчэ адным тыпам узаемадзеяння алельных генаў з'яўляецца **кадамінаванне**. У выпадку кадамінавання ў гетэразіготных асобін цалкам праяўляюцца абодва алельныя гены. Класічным прыкладам кадамінавання з'яўляецца ўзаемадзеянне генаў у чалавека з кроўю чацвёртай групы (па сістэме АВ0).

Групы крыві 0, А, В і АВ вызначаюцца генам I. Вядомыя тры віднасці гэтага гена:  $I^A$ ,  $I^B$ ,  $I^0$ . Алельныя гены  $I^A$  і  $I^B$  поўнасцю дамінуюць над  $I^0$ , а паміж сабой узаемадзейнічаюць па тыпе кадамінавання.

Ген  $I^A$  абумоўлівае наяўнасць на мембранах эрытрацытаў антыгена А, ген  $I^B$  вызначае наяўнасць іншага антыгена — В. Такім чынам, у людзей з генатыпамі  $I^A I^A$  і  $I^A I^0$  эрытрацыты нясуць толькі антыген А — гэта кроў *другой* (А) групы. У людзей з генатыпамі  $I^B I^B$  і  $I^B I^0$  чырвоныя крывяныя клеткі змяшчаюць толькі антыген В — гэта кроў *трэцяй* (В) групы. Чалавек з генатыпам  $I^0 I^0$  мае кроў *першай* (0) групы — на паверхні яго эрытрацытаў адсутнічаюць антыгены А і В.

У гетэразігот з генатыпам  $I^A I^B$  гены  $I^A$  і  $I^B$  не падаўляюць праўленне адзін аднаго, а кадамінуюць. Кожны з іх у поўнай меры выконвае сваю функцыю, таму эрытрацыты змяшчаюць абодва антыгены (А і В). У выніку гэтага ўзнікае якасна новая прымета — кроў *чацвёртай* групы (АВ).

**Множны алелізм.** Афарбоўка насення гароху, наследаванне якой вывучаў Г. Мендэль, вызначаецца двума алелямі — дамінантным і рэцэсіўным. Аднак многія гены прадстаўлены не двума, а большым лікам алеляў. Напрыклад, ген, які вызначае ў чалавека групы крыві (па сістэме АВ0), як ужо адзначалася, існуе ў трох формах —  $I^A$ ,  $I^B$ ,  $I^0$ .

З'ява існавання гена больш чым ў дзвюх алельных формах называецца **множным алелізмам**. Пры гэтым у любога арганізма, саматычныя клеткі якога змяшчаюць дыплоідны набор храмасом, ёсць не больш за два алелі кожнага гена.

Множныя алелі нярэдка ўтвараюць серыі, у якіх кожны папярэдні алель дамінуе ў адносінах да наступных. Так, ген, які вызначае колер шэрсці труса, прадстаўлены некалькімі алельнымі формамі (мал. 74). Пры гэтым алель  $C$ , які абумоўлівае чорную афарбоўку, дамінуе над алелямі шыншылавай ( $c^{ch}$ ), гімалайскай ( $c^h$ ) і белай ( $c^a$ ) афарбоўкі. Ген, які кантралюе шыншылавую афарбоўку, дамінуе над генамі, што вызначаюць гімалайскую і белую. І нарэшце, алель  $c^h$  дамінантны ў адносінах



а

б

в

г

Мал. 74. Афарбоўка шэрсці трусаў:

а — чорная; б — шыншылавая; в — гімалайская; г — белая



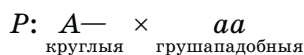


да алеля  $c^a$ . Гэта можна паказаць у выглядзе:  $C > c^{ch} > c^h > c^a$ . Падобным чынам узаемадзейнічаюць гены, якія кантралююць афарбоўку вачэй у пладовай мушкі дразафілы (чырвоная > каралавая > вішнёвая > абрыко-савая і г. д. да белай), форму белых плям на лістах канюшыны паўзучай і інш.

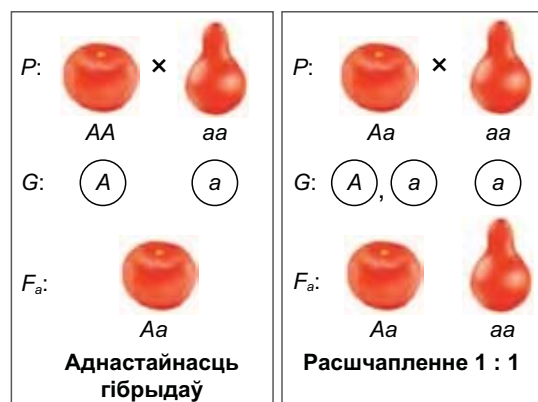
**Аналізуючае скржаванне.** Пры поўным дамінаванні аднаго алеля над другім арганізмы з дамінантным фенатыпам могуць мець розныя генатыпы —  $AA$  ці  $Aa$ . Як вызначыць генатып асобіны, якая валодае дамінантнай прыметай? Гэта можна зрабіць па выніках скржавання даследуемай асобіны з рэцэсіўнай гомазіготай ( $aa$ ). Такое скржаванне называецца **аналізуючым**.

Напрыклад, у таматаў ген, які вызначае з'яўленне круглых пладоў, поўнаасцю дамінуе над генам, які абумоўлівае грушападобную форму. Дапусцім, што трэба вызначыць генатып расліны з круглымі пладамі. Увядзём абазначэнні адпаведных генаў:  $A$  — круглыя плады,  $a$  — грушападобныя. Даследуемая расліна можа мець генатып  $AA$  або  $Aa$ . У гэтым выпадку запісваюць *фенатыпічны радыкал* — тую частку генатыпу, якая вызначае фенатып арганізма. У нашым выпадку фенатыпічны радыкал трэба запісаць у выглядзе  $A$ —.

Скржавуем даследуемую асобіну з рэцэсіўнай гомазіготай, г. зн. з раслінай, якая мае грушападобныя плады:



Разгледзім два варыянты аналізуючага скржавання (мал. 75), выкарыстоўваючы два магчымыя генатыпы расліны, якая даследуецца  $AA$  і  $Aa$ . Патомства, атрыманае пры аналізуючым скржаванні, прынята абазначаць як  $F_a$ . Звярніце ўвагу, што ў першым выпадку ў патомстве назіраецца аднастайнасць гібрыдаў, а ў другім — расщяпленне 1 : 1.



Мал. 75. Аналізуючае скржаванне

Звярніце ўвагу, што ў першым выпадку ў патомстве назіраецца аднастайнасць гібрыдаў, а ў другім — расщяпленне 1 : 1.

Такім чынам, калі патомства, атрыманае пры аналізуючым скржаванні, *аднастайна* па дамінантнай прымеце, то асобіна, якая аналізуецца, з'яўляецца гомазіготнай ( $AA$ ). Калі ж у патомстве назіраецца *расщяпленне*, арганізм, які даследуецца, з'яўляецца гетэразіготным ( $Aa$ ).

Такім чынам, **аналізуючае скрыжаванне** — гэта скрыжаванне асобіны, якая мае дамінантны фенатып, з гомазіготнай рэцэсіўнай асобінай для выяўлення генатыпу асобіны, якая аналізуецца.

На прыкладзе аналізуючага скрыжавання вы пераканаліся, што на аснове прымет атрыманага патомства можна вызначаць генатыпы бацькоўскіх форм. У шэрагу выпадкаў вынікі праведзеных скрыжаванняў дазваляюць таксама вызначыць тып узаемадзеяння генаў, асаблівасці іх фенатыпічнага праяўлення і г. д. (табл. 16).

Табліца 16. Вывады, якія можна зрабіць на аснове вынікаў монагібрыднага скрыжавання

З'ява, якая назіраецца ў патомстве	Інфармацыя пра бацькоўскія асобіны і асаблівасці ўзаемадзеяння генаў
Аднастайнасць гібрыдаў па дамінантнай прымеце	Бацькі — гомазіготы, напрыклад $AA \times aa$ , поўнае дамінаванне
Аднастайнасць гібрыдаў па прамежкавай прымеце	Бацькі — гомазіготы, напрыклад $AA \times aa$ , няпоўнае дамінаванне
Распчачленне 3 : 1	Бацькі — гетэразіготы, напрыклад $Aa \times Aa$ , поўнае дамінаванне
Распчачленне 1 : 2 : 1 (50 % патомкаў з прамежкавай прыметай)	Бацькі — гетэразіготы, напрыклад $Aa \times Aa$ , няпоўнае дамінаванне
Распчачленне 1 : 1	Адзін з бацькоў гетэразіготны, другі гомазіготны, напрыклад $Aa \times aa$ (пры няпоўным дамінаванні таксама $Aa \times AA$ )



Асноўнымі тыпамі ўзаемадзеяння алельных генаў з'яўляюцца поўнае дамінаванне, няпоўнае дамінаванне і кадамінаванне. Пры поўным дамінаванні дамінантны алель цалкам прыгнятае праяўленне рэцэсіўнага, у выніку чаго гетэразіготы валодаюць дамінантнай прыметай. У выпадку няпоўнага дамінавання ў гетэразігот праяўляецца прымета, прамежкавая паміж дамінантнай і рэцэсіўнай. Пры кадамінаванні алельныя гены раўнацэнна ўдзельнічаюць у фарміраванні якасна новай прыметы ў гетэразіготнай асобіны. Існаванне гена больш чым у дзвюх алельных формах называюць множным алелізмам. Аналізуючае скрыжаванне — гэта скрыжаванне асобіны, якая мае дамінантны фенатып, з гомазіготнай рэцэсіўнай асобінай. Па яго выніках можна вызначыць генатып асобіны, якая аналізуецца.



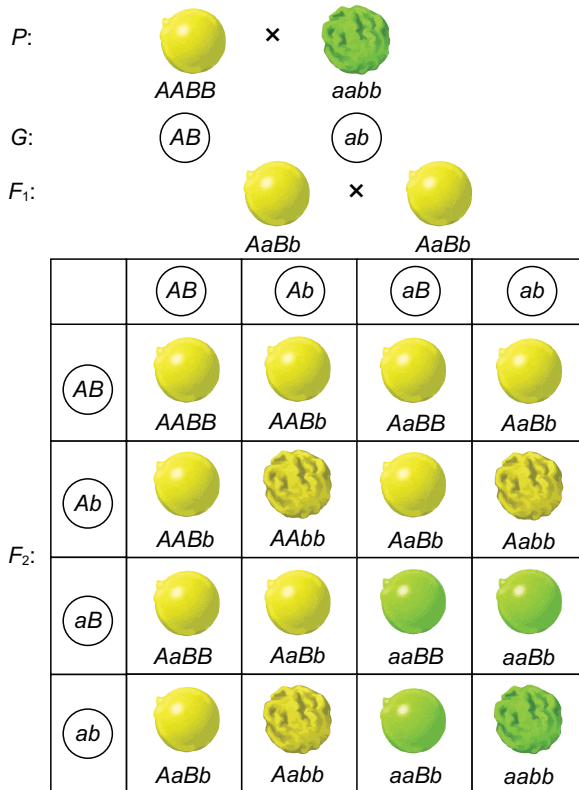
1. Якія тыпы ўзаемадзеяння алельных генаў вам вядомы?
2. Чым поўнае дамінаванне адрозніваецца ад няпоўнага? Прывядзіце прыклады.
3. Дапусцім, што ў пэўнага віду раслін шырокія лісты дамінуюць над вузкімі. Скрыжавалі дзве гетэразіготныя расліны. Патомства з якімі фенатыпамі і ў якіх суадносінах трэба чакаць, калі гены, што кантралююць шырыню лістоў, узаемадзейнічаюць па тыпе поўнага дамінавання? Па тыпе няпоўнага дамінавання?
4. Што такое кадамінаванне? Які тып ўзаемадзеяння назіраецца паміж генамі  $I^B$  і  $I^O$ , што вызначаюць групу крыві чалавека? Паміж генамі  $I^A$  і  $I^B$ ?
5. Якую з'яву называюць множным алелізмам? Ці можа ў пэўнага чалавека быць тры розныя алелі, якія вызначаюць групу крыві (па сістэме ABO)? Чаму?
6. Што ўяўляе сабой аналізуючае скрываўванне? Як па выніках аналізуючага скрываўвання можна вызначыць генатып асобіны, якая валодае дамінантным фенатыпам?
- 7\*. У Івана і Марыі цацвёрра дзяцей. Усе яны маюць розныя групы крыві: I, II, III і IV. Вызначыце групы крыві і генатыпы Івана і Марыі.
- 8\*. Афарбоўка апярэння ў курэй наследуецца па тыпе няпоўнага дамінавання (чорнае апярэннае дамінуе над белым, прамежавая прымета — шэрае апярэннае). Шэрых курэй скрываўвалі з шэрымі пёўнямі. Вядома, што яшчэ да апладнення гіне 70 % гамет, якія нясуць рэцэсіўны алель, і 30 % гамет, што нясуць дамінантны алель. Вызначыце працэнтныя суадносіны нашчадкаў з усімі магчымымі фенатыпамі.

## § 33. Дыгібрыднае скрываўванне. Трэці закон Мендэля

**Дыгібрыднае скрываўванне. Закон незалежнага наследавання прымет.** Скрываванне, пры якім бацькоўскія асобіны адрозніваюцца па дзвюх парах альтэрнатыўных прымет, называюць **дыгібрыдным**. Калі бацькі адрозніваюцца па многіх парах альтэрнатыўных прымет, скрываўванне называецца **полігібрыдным**.

Вызначыўшы заканамернасці наследавання асобных пар альтэрнатыўных прымет з дапамогай монагібрыднага скрываўвання, Г. Мендэль прыступіў да доследаў па дыгібрыдным скрываўванні. Ён правёў серыю эксперыментаў, у якіх ажыццяўляў гібрыдызацыю чыстых ліній гароху, што адрозніваліся па дзвюх парах прымет. Так, у адным з доследаў бацькоўскія асобіны адрозніваліся па афарбоўцы насення і форме яго паверхні (мал. 76). Адны расліны мелі жоўтае гладкае насенне, другія — зялёнае маршчыністае. У першым пакаленні назіралася аднастайнасць гібрыдаў — усе яны мелі жоўтае гладкае насенне. Значыць, у гароху жоўтая афарбоўка поўнаасцю дамінуе над зялёнай, а гладкая паверхня — над маршчыністай.

Шляхам самаапылення гібрыдаў першага пакалення Г. Мендэль атрымаў другое пакаленне. У адпаведнасці з законам расшчаплення ў гібрыдаў  $F_2$  праявіліся не толькі дамінантныя, але і рэцэсіўныя прыметы.



Мал. 76. Дыгібрыднае скрываўанне раслін гароху, якія адрозніваюцца колерам і паверхняй насення (A — жоўтае, a — зялёнае, B — гладкае, b — маршчыністае)

Пры гэтым назіраліся ўсе магчымыя спалучэнні прымет насення: жоўтае гладкае, жоўтае маршчыністае, зялёнае гладкае і зялёнае маршчыністае ў суадносінах **9 : 3 : 3 : 1**.

Такім чынам, было атрымана патомства чатырох фенатыпічных класаў: дамінантныя па абедзвюх прыметах —  $\frac{9}{16}$ ; дамінантныя па першай прымеце і рэцэсіўныя па другой —  $\frac{3}{16}$ , рэцэсіўныя па першай і дамінантныя па другой —  $\frac{3}{16}$ , рэцэсіўныя па абедзвюх прыметах —  $\frac{1}{16}$  частка.

Прааналізуем наследаванне кожнай пары альтэрнатыўных прымет асобна. Жоўты колер мелі 12 частак насення, зялёны — 4 часткі. Такім чынам, расшчапленне па афарбоўцы насення складае 3 : 1, як і пры монагібрыдным скрываўанні. Такая ж карціна назіраецца і пры аналізе расшчаплення па форме паверхні насення — 12 гладкіх і 4 маршчыністых,

г. зн. 3 : 1. Гэта гаворыць пра тое, што пры дыгібрыдным скрыжаванні расшчапленне па кожнай пары альтэрнатыўных прымет адбываецца *незалежна*. Значыць, дыгібрыднае скрыжаванне, у сутнасці, уяўляе сабой два незалежныя монагібрыдных.

У наступных доследах Г. Мендэль вызначыў, што незалежнае наследаванне прымет назіраецца і пры полігібрыдным скрыжаванні. Дадзеная заканамернасць была названа **законам незалежнага наследавання прымет ці трэцім законам Мендэля**. Гэты закон гучыць наступным чынам: **пры скрыжаванні асобін, якія адрозніваюцца па дзвюх і больш парах альтэрнатыўных прымет, гены і адпаведныя ім прыметы наследуюцца незалежна і камбінуюцца ва ўсіх магчымых спалучэннях**.

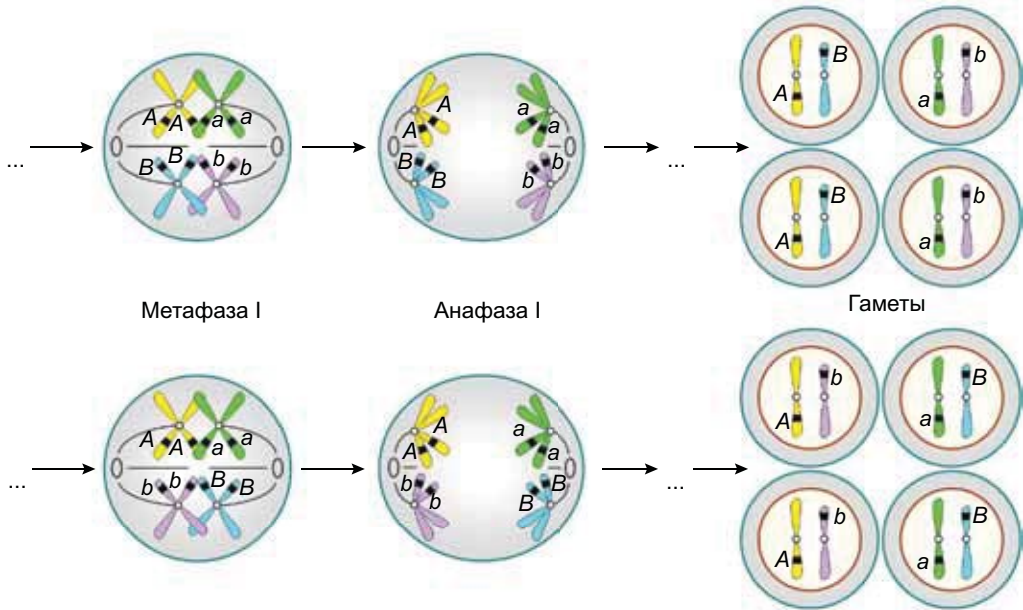
**Цыталагічныя асновы закона незалежнага наследавання прымет.**

У разгледжаным эксперыменце Г. Мендэль вывучаў наследаванне дзвюх пар альтэрнатыўных прымет. Відавочна, што колер насення і форма яго паверхні вызначаюцца дзвюма рознымі парамі генаў. Абазначым алель жоўтай афарбоўкі *A*, зялёнай — *a*, гладкай формы — *B*, маршчыністай — *b*.

Гены, якія кантралююць розныя пары прымет (г. зн. неальтэрнатыўныя прыметы), называюцца **неалельнымі**. Яны размяшчаюцца ў **розных парах храмасом** ці ў **розных участках (локусах) гамалагічных храмасом**. У дадзеным выпадку гены, якія вызначаюць афарбоўку (*A* і *a*), неалельныя ў адносінах да генаў, што абумоўліваюць форму паверхні насення (*B* і *b*). Уявім, што гэтыя пары алеляў знаходзяцца ў негамалагічных храмасомах, г. зн. у розных парах храмасом.

Бацькоўскія расліны маюць генатыпы *AABB* і *aabb*. Арганізмы, гомазіготныя па дзвюх парах генаў, называюцца *дыгомазіготамі*. У гаметы трапляе *па адным гене з кожнай пары*. Значыць, у дыгомазіготных бацькоў фарміруецца толькі адзін тып гамет: у аднаго — *AB*, у другога — *ab*. У выніку апладнення развіваецца першае пакаленне гібрыдаў. Усе яны маюць жоўтае гладкае насенне, што абумоўлена генатыпам *AaBb*. Асобіны, гетэразіготныя па дзвюх парах генаў, называюцца *дыгетэразіготамі*. Колькі тыпаў гамет утвараюць дыгетэразіготныя асобіны?

Вам вядома, што ў анафазе I меёзу гамалагічныя храмасомы расцягваюцца да розных полюсаў клеткі. Пры гэтым разыходжанне кожнай пары храмасом адбываецца незалежна ад іншых пар. Негамалагічныя храмасомы разыходзяцца да полюсаў выпадкова, утвараючы розныя камбінацыі (мал. 77). Такім чынам, ген *A* можа апынуцца ў адной палавой клетцы з генам *B* ці з генам *b*. Менавіта гэтак жа ген *a* можа трапіць у адну гамету з генам *B* або з генам *b*. У выніку гэтага дыгетэразіготныя асобіны ўтвараюць чатыры тыпы гамет: *AB*, *Ab*, *aB*, *ab* у роўных суадносінах — па 25 %.



Мал. 77. Схema незалежнага разыходжання гамалагічных храмасом і ўтварэння гамет у дыгетэразіготнай асобіны

Выпадковае зліццё палавых клетак пры апладненні вядзе да ўтварэння розных тыпаў зігот, а значыць, і нашчадкаў. Выкарыстоўваючы фенатыпічныя радыкалы, расшчапленне па фенатыпе ў другім гібрыдным пакаленні (пры ўмове, што алелі кожнай пары ўзаемадзейнічаюць па тыпе поўнага дамінавання) можна запісаць у выглядзе:

$$9A-B- : 3A-bb : 3aaB- : 1aabb.$$

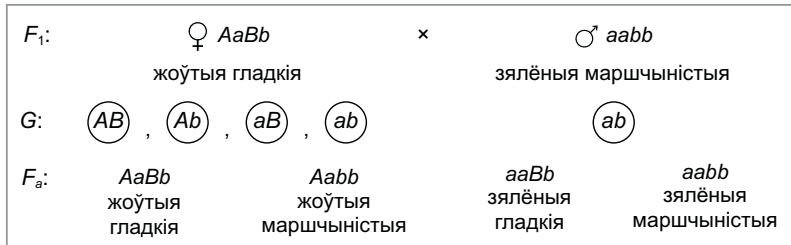
Такім чынам, у аснове незалежнага наследавання ляжыць:

1) выпадковае разыходжанне негамалагічных храмасом у анафазе I меёзу, якое прыводзіць да ўтварэння гамет з рознымі камбінацыямі генаў;

2) выпадковае зліццё гамет пры апладненні, што абумоўлівае фарміраванне розных тыпаў зігот.

Даказаць, што ў дыгетэразіготнай асобіны ўтвараюцца палавыя клеткі чатырох тыпаў, прычым у роўных суадносінах, можна з дапамогай аналізуючага скрываўвання. Для гэтага дыгетэразіготны гарох, які мае жоўтае гладкае насенне, скрываўваем з рэцэсіўнай дыгомазіготай.

У патомстве будзе назірацца чатыры фенатыпічныя і генатыпічныя класы ў суадносінах  $1 : 1 : 1 : 1$ , г. зн. па 25 %. Гэта сведчыць пра роўнаверагоднае фарміраванне чатырох тыпаў гамет у таго з бацькоў, якога аналізуець.



Гены, якія кантралююць развіццё розных (неальтэрнатыўных) прымет, называюцца неалельнымі. Яны могуць размяшчацца ў розных парах храмасом (у негамалагічных храмасомах) або ў розных локусах гамалагічных храмасом. Калі неалельныя гены знаходзяцца ў негамалагічных храмасомах, то ў ходзе меэзу гены кожнай пары выпадковым чынам, незалежна ад іншых пар, размяркоўваюцца паміж гаметамі. Гэта вядзе да фарміравання палых клетак з рознымі спалучэннямі генаў. Выпадковае зліццё гамет пры апладненні прыводзіць да ўтварэння розных тыпаў зігот. Гэтыя з'явы ляжаць у аснове незалежнага наследавання прымет, якое назіраў Г. Мендэль у доследах па дыгібрыдным і полігібрыдным скрыжаванні. Ён вызначыў, што пры скрыжаванні асобін, якія адрозніваюцца па дзвюх і больш парах альтэрнатыўных прымет, гены і адпаведныя ім прыметы наследуюцца незалежна і камбінуюцца ва ўсіх магчымых спалучэннях. Гэта заканамернасць названа законам незалежнага наследавання прымет ці трэцім законам Мендэля.



1. Што ўяўляе сабой дыгібрыднае скрыжаванне? Полігібрыднае?
2. У чым заключаецца сутнасць закона незалежнага наследавання? Якія цыталогічныя асновы абумоўліваюць незалежнае наследаванне генаў і адпаведных ім прымет?
3. Якое расшчапленне па генатыпе і па фенатыпе будзе назірацца ў патомстве, калі дыгетэразіготную асобіну падвергнуць аналізуючаму скрыжаванню? Якое расшчапленне па фенатыпе назіраецца ў выніку скрыжавання дыгетэразігот паміж сабой?
4. Выпішыце ўсе тыпы гамет, якія ўтвараюць асобіны з генатыпамі:  $AAbb$ ,  $AaBb$ ,  $aaBb$ ,  $AaBbDd$ .

**5\***. Афарбоўка кветак начной прыгажуні наследуецца па тыпе няпоўнага дамінавання (чырвоныя кветкі дамінуюць над белымі, у гетэразігот кветкі ружовыя), а высокае сцябло поўнасю дамінуе над карлікавым. Скрыжоўваюць дзве дыгетэразіготныя расліны. Колькі працэнтаў раслін першага пакалення ўнаследуюць: а) карлікавае сцябло і ружовыя кветкі; б) высокае сцябло і чырвоныя кветкі; в) карлікавае сцябло і белыя кветкі; г) высокае сцябло і ружовыя кветкі?

**6\***. У чалавека цёмны колер валасоў поўнасю дамінуе над светлым, а нармальны слых — над прыроджанай глухатой. У светлавалосага мужчыны, глухога з нараджэння, ёсць цёмнавалосы сын з нармальным і дачка са светлымі валасамі, у якой выявілася спадчынная глухата. Вызначыце генатып маці гэтых дзяцей. Якая верагоднасць нараджэння ў гэтай сям’і дзіцяці з фенатыпам маці?



§33-1

## § 34. Храмасомная тэорыя спадчыннасці

Як ужо адзначалася, Г. Мендэль, які вызначыў найважнейшыя заканамернасці наследавання, выказаў меркаванне пра існаванне асаблівых спадчынных фактараў, што кантралуюць прыметы жывых арганізмаў. Аднак матэрыяльная прырода гэтых фактараў, пасля названых генамі, доўгі час заставалася нявысветленай. Толькі ў пачатку XX ст., пасля пераадкрыцця законаў Г. Мендэля, цытолагі звярнулі ўвагу на сувязь гіпатэтычных спадчынных фактараў з паводзінамі храмасом пры меёзе і апладненні. У 1902—1903 гг. нямецкі эмбрыёлаг Т. Боверы і амерыканскі цытолаг У. Сатан (прозвішчы прыведзены не для запамінання) незалежна адзін ад аднаго прыйшлі да высновы, што менавіта храмасомы і з’яўляюцца носьбітамі мендэлеўскіх фактараў. Аднак вучоныя не змаглі прад’явіць выразныя доказы сваёй праваты, таму іх меркаванне на працягу некалькіх гадоў так і заставалася «храмасомнай гіпотэзай».

**Храмасомная тэорыя спадчыннасці. Счэпленне наследавання.** Пераканаўчыя доказы таго, што гены размяшчаюцца ў храмасомах, былі атрыманы ў 1910 г. амерыканскім генетыкам, будучым лаўрэатам Нобелеўскай прэміі (1933 г.) Т. Морганам. Шматлікія эксперыменты Моргана і яго супрацоўнікаў прывялі да шэрага найважнейшых адкрыццяў, якія леглі ў аснову **храмасомнай тэорыі спадчыннасці**. Адно з палажэнняў гэтай тэорыі можна сфармуляваць наступным чынам: **гены размешчаны ў храмасомах у лінейным парадку і займаюць пэўныя ўчасткі — локусы, прычым алейныя гены знаходзяцца ў аднолькавых локусах гамалагічных храмасом**.

Закон незалежнага наследавання (трэці закон Мендэля) справядлівы толькі ў тым выпадку, калі неалельныя гены знаходзяцца ў розных парах храмасом. Аднак колькасць генаў у жывых арганізмаў значна большая



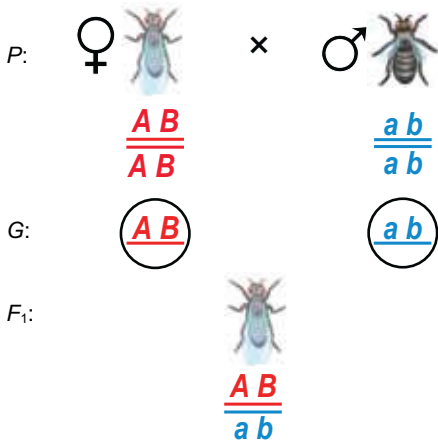
за лік храмасом. Напрыклад, у чалавека каля 25 тыс. генаў, а колькасць храмасом — 23 пары ( $2n = 46$ ), у пладовай мушкі дразафілы прыблізна 14 тыс. генаў і ўсяго 4 пары храмасом ( $2n = 8$ ). Такім чынам, кожная храмасома змяшчае мноства генаў. Ці будуць гены, лакалізаваныя ў адной храмасоме, наследавацца незалежна? Відавочна, што не.

**Гены, размешчаныя ў адной храмасоме, утвараюць групу счэплення і наследаюцца разам.** Такое сумеснае наследаванне генаў Т. Морган назваў **счэпленым наследаваннем** (у адрозненне ад незалежнага). Гамалагічныя храмасомы кожнай пары змяшчаюць гены, якія кантралююць адны і тыя ж прыметы, таму **колькасць груп счэплення роўна ліку пар храмасом**. Напрыклад, у чалавека 23 групы счэплення, а ў дразафілы — 4.

Вам вядома, што пры незалежным наследаванні дыгетэразіготная асобіна, напрыклад  $\frac{A}{a} \frac{B}{b}$ , утварае чатыры тыпы гамет у роўных суадносінах, г. зн. па 25 %:  $\underline{AB}$ ,  $\underline{Ab}$ ,  $\underline{aB}$  і  $\underline{ab}$ . Гэта абумоўлена тым, што неалельныя гены знаходзяцца ў розных парах храмасом. Калі ж яны размешчаны ў гамалагічных храмасомах, трэба было б чакаць, што дыгетэразігота  $\frac{AB}{ab}$  будзе ўтвараць толькі два тыпы гамет: 50 %  $\underline{AB}$  і 50 %  $\underline{ab}$ . Звярніце ўвагу на тое, што счэпленыя гены запісваюцца ў адну храмасому.

Аднак Т. Морган выявіў, што ў большасці выпадкаў дыгетэразіготныя асобіны ўтвараюць не два тыпы гамет, а чатыры. Акрамя чаканых  $\underline{AB}$  і  $\underline{ab}$ , фарміруюцца таксама гаметы з новымі камбінацыямі генаў:  $\underline{Ab}$  і  $\underline{aB}$ , але ў меншых працэнтных суадносінах, чым пры незалежным наследаванні. Разгледзім адзін з доследаў, у якім Т. Морган вывучаў наследаванне счэпленых генаў у дразафілы.

Чыстую лінію дразафіл, якія маюць шэрае цела і нармальныя (доўгія) крылы, скрыжавалі з чыстай лініяй, асобіны якой мелі чорнае цела і зачаткавыя крылы (мал. 78). Атрыманыя гібрыды першага пакалення ў адпаведнасці з першым законам Мендэля былі аднастайнымі — шэрымі з нармальна развітымі крыламі. Такім чынам, у дразафілы шэрае цела (A) поўнасю дамінуе над чорным (a), а нармальныя кры-



Мал. 78. Скрыжаванне чыстых ліній дразафілы

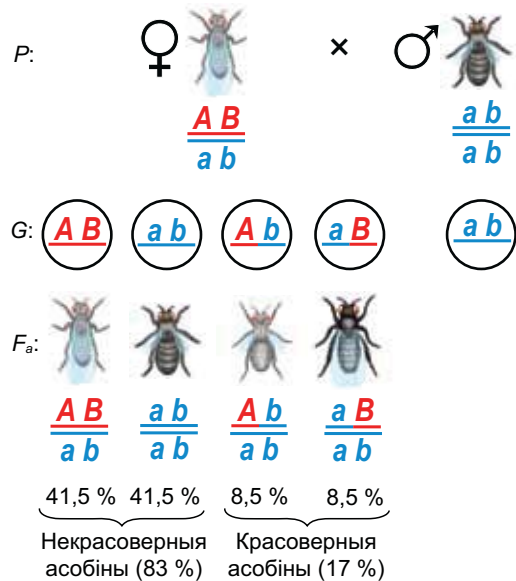
лы ( $B$ ) — над зачаткавымі ( $b$ ). Усе гібрыды першага пакалення — дыгетэразіготы.

Затым было праведзена аналізуючае скрыжаванне (мал. 79). Дыгетэразіготную самку з гібрыднага пакалення скрыжавалі з рэцэсіўным дыгомазіготным самцом (чорнае цела і зачаткавыя крылы). У патомстве было атрымана па 41,5 % асобін з шэрым целам, нармальнымі крыламі і чорным целам, зачаткавымі крыламі, а таксама па 8,5 % мух з шэрым целам, зачаткавымі крыламі і чорным целам, нармальнымі крыламі.

Калі 6 гены, якія вызначаюць колер цела і развіццё крылаў, знаходзіліся ў розных парах храмасом, суадносіны фенатыпічных класаў былі б роўныя — па 25 %. Але гэтага не назіралася, значыць, гены знаходзяцца ў гамалагічных храмасомах і наледуюцца счэплена.

Нягледзячы на счапленне генаў, самка  $\frac{AB}{ab}$  утварала не два, а чатыры тыпы гамет. Аднак гамет з зыходнымі спалучэннямі счэпленых генаў фарміравалася значна больш ( $AB$  і  $ab$  разам склалі 83 %), чым з новымі іх камбінацыямі (сума  $Ab$  і  $aB$  роўна 17 %).

Было высветлена, што прычынай з'яўлення храмасом з новымі камбінацыямі бацькоўскіх генаў з'яўляецца **кросінговер**. Вы ведаеце, што гэты працэс адбываецца ў прафазе I меёзу і ўяўляе сабой абмен адпаведнымі ўчасткамі паміж гамалагічнымі храмасомамі. Такім чынам, **кросінговер перашкаджае поўнаму (абсалютнаму) счапленню генаў**. Гаметы, якія ўтвараюцца ў выніку кросінговера, і асобіны, якія развіваюцца пры ўдзеле такіх гамет, называюцца *красовернымі* ці *рэкамбінантнымі*. У разгледжаным эксперыменце гаметы  $Ab$  і  $aB$  з'яўляліся красовернымі, а гаметы  $AB$  і  $ab$  — некрасовернымі (гл. мал. 79).



Мал. 79. Аналізуючае скрыжаванне дыгетэразіготнай самкі дразафілы



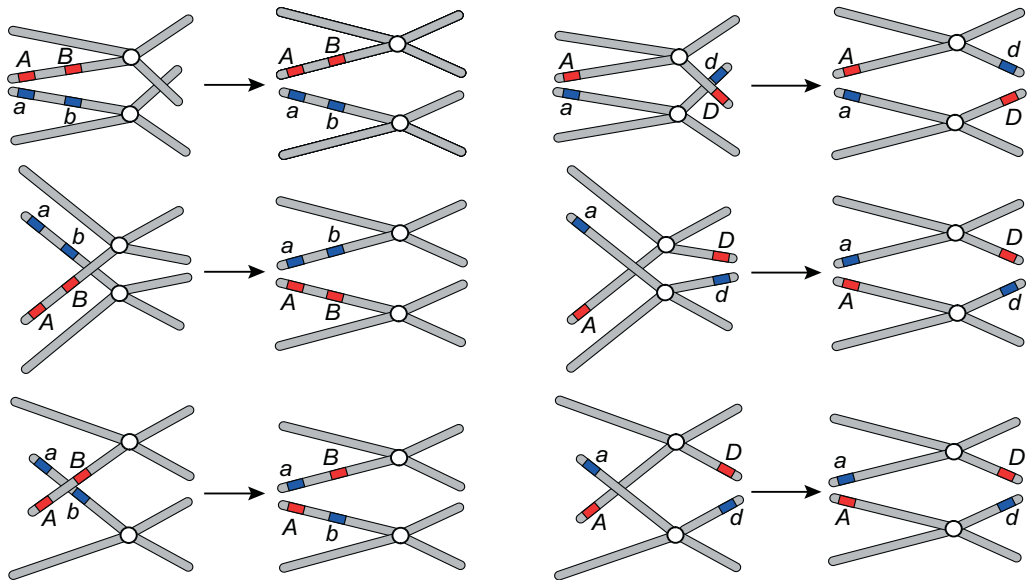
Кросінговер паміж счэпленымі генамі адбываецца з пэўнай верагоднасцю (частатой). Для разліку частаты кросінгвера ( $rf$ , ад англ. *recombination frequency* — частата рэкамбінацыі) можна карыстацца наступнай формулай:

$$rf = \frac{\text{сума красоверных гамет (асобін)}}{\text{агульная колькасць гамет (асобін)}} \times 100 \%$$

Такім чынам, паміж генамі  $A$  і  $B$ , якія кантралююць колер цела і даўжыню крылаў дразафілы, кросінговер адбываецца з частатой:  $rf_{AB} = 17 \%$ .

Далейшыя даследаванні, праведзеныя Т. Морганам і супрацоўнікамі яго лабараторыі, паказалі, што **частата кросінгвера прапарцыянальная адлегласці паміж генамі, размешчанымі ў адной храмасоме**. Чым *большая* адлегласць паміж счэпленымі генамі, тым *часцей* паміж імі адбываецца кросінговер. І наадварот, чым *бліжэй* адзін да аднаго размешчаны гены, тым *меншая* частата кросінгвера паміж імі. Чым тлумачыцца гэта заканамернасць?

У прафазе I меэзу пры кан'югацыі гамалагічных храмасом узаемны абмен участкамі паміж храматыдамі ажыццяўляецца адвольна, у любым іх пункце. Разгледзім малюнак 80.



Адлегласць паміж генамі  $A$  і  $B$  невялікая, таму кросінговер паміж імі адбываецца адносна рэдка

Адлегласць паміж генамі  $A$  і  $D$  намнога большая, таму кросінговер паміж імі адбываецца значна часцей

Мал. 80. Схемы розных варыянтаў кросінгвера паміж гамалагічнымі храмасомамі

Гены  $A$  і  $B$  (ці  $a$  і  $b$ ) знаходзяцца параўнальна блізка адзін да аднаго. Верагоднасць таго, што абмен адбудзецца менавіта на ўчастку, які падзяляе гэтыя гены, невялікая. Гены  $A$  і  $D$  (ці  $a$  і  $d$ ) размяшчаюцца на значнай адлегласці адзін ад аднаго. Таму верагоднасць таго, што храматыды здзейсяць абмен у якім-небудзь пункце паміж гэтымі генамі, нашмат вышэйшая. Значыць, чым большая адлегласць паміж генамі, тым часцей яны падзяляюцца пры кросінговеры.

Такім чынам, частата кросінговера дазваляе судзіць пра адлегласць паміж генамі. У гонар Т. Моргана адзінка вымярэння адлегласці паміж генамі атрымала назву *марганіда* ці, што тое ж самае, *сантыморган* (сМ).

**Марганіда (сантыморган, сМ)** — гэта генетычная адлегласць, на якой кросінговер адбываецца з верагоднасцю 1 %.

Кросінговер адыгрывае вельмі важную біялагічную ролю. У выніку гэтага працэсу ў патомства ўзнікаюць новыя камбінацыі бацькоўскіх генаў, што павялічвае генетычную разнастайнасць арганізмаў і пашырае магчымасці іх адаптацыі да розных умоў навакольнага асяроддзя.

**Генетычныя карты.** Як паказалі эксперыменты Т. Моргана, вынікі аналізуючага скржжавання даюць магчымасць вызначаць частату кросінговера паміж счэпленымі генамі і меркаваць пра адлегласць паміж імі. Выкарыстанне даных, атрыманых ад мноства аналізуючых скржжаванняў з рознымі камбінацыямі счэпленых генаў, дазваляе вучоным састаўляць так званыя генетычныя карты (мал. 81). *Генетычная карта храмосомы* — гэта схема ўзаемнага размяшчэння генаў, якія знаходзяцца



Мал. 81. Спрощаная схема генетычнай карты другой храмосомы дразафілы

ў адной групе счাপлення, пабудаваная з улікам адлегласцей паміж імі. Такія карты ўжо састаўлены для чалавека і многіх другіх відаў жывых арганізмаў, напрыклад для мышы, дразафілы, гароху, пшаніцы, кукурузы, тамату, дражджэй і г. д.

Генетычныя карты знаходзяць шырокае ўжыванне ў навуковых даследаваннях і практычнай дзейнасці чалавека. Веданне генетычных карт дазваляе прадказваць характар наследавання тых ці іншых прымет. Выкарыстанне гэтых даных у селекцыі і генетычнай інжынерыі спрыяе планаванню работы па атрыманні арганізмаў з пэўнымі спалучэннямі прымет. Параўнанне генетычных карт розных відаў арганізмаў дае магчымасць вызначаць ступень іх роднасці, меркаваць пра магчымыя шляхі эвалюцыйных пераўтварэнняў спадчыннага матэрыялу.



Даследаванні Т. Моргана і яго супрацоўнікаў леглі ў аснову храмасомнай тэорыі спадчыннасці, асноўнымі палажэннямі якой з'яўляюцца наступныя.

1. Гены ў храмасомах размешчаны лінейна, у пэўнай паслядоўнасці. Апельныя гены знаходзяцца ў аднолькавых локусах гамалагічных храмасом.
2. Гены, размешчаныя ў адной храмасоме, утвараюць групу счাপлення і наследуюцца разам. Колькасць груп счাপлення роўна ліку пар храмасом.
3. Счাপленне генаў можа парушацца ў выніку кросінговера, які адбываецца пры кан'югацыі гамалагічных храмасом у прафазе I меёзу.
4. Частата кросінговера прапарцыянальная адлегласці паміж генамі: чым большая адлегласць, тым вышэйшая частата кросінговера і наадварот.
5. За адзінку адлегласці паміж счэпленымі генамі прынята 1 марганіда (1 сантыморган, сМ). Гэта адлегласць, на якой кросінговер адбываецца з верагоднасцю 1 %.

Схемы ўзаемага размяшчэння генаў, якія знаходзяцца ў адной групе счاپлення, пабудаваныя з улікам адлегласцей паміж імі, называюць генетычнымі картамі храмасом. Такія карты выкарыстоўваюцца ў навуковых даследаваннях і розных сферах практычнай дзейнасці чалавека.



1. Ці заўсёды выконваецца III закон Г. Мендэля? У якіх выпадках гены наследуюцца незалежна, а ў якіх — счэплена?
2. Чаму частата кросінговера паміж счэпленымі генамі залежыць ад адлегласці паміж імі?

3. Что ўяўляюць сабой генетычныя карты храмасом? Для чаго яны выкарыстоўваюцца?
4. Сфармулюйце асноўныя палажэнні храмасомнай тэорыі спадчыннасці.
5. Якія тыпы гамет і ў якіх працэнтных суадносінах будуць фарміраваць дыгетэразіготныя асобіны  $\frac{AB}{ab}$  і  $\frac{Ab}{aB}$ , калі вядома, што адлегласць паміж генамі *A* і *B* складае 20 марганід?

6\*. Шэры колер цела ў дразафілы дамінуе над жоўтым, чырвоныя вочы — над гранатавымі. Гены, якія адказваюць за гэтыя прыметы, лакалізаваны ў першай пары храмасом і знаходзяцца на адлегласці 44 марганіды. Скрыжавалі чыстыя лініі шэрацельных мух з гранатавымі вачамі і жоўтацельных з чырвонымі вачамі. З атрыманых гібрыдаў выбралі самку і ажыццявілі з ёй аналізуючае скрыжаванне. Якімі будуць працэнтныя суадносіны фенатыпічных класаў у патомстве?

## § 35. Генетыка полу

**Паняцце полу і палавых прымет.** З даўніх часоў людзі задаваліся пытаннем: чаму ў адных і тых жа бацькоў з'яўляюцца нашчадкі рознага полу і ў сувязі з чым у большасці раздзельнаполых арганізмаў назіраюцца прыкладна аднолькавыя суадносіны мужчынскіх і жаночых асобін? Выказвалася мноства гіпотэз, але толькі ў XX ст. дзякуючы даследаванням у галіне цыталогіі і генетыкі ўдалося выявіць механізм вызначэння і наследавання полу.

**Пол** — гэта сукупнасць марфалагічных, фізіялагічных, біяхімічных і іншых прымет арганізма, якія забяспечваюць узнаўленне сабе падобных. Адрозніваюць першасныя і другасныя палавыя прыметы. Найўнасць у асобін спецыялізаваных органаў, якія прымаюць непасрэдны ўдзел у размнажэнні (палавых залоз пэўнага тыпу і іншых рэпрадуктыўных органаў) адносяць да *першасных* палавых прымет. *Другасныя* палавыя прыметы — гэта фенатыпічныя адрозненні мужчынскіх і жаночых асобін, напрамую не звязаныя з працэсам размнажэння. Напрыклад, у чалавека і шэрага іншых млекакормячых асобіны рознага полу адрозніваюцца па памерах і прапорцыях цела, асабліва сцяжх валасянога покрыва, тэмбру голасу і г. д. Як вы ведаеце, прыметы (у тым ліку і палавыя) кантралююцца генамі. Такім чынам, пол арганізма павінен вызначацца генетычна.

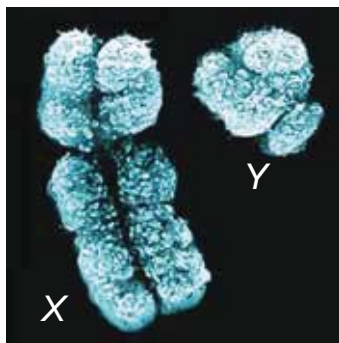
**Храмасомнае вызначэнне полу.** Даследаванне карыятапаў многіх відаў жывёл і чалавека паказала, што ў мужчынскіх і жаночых асобін ёсць адрозненні ў адной пары храмасом. У далейшым было выяўлена, што гэтыя храмасомы і вызначаюць пол арганізма, таму яны атрымалі назву **палавых храмасом**. Усе астатнія пары храмасом, аднолькавыя ў асобін мужчынскага і жаночага полу, былі названы **аўтасомамі**.

У саматычных клетках чалавека змяшчаецца 23 пары храмасом: 22 пары аўтасом і 1 пара палавых храмасом (мал. 82). У клетках мужчынскага арганізма палавыя храмасомы рэзка адрозніваюцца па памеры і будове (мал. 83). Адна з іх буйная, нераўнаплечая, змяшчае вялікую колькасць генаў — гэта **X-храмасома** (*ікс*). Другая храмасома дробная, палачкападобная, змяшчае параўнальна мала генаў. Яна была названа **Y-храмасомай** (*ігрэк*). У клетках жаночага арганізма чалавека палавыя храмасомы аднолькавыя — дзве X-храмасомы.



Мал. 82. Храмасомны набор чалавека

Абазначыўшы аўтасомы літарай А, можна запісаць храмасомны набор жанчыны ў выглядзе:  $44A + XX$ , мужчыны —  $44A + XY$ . Пры ўтварэнні гамет у кожную з іх трапляе палова аўтасом і адна з палавых храмасом. Значыць, у жаночым арганізме ўтвараецца *адзін* тып яйцаклетак: усе яны маюць набор храмасом  $22A + X$ . У мужчын фарміруюцца *два* тыпы сперматазоідаў у роўных суадносінах:  $22A + X$  і  $22A + Y$ .

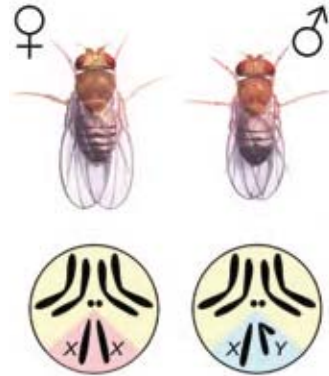


Мал. 83. Палавыя храмасомы чалавека

Калі яйцаклетку апладняе сперматазоід, які змяшчае X-храмасому, з зіготы развіваецца жаночы арганізм. Калі ў апладненні ўдзельнічае сперматазоід з Y-храмасомай, з зіготы развіваецца дзіця мужчынскага полу. Такім чынам, у чалавека пол дзіцяці залежыць ад тыпу сперматазоіда бацькі. Паколькі абодва тыпы мужчынскіх гамет утвараюцца з аднолькавай верагоднасцю, у патомстве назіраецца **расшчачленне па поле 1 : 1**.

Гэтак жа, як у чалавека, адбываецца вызначэнне полу ў большасці іншых млекакормячых, некаторых насякомых (напрыклад, у дразафілы), многіх двухдомных раслін. Напрыклад, у саматычных клетках дразафілы 4 пары храмасом: 3 пары аўтасом і 1 пара палавых храмасом (мал. 84). Храмасомны набор самак дразафілы:  $6A + XX$ , самцоў —  $6A + XY$ .

Пол, які мае аднолькавыя палавыя храмосомы і, адпаведна, утварае адзін тып гамет, прынята называць **гомагаметным**. Пол, які фарміруе два тыпы гамет, называецца **гетэрагаметным**. Пры  $XY$ -тыпе вызначэння полу жаночы пол з’яўляецца гомагаметным, а мужчынскі — гетэрагаметным (мал. 85).



Мал. 84. Храмасомны набор дразафілы

Чалавек ( $XY$ -тып)



Курыца ( $ZW$ -тып)



$P: ♀ 44A + XX \times ♂ 44A + XY$

$G: \begin{matrix} (22A + X) & (22A + X) & (22A + Y) \end{matrix}$

$F_1: ♀ 44A + XX \quad ♂ 44A + XY$

$P: ♀ 76A + ZW \times ♂ 76A + ZZ$

$G: \begin{matrix} (38A + Z) & (38A + W) & (38A + Z) \end{matrix}$

$F_1: ♂ 76A + ZZ \quad ♀ 76A + ZW$

Мал. 85. Асноўныя тыпы храмасомнага вызначэння полу

У птушак, некаторых паўзуноў, земнаводных, рыб і матылёў назіраецца процілеглы механізм вызначэння полу: мужчынскія асобіны з’яўляюцца гомагаметнымі, а жаночыя — гетэрагаметнымі. Пры гэтым палавыя храмосомы абазначаюць літарамі  $Z$  і  $W$ , каб вылучыць дадзены тып вызначэння полу. У самцоў палавыя храмосомы запісваюць як  $ZZ$ , а ў самак —  $ZW$ .





*Асаблівасці наследавання прымет, счэпленых з полам.* Палавыя храмасомы змяшчаюць не толькі гены, якія вызначаюць пол арганізма, але і другія, якія не маюць адносін да полу. Напрыклад, у X-храмасоме чалавека размешчаны гены, якія кантралююць згусанне крыві, колераадчуванне (здольнасць адрозніваць асноўныя колеры), развіццё зрокавага нерва і інш. Y-храмасома гэтых генаў *не змяшчае*.

Y-храмасома чалавека мае невялікія памеры і, адпаведна, змяшчае менш генаў, чым X-храмасома. Аднак, акрамя генаў, якія вызначаюць развіццё мужчынскіх палавых прымет, у ёй ёсць і другія. Менавіта ў Y-храмасоме знаходзяцца гены, якія вызначаюць наяўнасць жорсткіх валасоў на вушных ракавінах, буйных зубоў і некаторых іншых прымет. Паколькі X-храмасома не змяшчае такіх генаў, дадзеныя прыметы могуць праяўляцца толькі ў мужчын.

Прыметы, якія вызначаюцца генамі, размешчанымі ў палавых храмасомах, **назваюцца прыметамі, счэпленымі з полам**. Наследаванне гэтых прымет мае свае асаблівасці. Разгледзім іх на прыкладзе спадчыннага захворвання чалавека — *гемафіліі*.

У хворых на гемафілію парушаны працэс згусання крыві, таму ў выніку траўмаў ці хірургічнага ўмяшання могуць узнікаць крывацёкі, якія з'яўляюцца пагрозай для жыцця. Акрамя таго, у гемафілікаў нярэдка адбываюцца спантанныя кровазліцці ў суставы і ўнутраныя органы.

Гэта хвароба абумоўлена рэцэсіўным генам  $h$ , счэпленым з X-храмасомай. Дамінантны ген  $H$  вызначае ў чалавека нармальнае згусанне крыві. У жанчын дзве X-храмасомы, таму па прымеце згусальнасці крыві, як і па іншых прыметах, счэпленых з X-храмасомай, магчымы тры варыянты генатыпу:

$\frac{H}{H}$  (пры геннай форме запісу —  $\text{♀ } X^H X^H$ ) — здаровая жанчына;

$\frac{H}{h}$  (або  $\text{♀ } X^H X^h$ ) — здаровая жанчына, носыбітка гена гемафіліі;

$\frac{h}{h}$  (або  $\text{♀ } X^h X^h$ ) — жанчына-гемафілік.

Дзяўчынкі, хворыя на гемафілію, нараджаюцца надзвычай рэдка: адна на 100 млн нованароджаных (сярод хлопчыкаў гэты паказчык значна вышэйшы, у сярэднім 1 : 10 000). Раней многія дзяўчынкі-гемафілікі паміралі ў падлеткавым узросце ў сувязі з пачаткам менструацый. Хоць гемафілія і на сённяшні дзень лічыцца невылечнай хваробай, яе цяжэнне кантралюецца з дапамогай ін'екцый фактару згусання крыві, якога не хапае ў арганізме. Такім чынам сучасная медыцына істотна падаўжае працягласць жыцця хворых на гемафілію.

Пры храмасомнай форме запісу скрыжаванняў Y-храмасому абазначаюць рысай з кручком:  $\rightarrow$ . У адносінах да генаў  $H$  ці  $h$  яна з'яўляецца «пустой». Таму ў мужчыны ёсць толькі адзін ген, які вызначае згусальнасць крыві. Гэты ген знаходзіцца ў X-храмасоме і заўсёды праяўляецца ў фенатыпе незалежна ад таго, з'яўляецца ён дамінантным або рэцэсіўным. Такім чынам, у мужчын могуць быць наступныя генатыпы:

- ♂  $\underline{H}$  (або ♂  $X^HY$ ) — здаровы мужчына;  
 ♂  $\underline{h}$  (або ♂  $X^hY$ ) — мужчына-гемафілік.

Як бачна з запісаў генатыпаў, мужчыны не могуць быць носьбітамі гена гемафіліі і іншых спадчынных захворванняў, счэпленых з X-храмасомай.

Вызначым, якое патомства можа з'явіцца ў жанчыны-носьбіткі гена гемафіліі і мужчыны з нармальнай згусальнасцю крыві:

Генная форма запісу			
P:	♀ $X^HX^h$ носьбітка гена гемафіліі	×	♂ $X^HY$ здаровы мужчына
G:	$(X^H)$ , $(X^h)$		$(X^H)$ , $(Y)$
F <sub>1</sub> :	♀ $X^HX^H$ здаровая дачка	♀ $X^HX^h$ носьбітка дачка гена гемафіліі	♂ $X^HY$ ♂ $X^hY$ здаровы сын сын-гемафілік

Храмасомная форма запісу			
P:	♀ $\frac{H}{h}$ носьбітка гена гемафіліі	×	♂ $\frac{H}{\rightarrow}$ здаровы мужчына
G:	$(H)$ , $(h)$		$(H)$ , $(\rightarrow)$
F <sub>1</sub> :	♀ $\frac{H}{H}$ здаровая дачка	♀ $\frac{H}{h}$ носьбітка дачка гена гемафіліі	♂ $\frac{H}{\rightarrow}$ ♂ $\frac{h}{\rightarrow}$ здаровы сын сын-гемафілік

Такім чынам, сярод сыноў назіраецца расшчапленне па генатыпе і фенатыпе: палова — здаровыя, палова — гемафілікі. Сярод дочак назіраецца расшчапленне па генатыпе: усе яны здаровыя, але палова з'яўляецца носьбіткамі гена гемафіліі. Падобная заканамернасць характэрна і для іншых рэцэсіўных прымет, счэпленых з X-храмасомай. Да іх належаць, напрыклад, такія спадчынныя захворванні, як *дальтанізм*, *атрафія зрокавага нерва*, *адсутнасць потавых залоз*.

Для таго каб нарадзілася дзяўчынка з рэцэсіўнай прыметай, счэпленай з X-храмасомай, неабходна аб'яднанне ў зігоце *двух* рэцэсіўных генаў — ад маці і ад бацькі. Для праяўлення такой жа прыметы ў хлопчыка дастаткова *аднаго* рэцэсіўнага гена, атрыманага ад маці (паколькі бацька перадае сыну толькі Y-храмасому). Таму рэцэсіўныя, счэпленыя



з X-храмасомай, прыметы часцей сустракаюцца сярод мужчын. Напрыклад, у Еўропе на дальтанізм хварэе больш за 6 % мужчынскага насельніцтва, у той час як сярод жанчын гэта захворванне назіраецца з частатой прыблізна 0,5 %.

**Генатып як цэласная сістэма.** Вывучаючы заканамернасці наследвання прымет у арганізмаў, вы пазнаёміліся з рознымі тыпамі ўзаемадзеяння алельных генаў. У шэрагу выпадкаў вынікам такога ўзаемадзеяння можа быць з'яўленне прыметы, прамежкавай паміж дамінантнай і рэцэсіўнай, ці якасна новай прыметы, якая не вызначалася ні адным з генаў паасобку (успомніце, напрыклад, чым абумоўлена IV група крыві ў чалавека).

Аднак у жывых арганізмаў вядома мноства прымет, якія кантралююцца не адной, а дзвюма і больш парамі генаў. Узаемадзеяннем неалельных генаў вызначаюцца, напрыклад, рост, тып целаскладу і колер скуры ў чалавека, афарбоўка шэрсты і апярэння ў многіх млекакормячых і птушак, форма, велічыня, афарбоўка пладоў і насення раслін і г. д. Сустракаецца і процілеглая з'ява, калі адна пара алельных генаў уплывае адразу на некалькі прымет арганізма.

Такім чынам, гены цесна звязаны і ўзаемадзеінічаюць адзін з адным. Таму генатып любога арганізма нельга разглядаць як простую суму асобных генаў. Генатып — гэта цэласная сістэма генаў, якія ўзаемадзеінічаюць.



У большасці раздзельнаполых арганізмаў мужчынскія і жаночыя асобіны маюць адрозненні ў адной пары храмасом. Гэтыя храмосомы называюцца палавымі, паколькі іх спалучэнне вызначае пол арганізма. Астатнія храмосомы прынята называць аўтасомамі. Пол, які мае дзве аднолькавыя палавыя храмосомы, называецца гомагаметным, а той, у якога розныя палавыя храмосомы, — гетэрагаметным. У большасці млекакормячых, у тым ліку ў чалавека, і шэрага іншых арганізмаў гомагаметным полам з'яўляецца жаночы (набор палавых храмасом — XX), а гетэрагаметным — мужчынскі (XY). У птушак і некаторых іншых жывёл, наадварот, гомагаметнымі з'яўляюцца самцы (ZZ), а гетэрагаметнымі — самкі (ZW). Паколькі гомагаметны пол ў адносінах да палавых храмасом фарміруе адзін тып гамет, а гетэрагаметны — два, у патомстве назіраецца расшчапленне па поле 1 : 1. Прыметы, якія вызначаюцца генамі, размешчанымі ў палавых храмосах, называюцца прыметамі, счэпленымі з полам. Генатып арганізма ўяўляе сабой цэласную сістэму генаў, якія ўзаемадзеінічаюць.



1. Які набор палавых храмасом характэрны для саматычных клетак мужчыны? Жанчыны? Пеўня? Курыцы?

$ZZ, ZW, WW, XX, XY, YY$ .

2. Чаму ў большасці раздзельнаполых жывёл з'яўляецца прыкладна аднолькавая колькасць нашчадкаў мужчынскага і жаночага пола?

3. Яйцаклетка кошкі змяшчае 18 аўтасом. Якой колькасцю храмасом прадстаўлены карыятап кошкі?

4. Як называюцца прыметы, якія кантралююцца генамі, размешчанымі ў палавых храмасомах? Якія асаблівасці наследавання гэтых прымет?

5. Дакажыце, што генатып жывога арганізма ўяўляе сабой цэласную сістэму.

6\*. Дальтанізм — рэцэсіўная прымета, счэпленая з X-храмасомай. У сям'і, дзе маці валодае нармальным колераадчуваннем, нарадзілася дачка-дальтонік. Вызначыце генатыпы бацькоў. Якая верагоднасць нараджэння ў іх здоровага сына?

7\*. У палярнай савы апераныя ногі дамінуюць над голымі. Гэта прымета кантралюецца аўтасомнымі генамі. Доўгія кіпцюры – дамінантная прымета, якая вызначаецца генам, лакалізаваным у Z-храмасоме. Самку з аперанымі нагамі скрыжавалі з самцом, які мае доўгія кіпцюры і апераныя ногі. У выніку атрымалі патомства з розным спалучэннем усіх фенатыпчных прымет. Якая верагоднасць (%) з'яўлення сярод патомства самца з голымі нагамі і кароткімі кіпцюрамі?

## § 36. Мадыфікацыйная зменлівасць

**Роля генатыпу і ўмоў асяроддзя ў фарміраванні прымет.** Вам вядома, што прыметы вызначаюцца генамі, г. зн. фенатып арганізма залежыць ад генатыпу. Аднак асобіны, якія маюць аднолькавы генатып (напрыклад, даччыныя расліны, якія развіліся з мацярынскага шляхам вегетатыўнага размнажэння), але выраслі ў розных умовах, могуць істотна адрознівацца адна ад адной.

Калі высадзіць клубні, атрыманыя ад адной расліны бульбы, то сярод даччыных асобін, якія вырастуць, мы не зможам знайсці дзвюх зусім аднолькавых. Нягледзячы на ідэнтычны генатып, яны будуць адрознівацца па вышыні сцёблаў, кусцістасці, ступені развіцця каранёвай сістэмы, колькасці і памерах лістоў, клубняў і шэрагу іншых прымет (мал. 86, с. 188). Відавочна, што адрозненні паміж гэтымі раслінамі абумоўлены не розным наборам генаў, а дзеяннем фактараў навакольнага асяроддзя. Розныя клубні не маглі развівацца ў абсалютна аднолькавых умовах. Асаблівасці механічнага і хімічнага саставу глебы, яе вільготнасць, глыбіня закладання, наяўнасць шкоднікаў, канкурэнцыя з іншымі раслінамі — гэтыя і многія іншыя фактары ўплывалі на развіццё фенатыпу асобін.

Яшчэ адным прыкладам уздзеяння ўмоў асяроддзя на фарміраванне прымет арганізмаў можа служыць індывідуальнае развіццё моназіготных (аднаяйцавых) блізнят. Яны ідэнтычныя па генатыпе, паколькі развіліся з адной зіготы, якая дала на этапе драблення пачатак дзвюм ці больш



Мал. 86. Фенатыпічныя адрозненні паміж раслінамі бульбы, якія выраслі з клубняў адной мацярынскай расліны

зародкам. У раннім узросце такія блізняты падобныя адзін да аднаго як дзве кроплі вады, часам нават бацькам складана адрозніць іх (мал. 87). Аднак з узростам паміж моназіготнымі блізнятамі ўзнікаюць адрозненні. Яны могуць, напрыклад, мець розны рост, масу цела і густату валасоў, розную ступень развіцця шкілетнай мускулатуры і г. д. З'яўленне гэтых адрозненняў звязана перш за ўсё з уплывам умоў жыцця: асаблівасцей харчавання, заняткаў спортам, характару працоўнай дзейнасці і інш.



Мал. 87. Моназіготныя блізняты ва ўзросце 6 і 30 гадоў

Такім чынам, на фарміраванне прымет арганізма ўплываюць не толькі гены, але і розныя знешнія фактары. Іншымі словамі, фенатып кожнай асобіны — гэта вынік праяўлення яе генатыпу ў пэўных умовах навакольнага асяроддзя.

**Формы зменлівасці.** *Мадыфікацыйная зменлівасць і яе значэнне.* Успомнім, што здольнасць жывых арганізмаў набываць новыя прыметы і ўласцівасці (а значыць, змяняць свой фенатып) называецца **зменлівасцю**. Прынята адрозніваць *няспадчынную (мадыфікацыйную)* і *спадчынную (генатыпічную)* зменлівасць.

**Мадыфікацыйная зменлівасць** — гэта змяненне фенатыпу пад дзеяннем умоў навакольнага асяроддзя, якое адбываецца без змянення генатыпу. Узнікшыя у гэтым выпадку змяненні прымет называюць *мадыфікацыямі*. Яны абумоўлены перш за ўсё тым, што фактары асяроддзя здольныя ўплываць на характар праяўлення генаў, г. зн. на сінтэз адпаведных бялкоў і (ці) на работу дадзеных бялкоў. Такім чынам, умовы навакольнага асяроддзя могуць у пэўнай ступені змяняць інтэнсіўнасць і ход працякання працэсаў абмену рэчываў у арганізме.

Разгледзім наступны прыклад. Дарослыя сіямскія кошкі маюць светла-бэжавую афарбоўку за выключэннем пярэдняй часткі галавы, вушэй, хваста і ног, дзе вырастае шэрсць цёмна-карычневага колеру. У той жа час кацяняты гэтай пароды з'яўляюцца на свет вельмі светлымі, амаль што белымі (мал. 88). Пацямненне шэрсці, абумоўленае сінтэзам меланіну ў адпаведных участках скуры, адбываецца ў іх пазней. За стварэнне меланіну адказвае фермент, актыўнасць якога ў сіямскіх кошах залежыць ад тэмпературы наступным чынам. Ва ўчастках скуры, якія маюць стандартную для цела кошкі тэмпературу (38—39 °C), актыўнасць ферменту вельмі нізкая. Таму тут выпрацоўваецца мінімальная колькасць меланіну, і шэрсць застаецца светлай. Часткі цела, якія выступаюць, — галава, хвост, кончыкі ног, адчуваюць на сабе большае ахаладжэнне. Дзеянне нізкай тэмпературы павялічвае актыўнасць ферменту, які сінтэзуе меланін, у выніку чаго шэрсць у гэтых месцах цямнее. Калі сіямскай кошцы згаліць светлую шэрсць на баку цела, то новая, якая адрастае на гэтым участку,



Мал. 88. Афарбоўка шэрсці ў дарослай сіямскай кошкі і нованароджаных кацянят

будзе больш цёмнай. Толькі праз некалькі месяцаў у выніку лінькі колер шэрсці вернецца да зыходнага. Становіцца зразумела, чаму сіямскія кацяняты нараджаюцца светлымі, раўнамерна афарбаванымі. Іх развіццё ў арганізме маці адбывалася пры высокай і пастаяннай тэмпературы.

Важнай асаблівасцю мадыфікацыйнай зменлівасці з'яўляецца тое, што пад дзеяннем умоў асяроддзя прыметы арганізмаў могуць змяняцца толькі ў *пэўных межах*. Так, у прыручанай перапёлкі маса яек звычайна складае 10—12 г. Узмоцненае кармленне птушак прыводзіць да павышэння гэтага паказчыка. Аднак пры любым рацыёне маса перапёлчынага яйка не бывае менш за 6 г ці больш за 18 г. Сіямскія кошкі, якія жывуць нават у вельмі спякотным клімаце, ніколі не становяцца цалкам белымі. У той жа час у асобін, што жывуць у халодных умовах, шэрсць на выступаючых частках цела не будзе абсалютна чорнай.

Дыяпазон мадыфікацыйнай зменлівасці прыметы называюць яго **нормай рэакцыі**. Адны прыметы, напрыклад форма і памер кветак раслін, дыяметр эрытрацытаў ці тлустасць малака жывёл, валодаюць параўнальна вузкай нормай рэакцыі. Такім прыметам, як, напрыклад, даўжыня і колькасць лістоў, вышыня сцёблаў раслін, маса цела жывёл, уласцівая шырокая норма рэакцыі. Аднак значэнне прыметы пры мадыфікацыйнай зменлівасці не можа выходзіць за межы нормы рэакцыі, які б размах яна не мела. Гэта звязана з тым, што *норма рэакцыі вызначаецца генатыпам* арганізма.

Адной з важных уласцівасцей мадыфікацыйнай зменлівасці з'яўляецца *яе вызначанасць*: дзеянне таго ці іншага фактару асяроддзя выклікае пэўныя, у большасці выпадкаў прадказальныя змяненні прымет арганізма. Пры гэтым ступень выяўленасці мадыфікацый прапарцыянальная сіле і працягласці дзеяння фактару, які іх выклікаў. Напрыклад, ступень развіцця шкілетнай мускулатуры чалавека напрамую залежыць ад інтэнсіўнасці і частаты трэніровак, а колькасць меланіну ў скуры — ад часу, праведзенага пад прамымі сонечнымі прамянямі.

Мадыфікацыі носяць *масавы характар*. Гэта азначае, што пад дзеяннем змененых умоў асяроддзя ва ўсіх асобін, падобных генатыпічна, прыметы змяніўшыся ў адным напрамку. Так, восенню з паніжэннем тэмпературы ва ўсіх раслін дзьмухаўца пачынаюць фарміравацца лісты з глыбокімі выразамі, а ў зайцаў-белякоў паскараецца працэс лінькі, які прыводзіць да змянення летняй шэрсці шэрай афарбоўкі на зімовую белую.

Змяненні фенатыпу, якія ўзнікаюць пры мадыфікацыйнай зменлівасці, часта з'яўляюцца *абарачальнымі*. Напрыклад, ва ўмовах лішку корму ў жывёл павялічваецца маса цела, а пры недахопе — памянша-

еца. Працяглае знаходжанне з’яглены зялёнай (аднаклетачнай водарасці) у малаасветленых месцах прыводзіць да яе абясколервання. Хларафіл у хларапластах з’яглены паступова разбураецца, і яна пераходзіць на гетэратрофнае жыццё. Пры вяртанні ва ўмовы нармальнага асвятлення зялёная афарбоўка з’яглены вяртаецца, і ў клетцы аднаўляецца працэс фотасінтэзу.

Як правіла, мадыфікацыі маюць *прыстасавальны характар*, г. зн. спрыяюць адаптацыі арганізма да ўмоў асяроддзя, якія змяніліся. Так, перасяленне авечак з цёплых рэгіёнаў у больш халодныя прыводзіць да павышэння густаты іх шэрсці. У чалавека, які жыў на раўніне, пераезд у высакагорную мясцовасць, дзе паветра больш разрэджанае, выклікае павелічэнне колькасці эрытрацытаў у крыві.

Паколькі пры мадыфікацыйнай зменлівасці змяняецца толькі фенатып арганізма, але не генатып, мадыфікацыі *не перадаюцца па спадчыне*. Наследуецца толькі норма рэакцыі прымет, паколькі яна кантралюецца генатыпам.

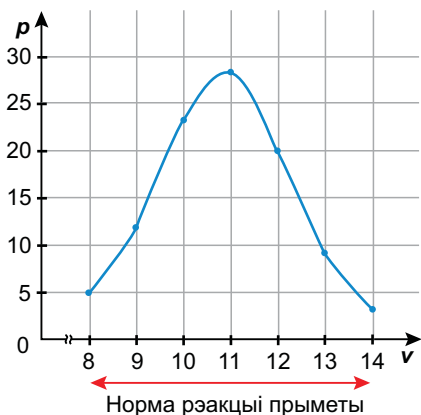
Значэнне мадыфікацыйнай зменлівасці заключаецца ў тым, што яна дазваляе жывым арганізмам у ходзе антагенезу прыстасоўвацца да розных знешніх фактараў, не змяняючы пры гэтым генатып. Спрыяючы адаптацыі асобін, мадыфікацыйная зменлівасць абумоўлівае іх выжыванне ва ўмовах навакольнага асяроддзя, якія змяняюцца.

**Статыстычныя заканамернасці мадыфікацыйнай зменлівасці.** Адрозніваюць якасныя і колькасныя прыметы. Да *якасных* прымет належаць, напрыклад, афарбоўка кветак і форма пладоў раслін, масць жывёл, колер вачэй чалавека і г. д. Такія прыметы, як памер лістоў і вышыня сцёблаў раслін, яйцаноскасць курэй, малочнасць кароў, маса цела чалавека, з’яўляюцца *колькаснымі*. Для выяўлення заканамернасцей зменлівасці колькасных прымет выкарыстоўваюць розныя статыстычныя метады, у прыватнасці — пабудову варыяцыйнага рада і варыяцыйнай крывой. Разгледзім іх на прыкладзе аналізу пладавітасці свіней буйной белай пароды.

Падлічым колькасць парасят у прыплодзе ў 100 адвольна выбраных свінаматак і размесцім атрыманая значэнні пладавітасці ў парадку іх узростання. Атрымаецца **варыяцыйны рад** зменлівасці прыметы:

Колькасць парасят у прыплодзе, $v$	8	9	10	11	12	13	14
Лік свінаматак, $p$	5	12	23	28	20	9	3





Мал. 89. Варыяцыйная крывая, якая адлюстроўвае пладавітасць свіней буйной белай пароды

гэта ў такіх галінах дзейнасці чалавека, як раслінаводства і жывёлагадоўля. Стварэнне аптымальных умоў для рэалізацыі генатыпу дае магчымасць дасягаць высокай прадукцыйнасці сартоў і парод, максімальна выкарыстоўваць іх патэнцыял.



Фенатып арганізма залежыць не толькі ад генатыпа, але і ад умоў навакольнага асяроддзя. Адрозніваюць спадчынную і няспадчынную зменлівасць. Да няспадчыннай належыць мадыфікацыйная зменлівасць. Яна ўяўляе сабой змяненне фенатыпу арганізма пад дзеяннем фактараў асяроддзя, якое адбываецца без змянення генатыпу ў межах нормы рэакцыі. Мадыфікацыі характарызуюцца вызначанасцю (прадказальнасцю), маюць масавы характар, у большасці выпадкаў з'яўляюцца абарачальнымі і спрыяюць адаптацыі асобін да зменлівых умоў асяроддзя. Для выяўлення заканамернасцей мадыфікацыйнай зменлівасці выкарыстоўваюць статыстычныя метады, напрыклад пабудову варыяцыйнага рада і варыяцыйнай крывой.



1. Якія формы зменлівасці вылучаюць? Што ўяўляе сабой мадыфікацыйная зменлівасць?
2. Дакажыце на прыкладах, што фарміраванне прымет арганізмаў залежыць не толькі ад іх генатыпу, але і ад умоў навакольнага асяроддзя.
3. Што такое норма рэакцыі? Ад чаго залежыць норма рэакцыі той ці іншай прыметы ў пэўнай асобіны? Прывядзіце прыклады прымет, якія маюць шырокую і вузкую норму рэакцыі.

4. Ахарактарызуйце асноўныя ўласцівасці мадыфікацый, прывядзіце прыклады.

5. Якія статыстычныя метады ўжываюцца для аналізу зменлівасці колькасных прымет? Якое практычнае значэнне мае веданне заканамернасцей мадыфікацыйнай зменлівасці прымет жывых арганізмаў?

6\*. Калі прымулу, якая ў звычайных умовах мае чырвоныя кветкі, перанесці ў аранжарэю з тэмпературай 30—35 °С і павышанай вільготнасцю, новыя кветкі на гэтай расліне будуць ужо белымі. Калі гэту расліну вярнуць ва ўмовы адносна нізкай тэмпературы (15—20 °С), яна зноў пачынае цвісці чырвонымі кветкамі. Чым гэта можна патлумачыць?

7\*. Як вы думаеце, чаму на птушкафабрыках светлавы дзень у курэй-нясушак штучна падаўжаюць да 20 гадзін, а ў пеўнічкаў-бройлераў — скарачаюць да 6 гадзін у суткі?



Вывучэнне мадыфікацыйнай зменлівасці  
ХАТНІХ РАСЛІН



## § 37. Генатыпічная зменлівасць

Вылучаюць два віды генатыпічнай (спадчыннай) зменлівасці: камбінацыю і мутацыйную.

**Камбінацыйная зменлівасць.** З курса біялогіі 10-га класа вам вядома, што для палавога размнажэння характэрна з'яўленне ў бацькоўскіх асобін разнастайнага патомства. Арганізмы новага пакалення адрозніваюцца як ад бацькоўскіх форм, так і адзін ад аднаго. Галоўная прычына гэтых адрозненняў заключаецца ў тым, што пры палавым размнажэнні кожны нашчадак наследуе ўнікальнае спалучэнне генаў сваіх бацькоў. Зменлівасць, абумоўленую ўзнікненнем у патомства новых спалучэнняў (камбінацый) бацькоўскіх генаў, называюць **камбінацыйнай**. Структура саміх генаў пры гэтым не змяняецца.

Крыніцамі камбінацыйнай зменлівасці з'яўляюцца наступныя працэсы.

- Кросінговер, які адбываецца ў прафазе I меёзу.
- Незалежнае разыходжанне гамалагічных храмасом у анафазе I меёзу і сястрынскіх храматыд (даччыных храмасом) у анафазе II.
- Выпадковае зліццё гамет пры апладненні.

Першыя два працэсы забяспечваюць фарміраванне гамет з рознымі камбінацыямі генаў. Выпадковае зліццё палавых клетак прыводзіць да ўтварэння зігот з рознымі спалучэннямі генаў абодвух бацькоў. У выніку ў патомства з'яўляюцца новыя камбінацыі бацькоўскіх прымет, а таксама новыя прыметы, якіх не было ў бацькоў.

Прыкладамі камбінацыйнай зменлівасці могуць служыць нараджэнне дзяцей з кроўю I ці IV групы ў гетэразіготных бацькоў, якія маюць

кроў II і III груп, ці блакітнавокага дзіцяці ў каравокіх гетэразіготных бацькі і маці. Пры гэтым у нашчадкаў узнікаюць новыя прыметы, адрозныя ад бацькоўскіх. Яшчэ адным прыкладам можа быць з'яўленне мух з шэрым целам і зачаткавымі крыламі, з чорным целам і нармальнымі крыламі пры скрыжаванні дыгетэразіготнай дразафілы (шэрае цела, нармальныя крылы) з чорным самцом з зачаткавымі крыламі (гл. мал. 79 на с. 177). У дадзеным выпадку ў патомства ў выніку кросінгвера з'яўляюцца новыя спалучэнні прымет бацькоў.

Такім чынам, камбінатыўная зменлівасць з'яўляецца важным пастаўшчыком разнастайнасці жывых арганізмаў.

**Мутацыйная зменлівасць.** Прычынай гэтага тыпу зменлівасці з'яўляюцца **мутацыі** — наследуемыя змяненні генетычнага матэрыялу арганізмаў: структуры асобных генаў, будовы ці колькасці храмасом. Працэс узнікнення мутацый называецца *мутагенезам*, а арганізмы, якія змянілі фенатып у выніку мутацыі, — *мутантамі*.

Тэрмін «мутацыя» ўпершыню быў прапанаваны нідэрландскім вучоным Х. дэ Фрызам. Ён ахарактарызаваў найважнейшыя ўласцівасці мутацый у працы, якая выйшла ў 1903 г. пад назвай «Мутацыйная тэорыя». Справядлівасць асноўных палажэнняў тэорыі дэ Фрыза была пасля пацверджана шматлікімі даследаваннямі генетыкаў.

Паводле сучасных уяўленняў мутацыі (у адрозненне ад мадыфікацый) не развіваюцца паступова, а *ўзнікаюць раптоўна*. Яны *не ўтвараюць перарывных радоў зменлівасці і не маюць нормы рэакцыі*. Мутацыі не носяць масавы характар, а праяўляюцца *індывідуальна*. Найважнейшай уласцівасцю мутацый з'яўляецца іх *нявызначанасць*. Гэта значыць, што пры мутагенезе можа змяніцца любы элемент спадчыннага матэрыялу клеткі (ген, храмасома, храмасомны набор), прычым нельга дакладна прадказаць, якія менавіта генетычныя структуры будуць закрануты, якім чынам адбудуцца змяненні і да якіх наступстваў гэта прывядзе. Паколькі мутацыі суправаджаюцца змяненнем генатыпу арганізмаў, яны здольныя *перадавацца па спадчыне*.

Фактары, якія выклікаюць з'яўленне мутацый, называюць **мутагеннымі фактарамі** ці **мутагенамі**. У залежнасці ад прыроды адрозніваюць фізічныя, хімічныя і біялагічныя мутагены. *Фізічнымі* мутагенамі з'яўляюцца розныя віды выпраменьванняў (гама-, рэнтгенаўскае, ультрафіялетавае і інш.), вельмі высокая ці нізкая тэмпература і г. д. Да *хімічных* мутагенаў належаць разнастайныя рэчывы, напрыклад калхіцын, фармальдэгід, нітрыты, кампаненты тытунёвага дыму, некаторыя харчовыя дабаўкі, пестыцыды і лекавыя прэпараты. Прыкладамі *біялагічных* мутагенаў могуць быць вірусы.

Існуюць розныя падыходы да класіфікацыі мутацый. Разгледзім некаторыя з іх.

- Паводле тыпу клетак, якія муціравалі, вылучаюць генератыўныя і саматычныя мутацыі. **Генератыўнымі** называюць мутацыі, якія ўзнікаюць у палавых клетках. Гэтыя мутацыі перадаюцца патомству пры палавым размнажэнні. **Саматычныя** мутацыі адбываюцца ў саматычных клетках. Такія мутацыі могуць перадавацца па спадчыне шляхам вегетатыўнага размнажэння і праяўляцца ў самой асобіны-мутанта. Пры дзяленні клеткі, якая муціравала, саматычная мутацыя перадаецца даччыным клеткам. Таму чым раней у ходзе індывідуальнага развіцця ўзнікае такая мутацыя, тым большую частку арганізма яна закранае. Вынікамі праяўлення саматычных мутацый могуць быць, напрыклад, наяўнасць пасмаў валасоў без меланіну ці розны колер вачэй у чалавека (мал. 90), з'яўленне парастка з белымі ягадамі на кусце чорнай парэчкі і г. д.

- Паводле ўзроўню змянення генетычнага матэрыялу мутацыі бываюць геннымі, храмасомнымі і геномнымі.

**Генныя мутацыі** — гэта змяненні нуклеатыднай паслядоўнасці ДНК у межах аднаго гена з прычыны *замены, выпадзення* ці *ўстаўкі* нуклеатыдаў. Генныя мутацыі — самы распаўсюджаны тып мутацый і крыніца з'яўлення новых алеляў. Змяненні парадку нуклеатыдаў у саставе генаў аднаўляюцца ў структуры адпаведных мРНК і ў большасці выпадкаў вядуць да змянення амінакіслотнай паслядоўнасці бялкоў, якія кадзіруюцца дадзенымі генамі.

Так, у чалавека замена пэўнага нуклеатыду ў гене, які кадзіруе ланцуг гемаглабіну, прыводзіць да замены ў гэтым бялку адной амінакіслаты (глутамінавай) на другую (валін). Змяненне структуры гемаглабіну вядзе да таго, што эрытрацыты замест дыскападобнай формы набываюць серпападобную і губляюць здольнасць да транспарту кіслароду (мал. 91). Гэта захворванне называецца *серпападобнаклетачнай анеміяй*.



Мал. 90. Вочы рознага колеру

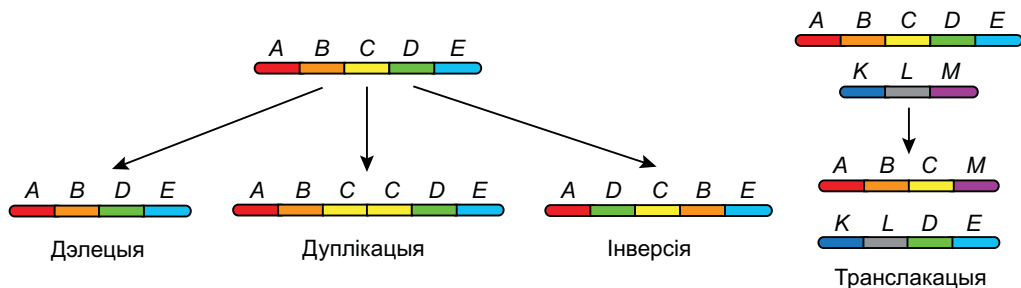


Мал. 91. Эрытрацыты чалавека нармальнай і серпападобнай формы

Ген, які вызначае форму эрытрацытаў у хворых на серпападобнаклетачную анемію, з'яўляецца рэцэсіўным. Ён кадзіруе асаблівы, анамальны тып гемаглабіну — так званы гемаглабін S. У гетэразіготных носьбітаў гена серпападобнаклетачнай анеміі ў эрытрацытах прысутнічае як звычайны гемаглабін, так і гемаглабін S. Захворванне пры гэтым не развіваецца. Цікава тое, што гемаглабін S абумоўлівае ўстойлівасць эрытрацытаў да заражэння малярыйным плазмодыем. Таму ў рэгіёнах Зямлі, дзе распаўсюджана малярыйя, гетэразіготныя носьбіты дэфектнага гена маюць пэўную перавагу перад гомазіготнымі людзьмі. У адрозненне ад рэцэсіўных гомазіготных людзей яны не хварэюць на серпападобнаклетачную анемію і адначасова з'яўляюцца неўспрымальнымі да малярыйі, якой могуць хварэць людзі, гомазіготныя па дамінантным гене.

**Храмасомныя мутацыі** — гэта змяненні будовы храмасом. Змяненні звычайнай структуры адной храмасомы (ці двух гамалагічных) адносяць да ўнутрыхрамасомных мутацый. Перабудовы, у якія былі ўцягнуты негамалагічныя храмасомы, называюць міжхрамасомнымі мутацыямі.

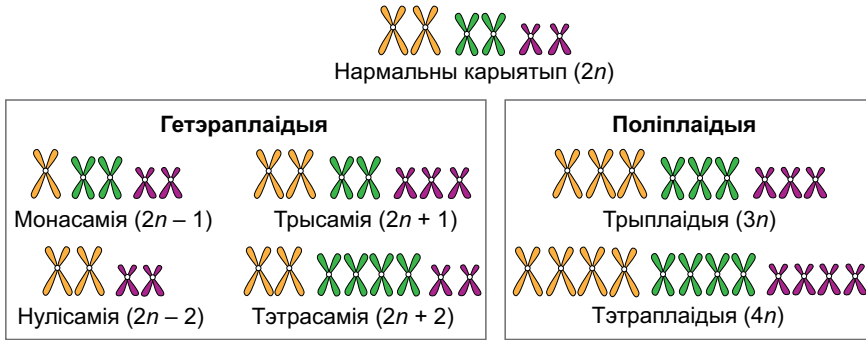
Прыкладамі ўнутрыхрамасомных мутацый могуць быць: выпадзенне ўчастка храмасомы — *дэлецыя*, двухразовы ці шматразовы паўтор фрагмента храмасомы — *дуплікацыя*, паварот участка храмасомы на  $180^\circ$  — *інверсія*. Да міжхрамасомных мутацый належыць абмен участкам паміж дзвюма негамалагічнымі храмасомамі — *транслакацыя* (мал. 92).



Мал. 92. Схемы храмасомных мутацый

**Геномныя мутацыі** прыводзяць да змянення колькасці храмасом у клетках. Сярод мутацый такога тыпу можна вылучыць гетэраплаідыю і поліплаідыю (мал. 93).

*Гетэраплаідыя* — гэта змяненне ліку храмасом, не кратнае гаплоіднаму набору. У выніку такіх мутацый можа назірацца, напрыклад, адсутнасць у карыятыпе адной з храмасом — *монасамія* ( $2n - 1$ ) ці пары



Мал. 93. Схемы геномных мутацый

гамалагічных храмасом — *нулісамія* ( $2n - 2$ ), або наяўнасць у наборы лішніх гамалагічных храмасом — *полісамія*. Прыкладамі апошняй могуць служыць *трысамія* ( $2n + 1$ ), *тэтрасамія* ( $2n + 2$ ), *пентасамія* ( $2n + 3$ ) і г. д.

*Поліплаідыя* — гэта павелічэнне колькасці храмасом, кратнае гаплоіднаму набору. У залежнасці ад таго, колькі гаплоідных набораў храмасом змяшчаецца ў клетках, адрозніваюць *трыплаідыю* ( $3n$ ), *тэтраплаідыю* ( $4n$ ), *пентаплаідыю* ( $5n$ ), *гексаплаідыю* ( $6n$ ) і г. д. Поліплаідыя распаўсюджана пераважна сярод раслін. Паліплоідныя расліны звычайна маюць больш буйныя вегетатыўныя і генератыўныя органы, чым у дыплоідных форм, адрозніваюцца павышанай устойлівасцю да неспрыяльных фактараў асяроддзя.

**Значэнне генатыпічнай зменлівасці.** Спадчынная (генатыпічная) зменлівасць з'яўляецца галоўнай прычынай дзівоснай разнастайнасці жывых арганізмаў на Зямлі. Мутацыйная і камбінатыўная зменлівасць спрыяюць з'яўленню новых спадчынных прымет і іх спалучэнняў і такім чынам абумоўліваюць узнікненне індыўідуальных адрозненняў паміж асобінамі. Гэта ляжыць у аснове выжывання і размнажэння адных арганізмаў, больш адаптаваных да ўмоў навакольнага асяроддзя, і гібелі другіх, менш прыстасаваных. Іншымі словамі, спадчынная зменлівасць пастаўляе матэрыял для натуральнага адбору, што забяспечвае эвалюцыю жывой прыроды.

У той жа час мутацыйная і камбінатыўная зменлівасць спрыяюць узнікненню ў арганізмаў такіх прымет і іх камбінацый, якія выкарыстоўваюцца чалавекам пры вывядзенні новых парод жывёл, сартоў раслін і штамаў мікраарганізмаў. Такім чынам, генатыпічная зменлівасць адыгрывае выключна важную ролю ў селекцыйнай рабоце.



Да генетыпічнай (спадчыннай) зменлівасці належаць камбіна- тыўная і мутацыйная. Камбінацыўная зменлівасць абумоўлена ўзнікненнем у патомства новых спалучэнняў бацькоўскіх генаў. Крыніцамі камбінацыўнай зменлівасці з'яўляюцца кросінговер і не- залежнае разыходжанне храмасом у меёзе, выпадковае зліццё гамет пры апладненні. Прычынай мутацыйнай зменлівасці з'яўляюцца на- следуемыя змяненні генетычнага матэрыялу арганізмаў — мутацыі. Яны ўзнікаюць раптоўна, не ўтвараюць перарываў радыў змен- лінасці, не маюць нормы рэакцыі, з'яўляюцца нявызначанымі (непрадказальнымі) і праяўляюцца індывідуальна. Паводле тыпу клетак, якія муціравалі, адрозніваюць генератыўныя і саматычныя мутацыі, паводле ўзроўню змянення генетычнага матэрыялу — ген- ныя, храмасомныя і геномныя. Спадчынная зменлівасць пастаўляе матэрыял для натуральнага адбору, забяспечвае эвалюцыю жывой прыроды і адыгрывае найважнейшую ролю ў селекцыйнай практыцы.



1. Што ўяўляе сабой камбінацыўная зменлівасць? Прыведзіце прыклады. Назавіце крыніцы камбінацыўнай зменлівасці.
2. Дайце азначэнне паняццяў «мутацыя», «мутагенез», «мутаген». На якія групы прынята дзяліць мутагены? Прыведзіце прыклады.
3. Чым саматычныя мутацыі адрозніваюцца ад генератыўных?
4. Ахарактарызуйце асноўныя тыпы генных, храмасомных і геномных мутацый.
5. У чым заключаецца падабенства камбінацыўнай і мутацыйнай зменлівасці? У чым заключаецца адрозненне паміж гэтымі відамі зменлівасці? Чым мутацыйная зменлівасць адрозніваецца ад мадыфікацыйнай?
6. У пшаніцы-адназярнянкі гаметы змяшчаюць па 7 храмасом. Колькі храмасом змяш- чаецца ў саматычных клетках мутантаў пшаніцы-адназярнянкі, калі да ўзнікнення мутантнай формы прывяла нулісамія? Монасамія? Трыплаідыя? Трысамія? Тэтраплаідыя? Тэтрасамія?
- 7\*. Чорная афарбоўка шэрсі ў кошкаў дамінуе над рыжай, гетэразіготныя кошкі валода- юць чарапахавай афарбоўкай — чорныя плямы чаргуюцца з рыжымі. Гены, якія кантралю- юць колер шэрсі, размешчаны ў X-храмасоме. Тэарэтычна катой, г. зн. самцой, з чарапах- вай афарбоўкай не павінна быць (чаму?), аднак часам яны нараджаюцца. Як растлумачыць гэту з'яву? Як вы лічыце, якія яшчэ асаблівасці, акрамя незвычайнай афарбоўкі, характэрны для чарапахавых катой?

## § 38. Вывучэнне спадчыннасці і зменлівасці чалавека

Асноўныя заканамернасці спадчыннасці і зменлівасці, вызначаныя для жывых арганізмаў, носяць універсальны характар, а значыць, яны ўжываюцца і ў дачыненні да чалавека. Аднак як аб'ект гене-

тычных даследаванняў чалавек мае сваю спецыфіку. Так, для чалавека характэрны павольная змена пакаленняў, невялікая колькасць патомкаў у сем'ях і складаны карыяташ, які ўключае 23 групы счাপлення. Акрамя таго, у людзей нельга эксперыментальна выклікаць мутацыі, ужываць у дачыненні да іх гібрыдалагічны метады (г. зн. ажыццяўляць накіраваныя скрыжаванні). Гэтыя і іншыя асаблівасці ўскладняюць вывучэнне спадчыннасці і зменлівасці чалавека.

Тым не менш у сувязі з выключнай практычнай значнасцю, дзякуючы выкарыстанню разнастайных метадаў даследаванняў, генетыка чалавека на сённяшні дзень дасягнула істотных поспехаў. Важнейшымі метадамі вывучэння спадчыннасці і зменлівасці чалавека з'яўляюцца наступныя.

**Блізнятны метад** заключаецца ў параўнальным вывучэнні прымет у блізнят. Адрозніваюць дызіготных (рознайцавых) і моназіготных (аднаяцавых) блізнят.

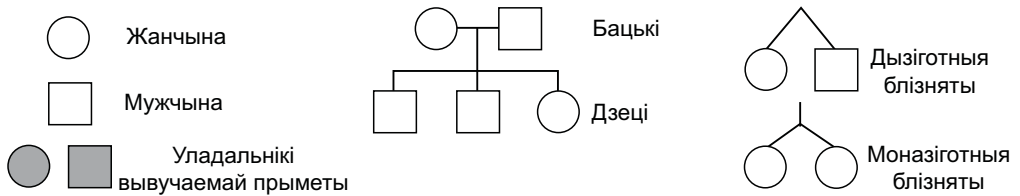
Калі ў арганізме жанчыны адначасова паспелі дзве яйцаклеткі, якія далей былі аплоднены рознымі сперматазоідамі, з утвораных зігот развіваюцца *дызіготныя* блізняты. Яны валодаюць рознымі генатыпамі. Таму рознайцавыя блізняты падобныя адзін да аднаго не больш чым звычайныя браты ці сёстры, прычым яны могуць быць як аднаго полу, так і разнаполымі.

*Моназіготныя* блізняты, як вы ўжо ведаеце, развіваюцца з адной зіготы, якая ў ходзе драблення дае пачатак двум ці больш эмбрыёнам. Такім чынам, гэтыя блізняты маюць аднолькавы генатып. Таму яны заўсёды аднаго полу, валодаюць надзвычайным знешнім падабенствам, маюць аднолькавыя адпячаткі пальцаў, кроў адной і той жа групы і г. д.

У чалавечых папуляцыях блізняты нараджаюцца з частатой каля 1 %, з іх прыкладна  $\frac{1}{3}$  складаюць аднаяцавыя. Для вывучэння спадчыннасці і зменлівасці чалавека моназіготныя блізняты прадстаўляюць асаблівую цікавасць. Падабенства аднаяцавых блізнят абумоўлена ідэнтычнасцю генатыпаў. У той жа час адрозненні, якія праяўляюцца паміж імі ў ходзе антагенезу, звязаны перш за ўсё з рознымі ўмовамі жыцця (харчаванне, прафесійная дзейнасць, спосаб жыцця, клімат і інш.). Такім чынам, вывучэнне моназіготных блізнят дазваляе вызначыць ролю генатыпу і ўмоў навакольнага асяроддзя ў развіцці тых ці іншых прымет чалавека.



**Генеалагічны метада** заснаваны на пабудове і вывучэнні радаслоўных, якія адлюстроўваюць праяўленне пэўных прымет чалавека ў шэрагу пакаленняў (мал. 94). Дзякуючы гэтаму метаду можна высветліць, ці наследуецца вывучаемая прымета, вызначыць тып наследавання і верагоднасць праяўлення прыметы ў наступных пакаленнях. З дапамогай генеалагічнага метаду вызначаны характар наследавання многіх прымет чалавека, у прыватнасці шэрага спадчынных захворванняў, абумоўленых геннымі мутацыямі. Вылучаюць чатыры асноўныя тыпы наследавання: **аўтасомна-дамінантны, аўтасомна-рэцэсіўны, счэплены з X-храмасомай дамінантны і счэплены з X-храмасомай рэцэсіўны.**



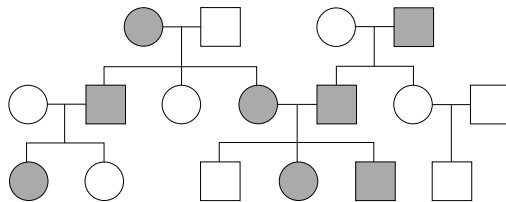
Мал. 94. Некаторыя ўмоўныя абазначэнні, якія выкарыстоўваюцца пры састаўленні радаслоўных чалавека

У выпадку поўнага дамінавання спадчынная хвароба, абумоўленая **дамінантным** генам, будзе праяўляцца ў кожным пакаленні. Пры гэтым у некаторых сем'ях, дзе абодва бацькі хворыя, магчыма нараджэнне здаровых дзяцей (падумаіце, пры якіх генатыпах бацькоў і з якой верагоднасцю).

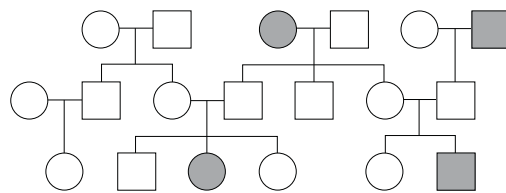
Калі дадзенае захворванне **счэплена з X-храмасомай**, яно будзе назірацца пераважна ў жанчын. Гэта звязана з тым, што ў дзяўчынкі дадзенае хвароба праяўляецца ў выніку атрымання дамінантнага дэфектнага гена ад любога з яе бацькоў. Хлопчык жа можа ўнаследаваць дамінантнае захворванне, счэпленае з X-храмасомай, толькі ад хворай маці. Пры счэпленым з X-храмасомай дамінантным тыпе наследавання ў хворых мужчын ( $X^A Y$ ) усе дочки аказваюцца хворымі ( $X^A X^-$ ). Прычына ў тым, што, незалежна ад генатыпу маці, у іх у любым выпадку праяўляецца дамінантны ген, атрыманы з X-храмасомай бацькі. І наадварот, у здаровых жанчын ( $X^a X^a$ ) усе сыны будуць здаровымі ( $X^a Y$ ), паколькі яны наследуюць сваю адзіную X-храмасому ад маці. Калі вышэйназваныя заканамернасці не выконваюцца, то дамінантная хвароба з'яўляецца **аўтасомнай** (мал. 95).

Спадчынныя захворванні, якія вызначаюцца *рэцэсіўнымі* генамі, могуць праяўляцца не ў кожным пакаленні. Акрамя таго, у некаторых сем'ях, дзе абодва бацькі здаровыя, магчыма нараджэнне хворых дзяцей.

Рэцэсіўнымі хваробамі, *счэпленымі з X-храмасомай*, часцей хварэюць мужчыны (успомніце чаму). Пры такім тыпе наследавання ў хворых жанчын ( $X^aX^a$ ) усе сыны з'яўляюцца хворымі ( $X^aY$ ), а ў здаровых мужчын ( $X^AY$ ) усе дачкі аказваюцца фенатыпічна здаровымі ( $X^AX^-$ ). У выпадку невыканання гэтых заканамернасцей можна зрабіць выснову пра тое, што рэцэсіўнае захворванне кантралюецца *аўтасомнымі* генамі (мал. 96).



Мал. 95. Прыклад радаслоўнай з аўтасомна-дамінантным тыпам наследавання прыметы

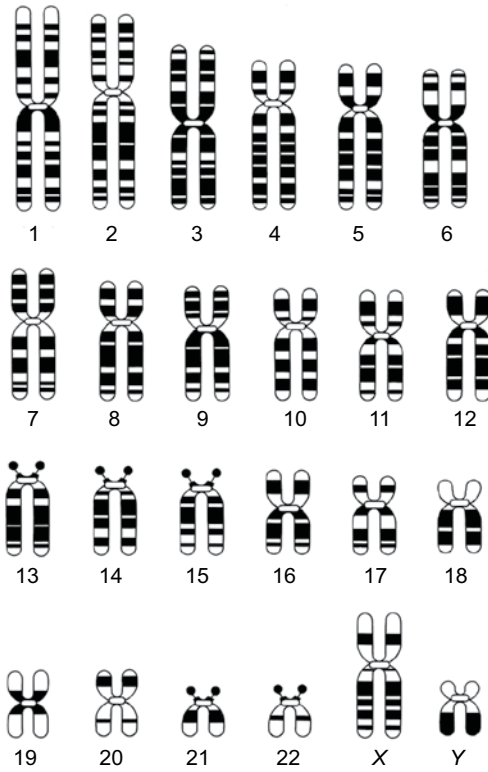


Мал. 96. Прыклад радаслоўнай з аўтасомна-рэцэсіўным тыпам наследавання прыметы

Акрамя чатырох асноўных тыпаў наследавання, ахарактарызаваных вышэй, існуе таксама *счэпленнае з Y-храмасомай* наследаванне. Прыметы, счэпленыя з Y-храмасомай, назіраюцца толькі ў мужчын і перадаюцца ад бацькоў усім іх сынам. Прыкладам спадчыннага захворвання, абумоўленага генам, размешчаным у Y-храмасоме, можа служыць зрашчэнне другога і трэцяга пальцаў ног.

**Цытагенетычны метады** звязаны з мікраскапічным вывучэннем структуры і колькасці храмасом. У 1956 г. было вызначана, што ў самагчыных клетках чалавека змяшчаецца 46 храмасом: 22 пары аўтасом і адна пара палавых храмасом. З гэтага часу пачалося дэтальнае даследаванне карыятыпу чалавека. Кожнай пары аўтасом быў прысвоены парадкавы нумар ад 1 (самыя буйныя храмасомы) да 22 (самыя дробныя). Палавыя храмасомы атрымалі літарныя абазначэнні: X і Y.

У канцы 1960-х гг. былі распрацаваны метады дыферэнцыяльнага афарбоўвання храмасом. Пры такім афарбоўванні ў храмасомах выяўляюцца светлыя і цёмныя ўчасткі. Іх колькасць, працягласць і паслядоўнасць размяшчэння спецыфічныя для кожнай пары храмасом (мал. 97, с. 202). Вывучэнне будовы дыферэнцыяльна афарбаваных храмасом (памеры, суадносіны плячэй, чаргаванне цёмных і светлых фрагментаў) дазваляе дакладна ідэнтыфікаваць кожную храмасому, вызначыць яе месца



Мал. 97. Храмасомы чалавека пасля дыферэнцыяльнага афарбоўвання

У цяперашні час выкарыстанне гэтага метаду стала больш абмежаваным у сувязі са з'яўленнем новых, больш дасканалых метадаў, напрыклад біяхімічных.

Многія спадчынныя захворванні чалавека абумоўлены геннымі мутацыямі, у выніку якіх змяняецца структура адпаведных бялкоў. У большасці выпадкаў такія бялкі аказваюцца няздольнымі ў поўнай меры выконваць свае функцыі або цалкам губляюць біялагічную актыўнасць. Гэта прыводзіць да розных парушэнняў абмену рэчываў і адлюстроўваецца не толькі на хімічным саставе асобных клетак і тканак, але і на біяхімічных паказчыках крыві, спіннамазгавой вадкасці, мачы, поту і г. д.

Такім чынам, генныя мутацыі можна выяўляць з дапамогай **біяхімічных метадаў**. Яны заснаваны на якасным і колькасным аналізе пэўных рэчываў, перш за ўсё ферментаў і прадуктаў каталізуемых імі рэакцый. Выкарыстанне сучасных біяхімічных метадаў дазваляе вызначаць лю-

ў карыятыпе. Цытагенетычны метады шырока ўжываюцца для выяўлення храмасомных і геномных мутацый, якія з'яўляюцца прычынай цэлага шэрага спадчынных хвароб чалавека.

Сутнасць **дэрматагліфічнага метаду** заключаецца ў вывучэнні скурных узораў на пальцах, далонях і падэшвах ступняў чалавека. Скура на гэтых участках цела мае складаны рэльеф, вызначаны генатыпам. Таму дэрматагліфічныя ўзоры індывідуальныя для кожнага чалавека (супадаюць толькі ў моназіготных блізнят) і застаюцца нязменнымі на працягу ўсяго жыцця.

У XX ст. дэрматагліфічны метады шырока выкарыстоўваюцца для дыягностыкі некаторых спадчынных захворванняў і вызначэння зіготнасці блізнят. Ён таксама ўжываецца пры вызначэнні бацькоўства, у судовай медыцыне і крыміналістыцы для ідэнтыфікацыі асобы.

быя спецыфічныя метабаліты, характэрныя для той ці іншай спадчыннай хваробы. Біяхімічныя метады даюць магчымасць не толькі дыягнаставаць захворванні і сачыць за ходам іх лячэння, але і выяўляць гетэразіготных носьбітаў дэфектных генаў, вызначаць спадчынную схільнасць да розных хвароб. У шэрагу выпадкаў гэта магчыма ажыццявіць яшчэ да нараджэння чалавека, на этапе эмбрыянальнага развіцця.



Чалавек як аб'ект генетыкі мае шэраг асаблівасцей, якія абумоўліваюць спецыфіку метадаў вывучэння яго спадчыннасці і зменлівасці. Блізняты метады, заснаваны на параўнальным вывучэнні блізнят, дазваляе выяўляць уклад генатыпу і ўмоў асяроддзя ў развіццё фенатыпу. Генеалагічны метады звязаны з пабудовай і аналізам радаслоўных. З дапамогай гэтага метаду можна вызначаць тып наследавання прымет (дамінантны ці рэцэсіўны, счэплены з полам ці аўтасомны) і верагоднасць іх праяўлення ў наступных пакаленнях. Для выяўлення храмасомных і геномных мутацый шырока выкарыстоўваецца цытагенетычны метады (мікраскапічнае даследаванне храмасом), для выяўлення генных мутацый — біяхімічныя метады. У генетыцы чалавека таксама знаходзіць ужыванне дэрматагліфічны (вывучэнне рэльефу скуры на пальцах, далонях і падэшвах) і некаторыя іншыя метады.



1. Якія асаблівасці чалавека як аб'екта генетыкі ўскладняюць вывучэнне яго спадчыннасці і зменлівасці?
2. Растлумачце, чаму параўнальнае вывучэнне моназіготных блізнят дазваляе выявіць ролю генатыпу і ўмоў асяроддзя ў фарміраванні пэўных прымет арганізма.
3. Якім чынам на аснове радаслоўнай, што адлюстроўвае наследаванне пэўнай прыметы, можна вызначыць, з'яўляецца дадзеная прымета дамінантнай ці рэцэсіўнай? Счэпленай з полам ці аўтасомнай?
4. У чым заключаецца сутнасць дэрматагліфічнага метаду? Для чаго ён можа выкарыстоўвацца?
5. З дапамогай якіх метадаў генетыкі чалавека можна выяўляць генныя мутацыі? Храмасомныя і геномныя мутацыі?
- 6\*. У адной сям'і хлопчык быў няздольны загінаць язык назад, гэтак жа як і яго старэйшая сястра. Да іх вялікага засмучэння малодшая сястра магла гэта рабіць. Акрамя таго, іх бацькі былі здольныя загінаць язык назад, як і цётка з боку бацькі. А вось дзядзька з боку маці не мог. Састаўце радаслоўную гэтай сям'і і вызначыце тып наследавання здольнасці загінаць язык назад.



САСТАЎЛЕННЕ І АНАЛІЗ РАДАСЛОЎНЫХ ЧАЛАВЕКА



## § 39. Спадчынныя хваробы чалавека

У цяперашні час вядома некалькі тысяч спадчынных хвароб чалавека. Іх выяўленнем, вывучэннем, распрацоўкай метадаў прафілактыкі і лячэння займаецца *медыцынская генетыка*.

**Генныя хваробы** — шырокая група захворванняў, абумоўленых геннымі мутацыямі, г. зн. пашкоджаннем ДНК на ўзроўні асобных генаў. Такія мутацыі прыводзяць да змянення структуры і функцый адпаведных бялкоў, што і ляжыць у аснове фенатыпічнага праяўлення генных хвароб. У большасці выпадкаў генныя захворванні кантралююцца адной парай алельных генаў і наследуюцца паводле законаў Г. Мендэля. Агульная частата іх праяўлення ў чалавечых папуляцыях складае 2—4 %.

Генныя хваробы часцей за ўсё звязаны з парушэннем абмену пэўных рэчываў — амінакіслот, вугляводаў, ліпідаў і г. д. Акрамя таго, генныя мутацыі могуць быць прычынай няправільнага развіцця і функцыянавання тых ці іншых тканак і органаў. Так, дэфектнымі генамі абумоўлены *спадчынная глухата, атрафія зрокавага нерва, шасціпаласць, караткапаласць* і шмат якія іншыя паталагічныя прыметы.

Адным з самых распаўсюджаных і найбольш вывучаных генных захворванняў з'яўляецца **фенілкетанурыя (ФКУ)**. Хвароба наследуецца па аўтасомна-рэцэсіўным тыпе і сустракаецца ў сярэднім у аднаго з 8000 нова-народжаных (даня пра частату сустракаемасці тут і далей прыведзены не для запамінання). ФКУ абумоўлена дэфектам гена, які кадыруе фермент, што ператварае амінакіслату фенілаланін у другую амінакіслату — тыразін. Дзеці з фенілкетанурыяй нараджаюцца знешне здаровымі, аднак дадзены фермент у іх неактыўны. Таму фенілаланін назапашваецца ў арганізме і ператвараецца ў шэраг таксічных рэчываў, якія пашкоджаюць нервовую сістэму дзіцяці. У выніку гэтага развіваюцца парушэнні мышачнага тонусу і рэфлексаў, сутаргі, пазней далучаецца адставанне ў разумовым развіцці.

Своечасовая пастаноўка дыягназу (на самых ранніх этапах жыцця) і перавод дзіцяці на спецыяльную дыету з нізкім утрыманнем фенілаланіну дазваляюць прадухіліць развіццё хваробы. Строгая дыета не абавязковая на працягу ўсяго жыцця, паколькі нервовая сістэма дарослага чалавека больш устойлівая да таксічных прадуктаў абмену фенілаланіну.



Некаторыя спадчынныя хваробы абумоўлены мутацыямі генаў, размешчаных у палавых храмасомах. Як вы ўжо ведаеце, да гэтай групы захворванняў належыць **гемафілія** — спадчыннае парушэнне згусання

крыві. Гэта рэцэсіўнае счэпленнае з X-храмасомай захворванне звязана са зніжэннем ці парушэннем сінтэзу пэўнага фактару згусання крыві. Пры цяжкай форме гемафіліі крывацёкі, небяспечныя для жыцця хворага, могуць быць выкліканы нават нязначнай на першы погляд траўмай. Лячэнне хворых гемафіліяй заснавана на ўвядзенні фактару згусання, якога не хапае ў арганізме.

**Храмасомныя хваробы** абумоўлены храмасомнымі і геномнымі мутацыямі, г. зн. звязаны са змяненнем структуры ці колькасці храмасом. Сярод іх можна вылучыць *структурныя парушэнні храмасом, трысаміі па аўтасомах і лікавыя анамаліі палавых храмасом*.

Прыкладам захворвання, выкліканага парушэннем структуры храмасом, можа быць **сіндром «кацінага крыку»**, абумоўлены дэлецыяй фрагмента 5-й храмасомы. Характэрнай прыметай гэтай цяжкай хваробы з'яўляецца спецыфічны плач дзіцяці, звязаны з анамаліямі развіцця гартані, які нагадвае мяўканне кошкі. Дзеці з сіндромам «кацінага крыку» нараджаюцца з нізкай масай цела і недаразвіцём галаўнога мозгу. Яны адстаюць ад здаровых аднагодкаў у фізічным і разумовым развіцці. Толькі малая частка хворых (каля 14 %) дажывае да ўзросту 10 гадоў.

Прычынай такой шырока вядомай і распаўсюджанай храмасомнай хваробы чалавека, як **сіндром Даўна**, з'яўляецца трысамія па 21-й храмасоме. Частата захворвання ў сярэднім складае адзін выпадак на 700 нованароджаных. Для людзей з сіндромам Даўна характэрны разумовая адсталасць, нізкі рост, прыплюснуты твар, мангалоідны разрэз вачэй, дэфармаваныя вушныя ракавіны (мал. 98). Часта назіраюцца касавокасць, парокі сардэчна-сасудзістай сістэмы, органаў стрававання і інш.

Вядомыя таксама захворванні, абумоўленыя трысаміяй па 13-й і 18-й храмасомах. Дзеці з такімі анамаліямі звычайна паміраюць у раннім узросце ў сувязі з многымі парокімі развіцця.

Некаторыя храмасомныя хваробы чалавека звязаны са змяненнем нармальнай колькасці палавых храмасом. Так, у дзяўчынак з монасаміяй па X-храмасоме (набор 44A + X0, нулём абазначаюць адсутнасць храмасомы) развіваецца **сіндром Шарашэўскага — Тэрнера**. Частата сустракаемасці захворвання складае каля аднаго выпадку на 3000 нова-



Мал. 98. Дзіця з сіндромам Даўна



Мал. 99. Дзяўчынка  
12 гадоў з сіндромам  
Шарашэўскага —  
Тэрнера

народжаных дзяўчынак. Хворыя адрозніваюцца нізкім ростам, недаразвіццём першасных і другасных палавых прымет, бясплоддзем. Прыкладна ў паловы дзяўчынак з гэтым сіндромам скарачана шыя, ад патыліцы да плячэй праходзяць крылападобныя складкі скуры (мал. 99).

**Сіндром полісаміі па X-храмасоме** ў жанчын назіраецца з частатой каля 1 : 700. Часцей за ўсё ён абумоўлены трысаміяй (набор 44A + XXX), радзей сустракаюцца тэтрасамія (44A + XXXX) і пентасамія (44A + XXXXX). У большасці выпадкаў сіндром не суправаджаецца значнымі фенатыпічнымі праўленнямі. У некаторых жанчын можа праўляцца невялікая разумовая адсталасць, часам адзначаецца бясплоддзе.

**Сіндром Кляйнфельтэра** сустракаецца ў сярэднім у аднаго з 500 мужчын. Захворванне звязана з наяўнасцю лішняй X-храмосомы (карыятып 44A + XXУ) і праўляецца ў перыяд палавога паспявання. Для хворых характэрна недаразвіццё вонкавых палавых органаў і ячэек, парушэнне працэсу сперматагенезу і, як вынік гэтага, бясплоддзе. Мужчыны з сіндромам Кляйнфельтэра звычайна валодаюць высокім ростам, жанчынападобным целаскладам, у іх адзначаюцца павелічэнне малочных залоз і слабы рост валасоў на твары (мал. 100).



Мал. 100. Юнак  
з сіндромам  
Кляйнфельтэра

**Захворванні са спадчыннай схільнасцю** складаюць асаблівую групу хвароб чалавека. Да іх належаць, напрыклад, гіпертанічная хвароба, бронхіальная астма, ішэмічная хвароба сэрца, цыроз печані, язвая хвароба страўніка і інш. Галоўнае адрозненне гэтых захворванняў ад генных і храмасомных заключаецца ў значным уплыве ўмоў навакольнага асяроддзя і спосабу жыцця чалавека на развіццё і працяканне хваробы. Пэўнае спалучэнне неспрыяльных фактараў можа спрыяць раньняму праўленню хваробы са спадчыннай схільнасцю. Так, злоўжыванне алкаголем можа справакаваць развіццё цырозу печані, язвы страўніка, шэрага іншых захворванняў, а курэнне прывесці да ўзнікнення гіпертанічнай хваробы, бронхіальнай астмы і г. д.

**Дыягностыка, лячэнне і прафілактыка спадчынных хвароб.** У многіх краінах свету, у тым ліку і ў Рэспубліцы Беларусь, існуе сетка ўстаноў, якія забяспечваюць *медыка-генетычнае кансультаванне* насельніцтва. Галоўнай мэтай такога кансультавання з’яўляецца прадухіленне нараджэння дзяцей са спадчыннымі захворваннямі.

Бацькі будучага дзіцяці, у якіх ёсць сваякі са спадчыннымі хваробамі або якія ўжо маюць дзяцей з прыроджанай паталогіяй, павінны звяртацца ў медыка-генетычную кансультацыю ў першую чаргу. Медыка-генетычнае кансультаванне таксама паказана ў выпадку, калі будучая маці старэйшая за 35 гадоў (пры гэтым істотна ўзрастае верагоднасць з’яўлення дзяцей са спадчыннымі анамаліямі), і сем’ям, у якіх муж з жонкай з’яўляюцца кроўнымі сваякамі. Лічыцца, што кожны чалавек з’яўляецца носьбітам хаця б некалькіх шкодных рэцэсіўных мутацый. У блізкароднасных шлюбках значна павышана верагоднасць гетэразіготнасці мужа з жонкай па адных і тых жа рэцэсіўных генах. Таму ў бацькоў, якія знаходзяцца ў кроўным сваяцтве, частата нараджэння дзяцей з рэцэсіўнымі спадчыннымі хваробамі значна вышэйшая, чым у няроднасных шлюбках.

Выкарыстанне разнастайных метадаў (генеалагічнага, цытагенетычнага, біяхімічных і інш.) дазваляе ўрачам-генетыкам вызначыць верагоднасць нараджэння дзіцяці са спадчыннай паталогіяй, на ранніх этапах антагенезу выявіць хваробу і своечасова прызначыць адпаведнае лячэнне.

У залежнасці ад спецыфікі спадчыннага захворвання яго лячэнне можа ўключаць выкананне асаблівай дыеты (напрыклад, у выпадку фенілкетанурыі), увядзенне пэўных гармонаў ці іншых БАР, спецыяльных лекавых прэпаратаў. Так, тым, хто хварэе на спадчынную форму цукровага дыябету, прызначаюць ін’екцыі інсуліну, гемафілікам — фактару згусання крыві, якога не хапае ў арганізме. Пры сіндромах Шарашэўскага — Тэрнера, Кляйнфельтэра і некаторых іншых прымяняюць увядзенне палавых гармонаў. Таксама ў апошнія дзесяцігоддзі актыўна распрацоўваюцца метады *генатэрапіі*, гаворка пра якія пойдзе ў наступным раздзеле.

Вядома, што хваробу, у тым ліку і спадчынную, лягчэй папярэдзіць, чым лячыць. Акрамя таго, на сённяшні дзень эфектыўныя метады лячэння існуюць далёка не для ўсіх спадчынных захворванняў. Таму важным сродкам барацьбы з імі з’яўляецца прафілактыка. Будучым бацькам неабходна ўлічваць, што курэнне, ужыванне алкаголю і асабліва наркотыкаў рэзка павялічваюць верагоднасць нараджэння дзіцяці са спадчыннымі анамаліямі. Важнымі ўмовамі зніжэння частаты з’яўлення спадчынных



хвароб з'яўляюцца таксама клопат пра чысціню навакольнага асяроддзя, праверка на генетычную бяспеку лекавых і касметычных сродкаў, харчовых дабавак, прэпаратаў бытавой хіміі, своєчасовы зварот сем'яў у медыка-генетычныя кансультацыі і інш.



Сярод спадчынных захворванняў чалавека адрозніваюць генныя і храмасомныя хваробы. Генныя захворванні (фенілкетанурыя, гемафілія і інш.) абумоўлены геннымі мутацыямі. Прычынай храмасомных хвароб з'яўляюцца храмасомныя і геномныя мутацыі. Храмасомныя захворванні могуць быць звязаны са структурнымі парушэннямі храмасом (сіндром «кацінага крыку»), аўтасомнымі трысаміямі (сіндром Даўна), лікавымі анамаліямі палавых храмасом (сіндромы Кляйнфельтэра, Шарашэўскага — Тэрнера, полісаміі па Х-храмасоме ў жанчын). Асаблівую групу складаюць хваробы са спадчыннай схільнасцю, развіццё і працяканне якіх у вялікай ступені залежыць ад умоў асяроддзя і спосабу жыцця чалавека. Існуюць розныя метады дыягностыкі і лячэння спадчынных хвароб, аднак галоўную ролю ў барацьбе са спадчыннымі хваробамі адыгрывае іх прафілактыка.



1. У чым заключаецца прынцыповае адрозненне паміж геннымі і храмасомнымі хваробамі?
2. Ахарактарызуйце вядомыя вам генныя і храмасомныя захворванні чалавека.
3. У чым заключаецца галоўнае адрозненне хвароб са спадчыннай схільнасцю ад генных і храмасомных? Якія фактары могуць спрыяць развіццю захворванняў са спадчыннай схільнасцю?
4. У чым заключаецца асноўная мэта медыка-генетычнага кансультавання? У якіх выпадках зварот у медыка-генетычную кансультацыю з'яўляецца абсалютна неабходным?
5. Чаму ў сем'ях, дзе муж з жонкай з'яўляюцца кроўнымі сваякамі, значна павышана рызыка нараджэння дзяцей са спадчыннымі анамаліямі?
6. Для людзей з якімі спадчыннымі захворваннямі магчыма ўжыванне гарманальнага лячэння? Дыетатэрапіі?
7. Назавіце асноўныя меры прафілактыкі ўзнікнення спадчынных хвароб чалавека.
- 8\*. Нараджэнне дзяцей з якімі храмасомнымі хваробамі магчыма, калі ў бацькі меэз працякае нармальна, а ў маці палавыя храмасомы не разыходзяцца (абедзве перамяшчаюцца да аднаго з двух полюсаў клеткі)? Або калі ў маці меэз працякае нармальна, а ў бацькі назіраецца неразыходжанне палавых храмасом?

## ПАДВЯДЗЁМ ВЫНІКІ

Вывучэннем спадчыннасці і зменлівасці арганізмаў займаецца генетыка. Заснавальнікам гэтай навукі з'яўляецца Г. Мендэль. У сярэдзіне XIX ст. з дапамогай гібрыдалагічнага метаду ён выявіў найважнейшыя заканамернасці наследавання прымет, вядомыя зараз як законы Мендэля. Гэта закон аднастайнасці гібрыдаў першага пакалення, закон расшчаплення і закон незалежнага наследавання.

Вялізны ўклад у развіццё генетыкі таксама ўнёс Т. Морган, даследаванні якога леглі ў аснову храмасомнай тэорыі спадчыннасці. Т. Морган вызначыў, што гены размяшчаюцца ў храмасомах у пэўнай паслядоўнасці, прычым алельныя гены знаходзяцца ў аднолькавых локусах гамалагічных храмасом. Неалельныя гены могуць размяшчацца ў негамалагічных храмасомах або ў розных локусах гамалагічных храмасом. У першым выпадку яны наследуюцца незалежна, а ў другім — счэплена. Счэпленне генаў можа парушацца ў выніку кросінговера, прычым яго верагоднасць прапарцыянальная адлегласці паміж генамі.

Асноўнымі тыпамі ўзаемадзеяння алельных генаў з'яўляюцца: поўнае дамінаванне, няпоўнае дамінаванне і кадамінаванне.

У большасці раздзельнаполых арганізмаў пол вызначаецца спалучэннем палавых храмасом. Асобіны гомагаметнага полу маюць дзве аднолькавыя палавыя храмасомы і ўтвараюць адзін тып гамет. Гетэрагаметны пол змяшчае розныя палавыя храмасомы і фарміруе два тыпы гамет. Таму ў патомстве ў такіх арганізмаў назіраецца расшчапленне па поле 1 : 1. Прыметы, якія кантралююцца генамі, лакалізаванымі ў палавых храмасомах, называюцца прыметамі, счэпленымі з полам.

Фенатып арганізма залежыць як ад генатыпу, так і ад умоў навакольнага асяроддзя. Адрозніваюць няспадчынную (мадыфікацыйную) і спадчынную (камбінатыўную і мутацыйную) зменлівасць.

Для вывучэння спадчыннасці і зменлівасці чалавека выкарыстоўваюцца такія метады, як метад блізнят, генеалагічны, цытагенетычны, біяхімічныя і інш. Спадчынныя захворванні чалавека абумоўлены мутацыямі. Прычынай генных хвароб з'яўляюцца генныя мутацыі. У аснове ўзнікнення храмасомных хвароб ляжаць храмасомныя і геномныя мутацыі.



Чалавек разумны, як і іншыя віды жывых арганізмаў, аказвае ўздзеянне на навакольнае асяроддзе. Аднак, менавіта дзякуючы сваёй разумнасці, чалавек мэтанакіравана змяняе не толькі нежывую прыроду, але і прадстаўнікоў іншых відаў. Каб заўважыць гэта, дастаткова параўнаць свойскую жывёлу і культурныя расліны з іх дзікімі суродзічамі. Напрыклад, культурную бульбу, якая дае клубні масай 300—400 г, і дзікарослую з клубнямі масай каля 2 г. Ці ацаніць магчымасці курэй яйцаносных парод, якія даюць яйкі штодня, і іх дзікіх продкаў, што адкладваюць яйкі толькі ў сезон размнажэння. Пра тое, як у чалавека атрымалася дасягнуць такіх вынікаў, вы даведаецеся з гэтага раздзела.

## § 40. Селекцыя і яе роля ў жыцці чалавецтва

*Узнікненне селекцыі.* З гісторыі вы ведаеце, што першабытныя людзі на пэўным этапе свайго існавання перайшлі ад палявання і збіральніцтва да вырошчвання раслін і гадоўлі жывёл.

Замацаванню такога спосабу жыцця спрыяла перадача з пакалення ў пакаленне вопыту вядзення сельскай гаспадаркі. Сутнасць яго заключалася не толькі ў захаванні звестак пра спрыяльныя ўмовы для развіцця раслін і жывёл. Галоўным у такім вопыце было наступнае: пакідаць для размнажэння тыя арганізмы, якія ў найбольшай ступені адказвалі запытам чалавека. Гэта прывяло да таго, што з часам расліны і жывёлы, якія вырошчваліся чалавекам, сталі моцна адрознівацца ад тых, што жылі ў дзікай прыродзе.

Апісаная вышэй дзейнасць людзей не была спецыяльна накіравана на стварэнне арганізмаў са змененымі ўласцівасцямі, тым не менш яна прывяла да з'яўлення культурных раслін і свойскай жывёлы. З развіццём чалавечага грамадства гэта дзейнасць не толькі не згасла, але і атрымала далейшае развіццё. З'явілася мноства дэкаратыўных

раслін і свойскай жывёлы, якія задавальвалі не толькі матэрыяльныя, але і эстэтычныя патрэбнасці чалавека. Для іх вывядзення выкарыстоўваўся ўсё той жа адбор, але ў гэтым выпадку ён ужо ажыццяўляўся мэтанакіравана. Пэўныя асобіны адбіраліся ў залежнасці ад пажаданняў гаспадароў. Так з'явіліся вялізныя сенбернары і мініяцюрныя чыхуахуа (мал. 101), паштовыя галубы і няздольныя нармальна лятаць галубы-дутьшы, цюльпаны і касачы з пялёсткамі разнастайных колераў і г. д.



Мал. 101. Вынікі селекцыі сабак

Паступова вывядзенне культурных раслін і свойскай жывёлы ператварылася ў асаблівую практычную дзейнасць, якая атрымала назву «селекцыя».

**Практычныя вынікі селекцыі.** У канцы XIX — пачатку XX ст. дзякуючы развіццю прыродазнаўчых навук селекцыя аформілася ў асаблівую навуковы напрамак. У сучаснай трактоўцы **селекцыя** — гэта навука пра стварэнне новых і ўдасканаленне ўжо існуючых парод жывёл, сартоў раслін і штамаў мікраарганізмаў.

**Парада, сорт, штаб** — гэта спецыяльна выведзеныя групы арганізмаў, якія валодаюць карыснымі для чалавека прыметамі. Такія групы мэтанакіравана падтрымліваюцца шляхам размнажэння, якое кантралюецца чалавекам.

Яркім прыкладам з'яўляецца развядзенне сабак розных парод. Для атрымання патомства, якое валодае пароднымі якасцямі, людзі спецыяльна падбіраюць бацькоўскія пары, што і забяспечвае захаванне пароды. Пры адсутнасці кантролю за скрыжаваннем прыметы пароды, як правіла,

не захоўваюцца. Узнікшае ў выніку свабоднага размнажэння патомства вядома ўсім як беспародныя сабакі — дварнякі. На гэтым прыкладзе бачна, што ажыццяўляемы чалавекам адбор — гэта не толькі метада атрымання пароды, але і спосаб яе падтрымання і захавання.

Падобным чынам, за кошт унутрыпароднага скрыжавання, падтрымліваюцца пароды і іншых жывёл, якіх разводзіць чалавек. Сарты раслін у большасці выпадкаў падтрымліваюцца за кошт вегетатыўнага размнажэння. Як вам вядома, пры такім размнажэнні патомства цалкам захоўвае прыметы бацькоў. Штамы мікраарганізмаў таксама захоўваюцца дзякуючы характэрнаму для іх бяспаламу размнажэнню.

Такім чынам, **штучны адбор** — выбар чалавекам найбольш каштоўных у гаспадарчых ці дэкаратыўных адносінах асобін для атрымання ад іх патомства з жаданымі прыметамі і ўласцівасцямі. Штучны адбор з'яўляецца асноўным метадам атрымання сартоў, парод і штамаў.

**Метады селекцыйнай работы XX ст.** У залежнасці ад уласцівасцей арганізмаў, якія падлягаюць штучнаму адбору, адрозніваюць яго варыянты. Так, для вывядзення парод жывёл асноўным варыянтам з'яўляецца *індывідуальны адбор*. Яго сутнасць заключаецца ў скрыжаванні паміж сабой асобін, якія валодаюць патрэбнымі селекцыянеру прыметамі. Атрыманя ў такіх скрыжаваннях патомкі аналізуюцца на наследаванне жаданых прымет, і сярод іх адбіраюцца пары для наступных скрыжаванняў.

У селекцыі раслін, акрамя індывідуальнага адбору, ужываюць *масавы адбор*. У гэтым выпадку насенне, атрыманае пасля штучнага апылення раслін, выбраных пры індывідуальным адборы, высейваюць на асобных дзялянках. Затым параўноўваюць выяўленасць пэўнай прыметы (напрыклад, ураджайнасць) у раслін, атрыманых пасля розных скрыжаванняў. Для наступнага этапу селекцыі выкарыстоўваюць насенне ўжо не асобных раслін, а ўсіх экзэмпляраў, вырашчаных на дадзенай дзялянцы.

У селекцыйнай рабоце шырока выкарыстоўваюцца пэўныя метады скрыжавання (*гібрыдызацыі*) арганізмаў. На першапачатковых этапах вывядзення сартоў ці парод ажыццяўляюць міжпародную (ці міжсартавую) гібрыдызацыю. Яна называецца **аўтбрыдынгам**. Калі настае этап замацавання атрыманых новых прымет у патомстве, пераходзяць да **інбрыдынгу** — скрыжаванню ўнутры атрыманай невялікай групы. Інбрыдынг ужываецца і для захавання выведзенага сорту ці пароды.

Аўтбрыдынг і інбрыдынг уяўляюць сабой варыянты гібрыдызацыі арганізмаў, якія належаць да аднаго віду. Аднак у шэрагу выпадкаў магчыма і атрыманне патомства пры скрыжаванні асобін розных відаў. Такія скрыжаванні называюць **аддаленай гібрыдызацыяй**.

Атрыманае ў выніку аддаленай гібрыдызацыі патомства, як правіла, аказваецца бясплодным. Гэта звязана з тым, што ў клетках гібрыда

прысутнічаюць два гаплоідныя наборы храмасом розных відаў жывых арганізмаў, а не дыплоідны набор храмасом аднаго віду, які складаецца з гамалагічных храмасом. З прычыны гэтага ў першым дзяленні меэзу парушаецца працэс кан'югацыі храмасом (успомніце § 18), што і прыводзіць у выніку да бясплоддзя.

Аднак у селекцыі раслін існуе *метад пераадолення бясплоддзя міжвідавых гібрыдаў*. Як вам ужо вядома, у раслін, у адрозненне ад жывёл, паліплоідныя формы не толькі жыццяздольныя, але і, як правіла, валодаюць павышанай хуткасцю развіцця і росту, маюць большыя памеры і ўраджайнасць. Таму сутнасць метаду заключаецца ў штучным падваенні храмасомных набораў у клетках атрыманай пасля аддаленай гібрыдызацыі расліны. Гэта ажыццяўляецца шляхам апрацоўкі расліны асаблівымі мутагенамі. У выніку атрымліваюць паліплоід міжвідавога гібрыда. У яго клетках меэз праходзіць без парушэнняў, бо кожная з храмасом знаходзіць сабе пару пры кан'югацыі. Аднак для пераважнай большасці жывёл падваенне храмасомнага набору з'яўляецца лятальнай мутацыяй. Таму атрыманне парод жывёл на аснове аддаленай гібрыдызацыі немагчыма.

З раздзела 6 вы ведаеце, што аснову неабходнай для штучнага адбору спадчынай зменлівасці складаюць мутацыі. У прыродных умовах мутацыі сустракаюцца з нізкай частатой, але з дапамогай мутагенаў можна павялічыць частату іх узнікнення. Таму адным з асноўных метадаў селекцыйнай работы з бактэрыямі і грыбамі стаў **індуцыраваны мутагенез**. Яго сутнасць заключаецца ў апрацоўцы мутагенамі зыходных штамаў і праверцы выяўленасці гаспадарча карысных прымет у атрыманага пасля такога ўздзеяння патомства.

Пры правільна падабраных дозах і часу дзеяння мутагенаў у апрацаваных клетках узнікае мноства розных мутацый. Аднак, узрастае і верагоднасць мутацыйных змяненняў, якія ўплываюць на прымету, што цікавіць селекцыянераў. Напрыклад, без мутагенеза для выяўлення мікраарганізмаў, якія ўтвараюць больш антыбіётыка, чым тыя штамы, што ўжо выкарыстоўваюцца, неабходна правесці некалькі мільярдаў калоній. Пасля ўдала праведзенага мутагенеза можна выявіць шуканую калонію сярод некалькіх тысяч прааналізаваных варыянтаў.

**Дасягненні селекцыі ХХ ст.** Узнікшы на пачатку чалавечай цывілізацыі як чыста практычная дзейнасць, селекцыя ператварылася ў навуку, дзякуючы якой чалавецтва паспяхова вырашала харчовую праблему на працягу апошніх стагоддзяў. Больш таго, інтэнсіўнае развіццё сельскай гаспадаркі стала адной з галоўных асноў павелічэння колькасці насельніцтва Зямлі з 1 млрд у 1804 г. да 6 млрд у 1999 г. Прычым у другой палове ХХ ст. сельская гаспадарка свету развівалася пераважна за кошт укаранення ў практыку новых сартоў і парод.

У цяперашні час бурны рост насельніцтва працягваецца — ужо ў 2011 г. насельніцтва зямнога шара дасягнула 7 млрд чалавек. Пра тое, ці змога справіцца сучасная селекцыя з вырашэннем новай харчовай праблемы, вы даведаецеся з наступных параграфіаў.



Селекцыя — навука пра стварэнне новых і ўдасканаленне ўжо існуючых парод жывёл, сартоў раслін і штамаў мікраарганізмаў. Парода, сорт, штама — гэта групы арганізмаў, якія былі выведзены і падтрымліваюцца чалавекам, і валодаюць карыснымі для людзей прыметамі. Асноўным метадам стварэння парод, сартоў і штамаў з'яўляецца штучны адбор. Яго сутнасць заключаецца ў правядзенні ў шэрагу пакаленняў выбару і размнажэння толькі тых арганізмаў, у якіх жаданыя ўласцівасці выяўлены ў найбольшай ступені. Новыя сарты і пароды ствараюцца шляхам скрыжавання (гібрыдызацыі) раслін ці жывёл з рознымі ўласцівасцямі. Для стварэння штамаў мікраарганізмаў шырока выкарыстоўваецца індукцыраваны мутагенез.



1. Чым адрозніваюцца культурныя расліны і свойская жывёла ад іх дзікіх продкаў?
2. Як падтрымліваецца чысціня пароды пры развядзенні свойскай жывёлы?
3. У чым заключаецца сутнасць індывідуальнага штучнага адбору? Масавага?
4. Што такое аўтбрыдынг і інбрыдынг? Калі і для чаго яны ўжываюцца?
5. Чаму аддаленая гібрыдызацыя рэдка прыводзіць да стварэння новых парод і сартоў? Як атрымліваецца пераадолець бясплоддзе міжвідавых гібрыдаў?
6. Для чаго ў селекцыйнай рабоце ўжываецца індукцыраваны мутагенез?
- 7\*. У другой палове XX ст. шэраг краін (у прыватнасці, Мексіка і Індыя) здолелі павялічыць эфектыўнасць сваёй сельскай гаспадаркі ў 3—5 разоў за 15—20 гадоў. Гэту з'яву назвалі зялёнай рэвалюцыяй. Менавіта што стала асноўным у ажыццяўленні зялёнай рэвалюцыі? Выкарыстайце дадатковыя крыніцы інфармацыі.

## § 41. Біятэхналогія і яе роля ў развіцці чалавецтва ў XXI ст. Трансгенныя расліны

У другой палове XX ст. для атрымання неабходных чалавеку рэчываў у шырокіх маштабах сталі ўжывацца мікраарганізмы. З'явілася мікрабіялагічная прамысловасць, прадукты якой — антыбіётыкі, кармавыя дабаўкі, амінакіслоты, вітаміны і іншыя БАП — сталі вырабляцца ва ўсё большых колькасцях. Па сваёй інтэнсіўнасці вытворчасць прадуктаў на аснове выкарыстання жывых арганізмаў стала набліжацца да чыста тэхналагічных працэсаў. У сукупнасці гэта прывяло да з'яўлення новага

слова — «біятэхналогія». Сучасная **біятэхналогія** — гэта атрыманне якіх-небудзь прадуктаў на аснове выкарыстання жывых арганізмаў, культур клетак і атрыманых з іх ферментаў.

*Генетычная інжынерыя як аснова сучаснай біятэхналогіі.* У 70-х гадах XX ст. вучоныя-біёлагі ўжо валодалі метадамі аб'яднання малекул ДНК у лабараторных умовах. З дапамогай спецыяльных ферментаў стала магчымым разразаць малекулы ДНК на асобныя фрагменты і затым злучаць у выбраным чалавекам парадку. Такі спосаб работы з малекуламі ДНК атрымаў назву **генетычнай інжынерыі**. Самае галоўнае, што такія штучна састаўленыя з асобных фрагментаў малекулы пасля іх увядзення ў клеткі выкарыстоўваюцца імі як звычайныя малекулы ДНК. Гэта значыць, што закадзіраваная ў іх генетычная інфармацыя рэалізуецца шляхам транскрыпцыі і трансляцыі.

Арганізмы, геном якіх быў зменены з дапамогай метадаў генетычнай інжынерыі і змяшчае хаця б адзін актыўна функцыянуючы ген іншага арганізма, называюць **трансгеннымі (генетычна мадыфікаванымі, ці ГМА)**.

*Трансгенныя расліны як аснова сельскай гаспадаркі XXI ст.* У апошняй чвэрці XX ст. селекцыйная работа ў галіне раслінаводства выйшла на прынцыпова новы ўзровень. Гэтаму спрыяла адкрыццё асаблівага спосабу паразітавання, які выкарыстоўваюць бактэрыі з роду Аграбактэрыум. Такі спосаб паразітавання істотна адрозніваецца ад звычайных. Звычайныя паразіты, пасяляючыся ў гаспадары, проста выкарыстоўваюць тое, што ёсць у гаспадара першапачаткова. Аграбактэрыі ж генетычна змяняюць свайго гаспадара, бо перадаюць яму ўласныя гены.

Пасля адкрыцця гэтай з'явы былі распрацаваны прынцыпова новыя метады атрымання сартоў. З дапамогай гена-інжынерных метадаў у ДНК, якую аграбактэрыі перадаюць у расліну, замяняюць патрэбныя аграбактэрыям гены на гены, патрэбныя селекцыянерам. Затым гэту ДНК вяртаюць у клеткі аграбактэрыі. Пры апрацоўцы раслінных клетак такімі бактэрыямі яны пераносяць у іх створаную чалавекам ДНК як сваю ўласную.

Гэта дазваляе ствараць трансгенныя сарты, атрыманне якіх метадамі традыцыйнай селекцыі немагчыма. Напрыклад, для надання ўстойлівасці да насякомых-шкоднікаў раслінам перадаюць пэўныя гены бактэрыі, якія выклікаюць хваробы насякомых. У клетках такіх раслін будзе сінтэзавацца бялок, таксічны для насякомых. Насякомыя-шкоднікі гінуць, калі ўжываюць зусім невялікую колькасць тканак раслін гэтага сорту. Таму для барацьбы з імі няма неабходнасці прымяняць дарагія і шкодныя для





Мал. 102. Вынікі выпрабавання трансгеннай бульбы, устойлівай да каларадскага жука: а — трансгенны сорт у перыяд масавага размнажэння каларадскага жука; б — звычайны сорт у тых жа ўмовах

чалавека і навакольнага асяроддзя хімічныя сродкі аховы раслін (мал. 102).

Выкарыстоўваючы розныя гены, сучасныя селекцыянеры метадамі генетычнай інжынерыі атрымліваюць сарты раслін, устойлівыя да засухі, замаразкаў і іншых неспрыяльных умоў. Гэта дазваляе пашыраць зоны пасяховага земляробства і разгортваць прадукцыйную сельскую гаспадарку ў тых рэгіёнах свету, дзе яна да гэтага часу адсутнічала.

Надаецца сур'ёзная ўвага і змяненню пажыўных уласцівасцей сельскагаспадарчых раслін. Напрыклад, атрыманы трансгенныя сарты кукурузы, соі і іншых кармавых культур, у якіх утрыманне бялку і незаменных амінакіслот вышэйшае ў параўнанні са старымі сартамі.

З дапамогай генетычнай інжынерыі раслін вырашаюцца некаторыя медыцынскія праблемы. Так, у Японіі скончаны выпрабаванні сартоў рысу, спажыванне якіх дазволіць дапамагчы людзям, якія маюць алергію на пылок хвойных раслін.

Метадамі генетычнай інжынерыі для атрымання высокакаштоўных прадуктаў харчавання выведзены асаблівыя сарты раслін. Адным з прыкладаў з'яўляецца так званы «залаты рыс». Яго адметнай рысай з'яўляецца ўтварэнне значнай колькасці правітаміну А — караціну. Пры недахопе ў прадуктах харчавання гэтага рэчыва ў людзей развіваюцца хваробы вачэй, якія пры працяглым гіпавітамінозе могуць прыводзіць да поўнай слепаты. У цэлым шэрагу азіяцкіх краін сотні тысяч людзей пакутуюць ад такіх хвароб. У звычайным рысе, якім харчуецца большасць беднага насельніцтва, карацін практычна адсутнічае. Таму ў расліны рысу былі перанесены гены з раслін, у якіх караціну ўтвараецца шмат. Па разліках спецыялістаў, за кошт увядзення ў рацыён харчавання трансгеннага залатога рысу медыцынскую праблему, звязаную з дэфіцытам правітаміну А ў харчовым рацыёне чалавека, можна будзе вырашыць у бліжэйшыя дзесяцігоддзі.



На аснове трансгенных раслін магчыма таксама атрыманне бялкоў іных арганізмаў. Такія бялкі ўжываюцца, напрыклад, у ветэрынарыі і медыцыне. Умоўна гэтыя расліны называюцца *раслінамі-біярэактарамі*.

Дзякуючы генетычнай інжынерыі атрыманы дэкаратыўныя расліны, здольныя свяціцца пры слабым вячэрнім асвятленні за кошт пераносу ў іх генаў з марскіх бактэрый, якія свецяцца. З дапамогай пераносу гена фіялкі ў клеткі шыпшыны атрыманы блакітныя ружы, вывесці якія селекцыянеры беспаспяхова спрабавалі на працягу некалькіх стагоддзяў.

**Праблема біябяспекі.** Шырокае ўкараненне ў практыку трансгенных раслін выклікала пэўныя сацыяльныя змяненні ў грамадстве. Асноўнай праблемай, якая хвалюе вучоных, стала асцярога, што ствараемыя чалавекам трансгенныя расліны могуць выйсці з-пад кантролю чалавека і ўкараніцца ў прыродныя экасістэмы. Гэта, у сваю чаргу, можа прывесці да знікнення з біясферы некаторых відаў раслін, жывёл і мікраарганізмаў. Хоць верагоднасць гэтых падзей вельмі малая, навуковая грамадскасць не пакінула гэту тэарэтычную асцярогу без увагі. Таму на спецыяльных канферэнцыях і сімпозіумах былі распрацаваны правілы стварэння, выпрабавання і выкарыстання трансгенных раслін.

У часткі насельніцтва гэта асцярога вучоных трансфармавалася ў непрыманне трансгенных раслін і прадуктаў, якія з іх вырабляюцца. Пры гэтым прыродаахоўны аспект для звычайных людзей адышоў на другі план. Галоўнае, чаго баяцца людзі, ці не з'яўляюцца небяспечнымі трансгенныя расліны і іншыя генетычна мадыфікаваныя арганізмы для здароўя чалавека. З улікам гэтага, усе расліны, што ствараюцца метадамі генетычнай інжынерыі, павінны праходзіць абавязковую праверку на бяшкоднасць для чалавека і сельскагаспадарчых жывёл. У Рэспубліцы Беларусь прыняты закон «Аб бяспецы гена-інжынернай дзейнасці», які з'яўляецца асноўнай нарматыўна-прававой базай нацыянальнай сістэмы біябяспекі. Для каардынацыі дзейнасці прававых структур і насельніцтва ў Рэспубліцы Беларусь створаны і паспяхова працуе Нацыянальны каардынацыйны цэнтр біябяспекі.

Першыя дзесяцігоддзі цяперашняга стагоддзя пацвярджаюць правільнасць выбранага шляху інтэнсіўнага развіцця біятэхналогіі. Можна з упэўненасцю сцвярджаць, што далейшае развіццё чалавецтва будзе вызначацца ўсё больш шырокім укараненнем дасягненняў біялогіі ў практычную дзейнасць людзей. Таму сучасны адукаваны чалавек не павінен баяцца генетычна мадыфікаваных арганізмаў. Да іх стварэння і ўжывання трэба ставіцца як да аднаго з асноўных карысных вынікаў развіцця сучаснай навукі і тэхналогіі.



Сучасная біятэхналогія — гэта атрыманне якіх-небудзь прадуктаў на аснове выкарыстання жывых арганізмаў, культур клетак і атрыманых з іх ферментаў. Біятэхналогія грунтуецца на дасягненнях генетычнай інжынерыі, з дапамогай якой ствараюцца арганізмы з камбінацыямі прымет, што раней не існавалі. У селекцыі раслін новыя сарты ствараюцца шляхам перадачы ў раслінныя клеткі генаў іншых арганізмаў. Распрацоўка, выпрабаванне і выкарыстанне генетычна мадыфікаваных арганізмаў знаходзяцца пад пастаянным кантролем.



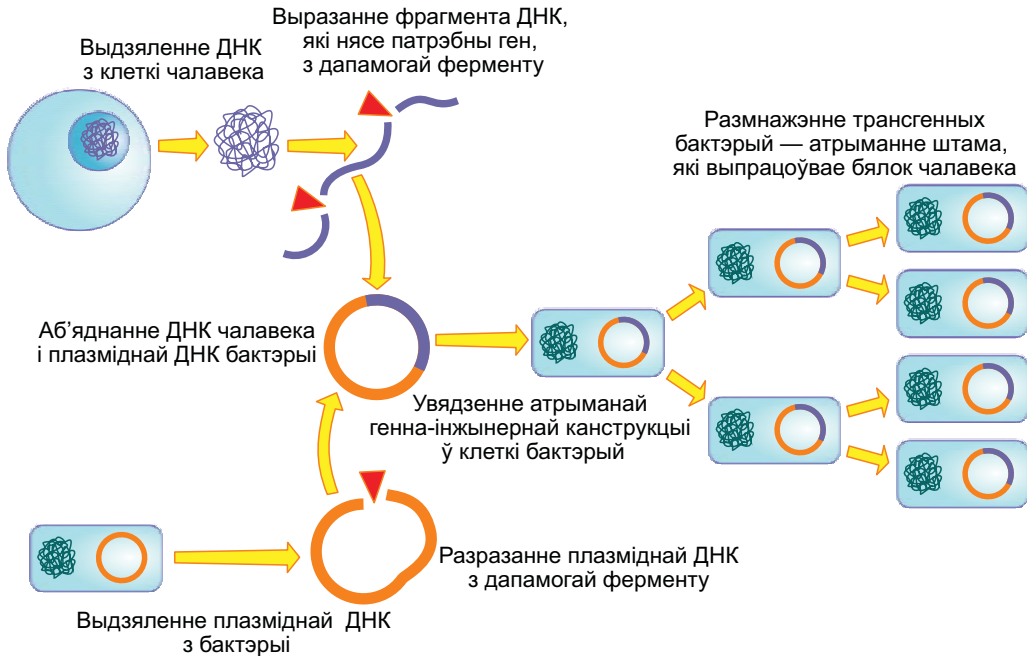
1. Што такое біятэхналогія?
2. Што такое генетычная інжынерыя?
3. Якія бактэрыі выкарыстоўваюцца для ўвядзення патрэбных чалавеку генаў у клеткі раслін?
4. Якую карысць прыносяць трансгенныя расліны сельскай гаспадарцы?
5. Чаму выкарыстанне трансгенных раслін трэба разглядаць як адну з мер аховы навакольнага асяроддзя?
6. Ці трэба баяцца трансгенных раслін і вырабленых з іх прадуктаў? Якая сістэма бяспекі існуе ў свеце?
- 7\*. Уявіце сабе, што вы атрымалі магчымасць самастойна планаваць атрыманне новых сартоў трансгенных раслін. Расліну з якімі ўласцівасцямі вы жадалі б стварыць, каб прынесці максімальную карысць сабе і чалавецтву?

## § 42. Біятэхналогія і яе роля ў развіцці чалавецтва ў XXI ст. Трансгенныя мікраарганізмы і жывёлы. Клетачная інжынерыя

*Атрыманне і прымяненне трансгенных мікраарганізмаў.* З развіццём генетычнай інжынерыі менавіта бактэрыі сталі першымі аб'ектамі для ўкаранення ў іх клеткі не ўласцівай ім першапачаткова генетычнай інфармацыі.

Вы ўжо ведаеце, што з дапамогай спецыяльных ферментаў можна злучаць у адной малекуле ДНК гены розных арганізмаў. Такія малекулы выкарыстоўваюць для стварэння генетычна мадыфікаваных мікраарганізмаў у працэсе атрымання штамаў з зададзенымі ўласцівасцямі. З раздзела 2 вам вядома, што ў бактэрыяльных клетках прысутнічаюць невялікія кальцавыя малекулы ДНК — плазміды. Плазмідную ДНК вылучаюць з клетак, злучаюць з фрагментамі ДНК, якія нясуць патрэбныя гены, і ўводзяць гэту генна-інжынерную канструкцыю ў клеткі мікраарганізмаў (мал. 103).





Мал. 103. Схема атрымання бактэрыяльнага прадукцэнта бялку чалавека

З выкарыстаннем такога метаду атрымліваюць бактэрыі, якія сінтэзуюць бялкі чалавека. Адным з першых паспяхова рэалізаваных праектаў, якія даказалі карыснасць такога біятэхналагічнага напрамку, было атрыманне бактэрыі, што выпрацоўваюць інсулін чалавека.

Бялок інсулін неабходны для аказання дапамогі людзям, якія хварэюць на цукровы дыябет. Да ўзнікнення генетычнай інжынерыі для гэтага выкарыстоўвалі інсулін кароў ці свіней. Аднак пры ўвядзенні ва ўнутранае асяроддзе чалавека бялкоў іншага віду на іх развіваецца імунны адказ. Таму эфектыўнасць дзеяння такога інсуліну падае і даводзіцца павялічваць дозы ўвядзення, што выклікае непажаданыя пабочныя эфекты. Замена інсуліну жывёл на атрыманы гена-інжынерным шляхам інсулін чалавека дазволіла знізіць узровень імунных адказаў. У цяперашні час больш за 70 % дыябетыкаў свету атрымліваюць ін'екцыі інсуліну чалавека, які вырабляецца на аснове штамаў бактэрыі і дражджэй, атрыманых метадамі генетычнай інжынерыі.

Яшчэ адным біятэхналагічным напрамкам з'яўляецца *выкарыстанне ферментаў мікраарганізмаў*. Для гэтага такія ферменты асаблівым чынам выдзяляюць з вырашчаных дражджэй ці бактэрыі і апрацоўваюць імі адпа-

ведныя субстраты. У прыватнасці, ферменты бактэрыяльнага ці грыбнога паходжання ўжываюцца для атрымання глюкозы з крухмалу і цэлюлозы. Пэўныя ферменты мікраарганізмаў дабаўляюць у сучасныя сродкі для мыцця бялізны. Атрыманыя з трансгенных штамаў-прадцэнтаў стрававальныя ферменты ўваходзяць у састаў прэпаратаў для паляпшэння стрававання і засваяльнасці кармоў сельскагаспадарчымі жывёламі.

*Атрыманне і прымяненне трансгенных жывёл.* Генетычная інжынерыя жывёл — найбольш складаны з усіх біятэхналагічных напрамкаў. Гэта звязана з адсутнасцю ва ўсіх пазваночных жывёл бясплага размнажэння, а ў млекакормячых — яшчэ і з немагчымасцю развіцця патомства па-за мацярынскім арганізмам. Аднак біятэхналогія XXI ст. здолела пераадолець гэтыя цяжкасці.

У цяперашні час распрацаваны метады ўвядзення дадатковай генетычнай інфармацыі ў клеткі практычна любых арганізмаў. Але атрымаць трансгеннае млекакормячае магчыма толькі з выкарыстаннем складаных метадалагічных падыходаў. Найбольш паспяховым з'яўляецца *метада мікраін'екцый у мужчынскі прануклеус*.

Для ажыццяўлення мікраін'екцый выкарыстоўваюць клеткі, атрыманыя адразу пасля зліцця яйцаклеткі і сперматазоіда. У млекакормячых пасля зліцця палавых клетак на працягу некалькіх гадзін ядры сперматазоіда і яйцаклеткі (мужчынскі і жаночы прануклеусы адпаведна) застаюцца не злітымі. У мужчынскі прануклеус з дапамогай спецыяльнага прыбора ўводзяць малекулы ДНК, якія змяшчаюць патрэбныя гены. Праз некаторы час адбываецца зліццё прануклеусаў, і зігота пачынае дзяліцца. Такія зіготы ўводзяцца ў матку спецыяльна падрыхтаванай самкі (сурагатнай маці). Праз адведзены для выношвання плода тэрмін нараджаецца трансгеннае дзіцяня. Такім спосабам можна атрымаць трансгенную жывёлу практычна любога віду млекакормячых.

Трансгенных жывёл атрымліваюць для навуковых і практычных мэт. У прыватнасці, на лабараторных трансгенных мышах створаны мадэлі цэлага шэрага спадчынных захворванняў чалавека. На такіх жывёлах адпрацоўваюцца магчымыя шляхі прадухілення гэтых захворванняў і аказання хворым медыцынскай дапамогі.

Некаторыя бялкі чалавека не атрымліваецца напрацоўваць з выкарыстаннем бактэрыяў, грыбоў ці культур клетак жывёл. У гэтым выпадку метадам мікраін'екцый можна атрымаць жывёлу, у малаце якой будзе змяшчацца бялок медыцынскага прызначэння. Прыкладам можа служыць адзін з фактараў згусання крыві чалавека, які неабходна перыядычна ўводзіць хворым на гемафілію. Па разліках вучоных, статак трансгенных жывёл (напрыклад, авечак) з колькасцю каля сотні асобін



§42-1

будзе здольны забяспечыць неабходным бялком усіх гемафілікаў свету. Такіх жывёл называюць *жывёламі-біярэактарамі*.

У межах генетычнай інжынерыі жывёл вядуцца работы не толькі па млекакормячых. Распрацоўваюцца больш эфектыўныя метады атрымання трансгенных птушак і рыб.

У селекцыйнай рабоце з сельскагаспадарчай птушкай асноўнымі напрамкамі з'яўляюцца атрыманне парод з палепшаным саставам мяса і яек, а таксама ўстойлівых да інфекцыйных захворванняў. Праводзяцца эксперыменты па стварэнні птушак-біярэактараў, у яйках якіх бялок птушыны альбумін быў часткова заменены на бялок медыцынскага ці ветэрынарнага прызначэння.

Для вывадзення парод рыб таксама выкарыстоўваюцца метады генетычнай інжынерыі. Так, у геном атлантычнага ласося быў уведзены ген гармону росту аднаго з відаў ціхаакіянскага ласося. Вынікам стала стварэнне ласося, які расце ў 2 разы хутчэй, чым рыбы зыходнай пароды (мал. 104). Яшчэ адным дасягненнем генетычнай інжынерыі рыб стала стварэнне парод акварыумных рыбак, якія свецяцца ў цемнаце. Для гэтага былі выкарыстаны гены медуз і каралаў, што кадзіруюць рознакаляровыя бялкі, якія свецяцца (мал. 105).

**Генатэрапія.** Сучасная малекулярная біялогія стварае асновы для паспяховага вырашэння праблемы спадчынных захворванняў чалавека. Звесткі пра мутантныя гены, якія вызначаюць спадчынныя хваробы, увесь час назапашваюцца ў адпаведных базах даных. Гэта дазваляе з выкарыстаннем трансгенных лабараторных жывёл мадэляваць спадчынныя захворванні людзей і на аснове гэтага распрацоўваць метады аказання дапамогі. Сутнасць так званай *генатэрапіі* заключаецца ў замене дэфектнага гена, які прыводзіць да хваробы, на нармальны. Для гэтага можна выкарыстоўваць два асноўныя падыходы.



Мал. 104. Асобіны ласося аднаго ўзросту зыходнай і трансгеннай парод



Мал. 105. Трансгенныя акварыумныя рыбка

У першым выпадку ДНК, якая нясе нармальны ген, уводзяць непасрэдна ў тканкі пэўных органаў чалавека, што мае спадчынную паталогію. У другім выпадку з паталагічна змененага органа чалавека хірургічна здабываюць невялікую колькасць клетак. Увядзенне ДНК з нармальным генам ажыццяўляюць у лабараторных умовах, размнажаюць клеткі, якія атрымалі нармальны ген, на пажыўных асяроддзях і затым уводзяць гэтыя клеткі ў адпаведны орган пацыента.

Абодва падыходы выкарыстоўваюцца ў дачыненні толькі да тых органаў, у якіх адбываецца пастаяннае аднаўленне клетак. Поспех лячэння залежыць ад таго, наколькі эфектыўна будзе адбывацца замена зыходных дэфектных клетак на клеткі, якія нясуць нармальны ген.

**Клетачная інжынерыя** — напрамак сучаснай біятэхналогіі, які заключаецца ў атрыманні арганізмаў з новымі ўласцівасцямі шляхам камбінавання асобных кампанентаў клетак. Так, напрыклад, можна пераносіць з клетак аднаго арганізма ў клеткі другога пэўныя арганойды ці замяняць у клетках ядры.

Да клетачнай інжынерыі належыць і *саматычная гібрыдызацыя*, г. зн. зліццё саматычных клетак у лабараторных умовах. З дапамогай дадзенага метаду ствараюць, напрыклад, міжвідавныя гібрыды раслін, якія нельга атрымаць шляхам звычайнага скрыжавання.

Для гэтага ізаляваныя раслінныя клеткі апрацоўваюць ферментамі, якія разбураюць клетачную сценку. Затым змешваюць апрацаваныя такім чынам клеткі двух розных відаў раслін. Дабаўляюць рэчывы, якія спрыяюць зліццю клетак, і ствараюць умовы для аднаўлення клетачных сценак. У далейшым з асобных гібрыдных клетак на спецыяльных пажыўных асяроддзях вырошчваюць гібрыдныя расліны. Такім шляхам былі атрыманы, напрыклад, гібрыды слівы і чарэшні, вішні і чарэшні і інш.



Сучасныя біятэхналагічныя метады ў спалучэнні з метадамі генетычнай інжынерыі выкарыстоўваюцца для атрымання высокаэфектыўных штаммаў бактэрый і грыбоў. Генетычная інжынерыя адкрывае магчымасці для стварэння трансгенных жывёл, што дазваляе павялічыць эфектыўнасць жывёлагадоўлі. Даследуюцца магчымасці атрымання неабходных для медыцыны бялкоў чалавека з дапамогай жывёл-біярэактараў. У медыцыне на аснове малекулярна-біялагічных метадаў паспяхова распрацоўваюцца падыходы да лячэння спадчынных захворванняў чалавека.



1. Як атрымліваюць штамы бактэрый, якія сінтэзуюць бялкі чалавека?
2. З якімі мэтамі праводзіцца атрыманне трансгенных мікраарганізмаў?
3. Ахарактарызуйце асноўны метады атрымання трансгенных млекакормячых.
4. Што ўяўляе сабой генатэрапія? Апішыце асноўныя метады генатэрапіі спадчынных хвароб.
5. Што такое саматычная гібрыдызацыя?
- 6\*. Як вы лічыце, у чым заключаюцца складанасці атрымання сартоў на аснове саматычнай гібрыдызацыі?
- 7\*. У 2007 г. Нобелеўская прэмія па фізіялогіі і медыцыне была ўручана за атрыманне трансгенных лабараторных мышэй. Як вы думаеце, для чаго могуць выкарыстоўвацца трансгенныя мышы?

### ПАДВЯДЗЁМ ВЫНІКІ

Штучны адбор жывёл і раслін адыграў важную ролю ў развіцці чалавецтва. Са станаўленнем навукі сфарміравалася селекцыя — навукова-практычная дзейнасць людзей, накіраваная на атрыманне і ўдасканаленне сартоў раслін, парод жывёл і штамаў мікраарганізмаў. У другой палове XX ст. сфарміравалася біятэхналогія, заснаваная на дасягненнях малекулярнай біялогіі і генетычнай інжынерыі. Галоўны вынік развіцця біятэхналогіі — больш хуткае і эфектыўнае атрыманне неабходных чалавецтву прадуктаў на аснове змененых чалавекам жывых арганізмаў. Шырокае ўкараненне ў практыку трансгенных мікраарганізмаў, раслін і жывёл знаходзіцца пад міжнародным кантролем. Біятэхналогія — адзін з асноўных напрамкаў развіцця чалавечага грамадства ў XXI ст.





Вывучаючы школьны курс біялогіі, вы пазнаёміліся з дзівоснай разнастайнасцю свету жывой прыроды, пераканаліся ў тым, што на нашай планеце параўнальна прымітыўныя формы жыцця існуюць разам з высокаарганізаванымі. Вы таксама ведаеце, што ўсё жывое на Зямлі валодае шэрагам агульных прымет і ўласцівасцей. Пры гэтым для кожнага арганізма характэрна наяўнасць адаптацый, якія забяспечваюць яго існаванне ў пэўных умовах навакольнага асяроддзя.

Як узнікла вялізная разнастайнасць біялагічных відаў? Чаму побач з адносна проста пабудаванымі арганізмамі існуюць складанаарганізаваныя? Дзеянне якіх сіл абумоўлівае прыстасаванасць жывых арганізмаў да асяроддзя іх пражывання? Якое паходжанне чалавека і якое месца ў сістэме жывой прыроды ён займае? Адказаць на гэтыя і многія іншыя пытанні з навуковага пункту гледжання дазваляе **эвалюцыйнае вучэнне**.

Тэрмін *эвалюцыя* быў уведзены ў навуку швейцарскім заалагам Ш. Банэ ў сярэдзіне XVIII ст. **Біялагічнай эвалюцыяй** называюць заканамерны, неабарачальны працэс гістарычнага развіцця жывой прыроды (арганічнага свету), накіраваны на павышэнне прыстасаванасці арганізмаў да зменлівых умоў навакольнага асяроддзя. У гэтым раздзеле будучы разгледжаны асноўныя гіпотэзы ўзнікнення жыцця на Зямлі, гісторыя развіцця эвалюцыйных поглядаў, важнейшыя заканамернасці працякання эвалюцыі жывых арганізмаў (у тым ліку чалавека) і вынікі гэтага працэсу.

## § 43. Асноўныя гіпотэзы паходжання жыцця

Праблема паходжання жыцця хвалюе чалавецтва са старажытных часоў. У спробах растлумачыць, якім чынам на нашай планеце маглі ўзнікнуць жывыя арганізмы, выказвалася мноства меркаванняў. На карысць некаторых з іх сведчаць пэўныя навуковыя факты і вынікі эксперыментаў. Іншыя гіпотэзы, наадварот, былі абвергнуты. Аднак і на сённяшні

дзень пытанне пра ўзнікненне жыцця на Зямлі нельга лічыць цалкам вырашаным.

**Крэацыянізм.** У адпаведнасці з гэтай рэлігійнай і філасофскай канцэпцыяй прырода была створана Богам (Творцам), у тым ліку і ўсе жывыя арганізмы. Таму гіпотэзы **крэацыянізму** (ад лац. *creatio* — ствараць) яшчэ называюць гіпотэзамі *Боскага стварэння свету*. Пазіцыі крэацыянізму прытрымліваюцца прыхільнікі практычна ўсіх распаўсюджаных рэлігійных вучэнняў. Большасць рэлігій апісвае стварэнне свету і жывых арганізмаў у той форме, якая даступная для разумення шырокім сляям насельніцтва. Аднак у крэацыяністаў няма адзінага пункту гледжання на працэс стварэння свету: у розных рэлігійных вучэннях існуюць розныя яго трактоўкі і нярэдка яны супярэчаць адна адной. Пры гэтым акт Боскага стварэння разглядаецца як падзея, што адбылася толькі аднойчы ў мінулым. Такім чынам, ён недаступны для даследавання. У сувязі з гэтым гіпотэзы крэацыянізму немагчыма ні даказаць, ні абвергнуць з навуковага пункту гледжання. Напэўна, яны будуць існаваць, пакуль існуе само чалавецтва.

**Гіпотэзы пазаземнага паходжання жыцця** зводзяцца да таго, што жыццё на планеце Зямля не ўзнікала, а было занесена з космасу. Прыхільнікі гэтых гіпотэз мяркуюць, што «споры жыцця» маглі трапіць на нашу планету разам з метэарытамі, каметамі, касмічным пылам, быць перанесенымі з дапамогай святла ці нават іншапланецянамі.

Лабараторныя даследаванні паказалі, што споры некаторых бактэрый і раслін могуць вытрымліваць працяглае знаходжанне ў вакууме пры тэмпературах, блізкіх да абсалютнага нуля ( $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), без страты жыццяздольнасці. Акрамя таго, яны дэманструюць устойлівасць да ультрафіялетавага выпраменьвання і іанізуючай радыяцыі, г. зн. да ўмоў адкрытага космасу. Таксама ёсць даныя пра выяўленне слядоў арганічных рэчываў у саставе камет і метэарытаў. Аднак гіпотэзы пазаземнага паходжання не даюць адказу на пытанне пра першапачатковае ўзнікненне жыцця. У сутнасці, яны пераносяць дадзеную праблему з планеты Зямля ў іншую частку Сусвету.

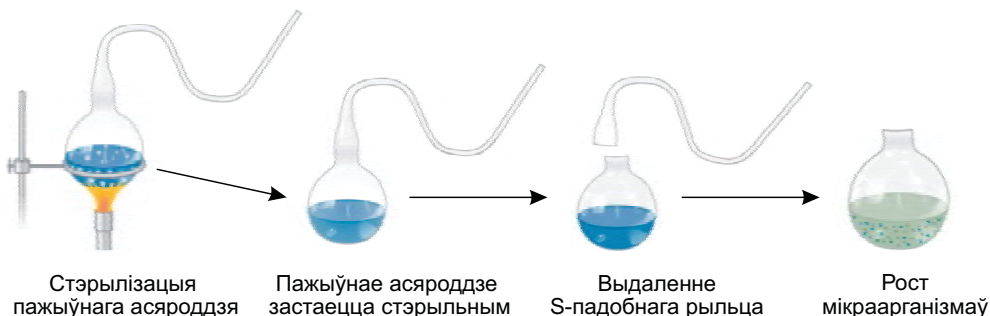
**Гіпотэзы самаадвольнага зараджэння** існавалі са старажытных часоў і мелі на ўвазе магчымасць самазараджэння жывых арганізмаў з розных аб'ектаў нежывой прыроды. Яшчэ ў Старажытнай Грэцыі многія філосафы меркавалі, што жывыя арганізмы здольныя ўзнікаць з глебы, глею, вады, гною, гнілога мяса і г. д. Напрыклад, Арыстоцель сцвярджаў, што жабы, насякомыя і расліны могуць развівацца з сырой глебы, а дажджавыя чэрві — з глею, які назапашваецца на дне сажалак. «Такія факты — жывое можа ўзнікаць у выніку не толькі спарвання жывёл, але і раскладання

глебы... Гэтак жа ідзе справа і ў раслін: некаторыя развіваюцца з насення, а іншыя... самазараджаюцца пад дзеяннем сіл прыроды з зямлі, якая раскладаецца».

Уяўленні пра спантаннае зараджэнне арганізмаў з цел нежывой прыроды былі распаўсюджаны аж да XIX ст. Бельгійскі даследчык Я. ван Гельмант (прозвішча прыведзена не для запамінання) у першай палове XVII ст. апісаў «эксперымент», у якім ён за тры тыдні быццам бы стварыў мышэй. Для гэтага ван Гельманту спатрэбіліся цёмная шафа, жменя зерня і брудная кашуля. Ён лічыў, што актыўным пачаткам, які стымулюе зараджэнне мышэй, служыць чалавечы пот. У той час падобныя «эксперыменты» праводзілі многія прыродазнаўцы і ідэя пра ўзнікненне жыцця з нежывой матэрыі знаходзіла шырокую падтрымку.

Аднак далёка не ўсе вучоныя падзялялі гэтыя погляды. Спрэчкі паміж прыхільнікамі і праціўнікамі самаадвольнага зараджэння арганізмаў працягваліся доўгі час. Толькі ў сярэдзіне XIX ст. у выдатнага французскага мікрабіёлага Луі Пастэра атрымалася пераканаўча даказаць, што *ў сучасных умовах* жыццё можа ўзнікнуць толькі з папярэдняга жыцця. Такім чынам, канцэпцыя самазараджэння была канчаткова абвергнута.

У 1860 г. Л. Пастэр нанёс знішчальны ўдар па канцэпцыі самаадвольнага зараджэння жыцця. Шляхам кіпячэння ён стэрылізаваў у колбе пажыўнае асяроддзе, у якім маглі развівацца бактэрыі, і надаваў рыльцу колбы S-падобную форму. Пры гэтым паветра магло свабодна паступаць у колбу, але для бактэрыяў і іх спор выгіны рыльца служылі пасткай. Пажыўнае асяроддзе ў такіх пасудзінах доўгі час заставалася стэрыльным і празрыстым, у ім не назіралася самазараджэння мікраарганізмаў. Але варта было выдаліць S-падобнае рыльца — і вадкасць хутка мутнела з прычыны размнажэння бактэрыяў, якія трапілі ў яе. Тое ж самае адбывалася і ў выпадку, калі колбу нахілялі так, каб вадкасць, што змяшчалася ў ёй, трапіла ў выгін рыльца, змыла змешчаных у ім бактэрыяў, а затым вярнулася назад у колбу.



**Біяхімічныя гіпотэзы** засноўваюцца на тым, што жыццё на Зямлі ўзнікла з нежывой матэрыі ў выніку працэсаў, якія падпарадкоўваюцца хімічным і фізічным законам. Як ужо адзначалася, у цяперашні час самазараджэнне жывых арганізмаў з нежывой прыроды не ўяўляецца магчымым. Аднак не выключана магчымасць таго, што ў далёкім мінулым, ва ўмовах старажытнай Зямлі жыццё магло ўзнікнуць з хімічных злучэнняў. Іншымі словамі, з'яўленню першых жывых арганізмаў мог папярэднічаць працяглы этап хімічнай эвалюцыі.

Сярод біяхімічных гіпотэз паходжання жыцця першачарговай увагі заслугоўвае **каацэрватная гіпотэза**, якую ў 1924 г. прапанаваў рускі біяхімік А. І. Апарын. Крыху пазней, незалежна ад яго, аналагічнае меркаванне выказаў брытанскі біёлаг Д. Холдэйн. Паводле гіпотэзы Апарына — Холдэйна ў працэсе ўзнікнення жыцця на Зямлі можна вылучыць тры асноўныя этапы.

**1. Сінтэз нізкамалекулярных арганічных злучэнняў з неарганічных рэчываў.** Астраномы і геалагі ацэньваюць узрост Зямлі прыкладна ў 4,5 млрд гадоў. На ранніх этапах развіцця нашай планеты тэмпература яе паверхні была вельмі высокай. Па меры астывання ўтварылася зямная кара. Атмасфера старажытнай Зямлі, відаць, не змяшчала кіслароду і складалася з вадзяной пары, аміяку, вуглякіслага газу, метану і іншых газападобных злучэнняў. З часам астыванне планеты прывяло да кандэнсацыі вады і фарміравання першаснага акіяна.

У той час наша планета не мела аэравага экрана, таму на яе паверхню паступаў інтэнсіўны паток ультрафіялетавага сонечнага выпраменьвання. Менавіта яно, па меркаванні Апарына, служыла галоўнай крыніцай энергіі для сінтэзу арганічных рэчываў з неарганічных. Акрамя таго, утварэнне арганічных злучэнняў магло адбывацца пад дзеяннем электрычных разрадаў — маланак, высокай тэмпературы (з прычыны выкідаў у першасны акіян і атмасферу распаленых прадуктаў вулканічнай дзейнасці), радыеактыўных выпраменьванняў і г. д. Арганічныя рэчывы, якія сінтэзаваліся (амінакіслоты, монацукрыды, спірты, карбонавыя кіслоты і інш.) доўгі час назваваліся ў першасным акіяне. Гэта прывяло да ўтварэння так званага *першаснага булёна*, у якім пасля і ўзнікла жыццё.

**2. Утварэнне біяпазімераў.** Мяркуюцца, што на гэтым этапе ў першасным булёне з нізкамалекулярных арганічных рэчываў, такіх як амінакіслоты, нуклеатыды і монацукрыды, сінтэзаваліся адпаведныя біяпазімеры — бялкі, нуклеінавыя кіслоты і поліцукрыды. Апарын меркаваў, што галоўная роля ва ўзнікненні першых жывых арганізмаў належала бялкам. У растворах бялкі здольныя ўтвараць шматмалекулярныя

комплексы, адасобленыя ад вады вакол іх. Такія комплексы могуць злівацца адзін з адным і фарміраваць згусткі — **каацэрваты** (ад лац. *coacervus* — згустак).

Каацэрваты валодалі здольнасцю паглынаць з навакольнага раствору розныя рэчывы і за кошт гэтага павялічвацца ў памерах (падабенства *жыўлення* і *росту*). Буйныя каацэрваты маглі драбіцца з утварэннем дробных згусткаў (падабенства *размнажэння*). Аднак каацэрваты былі пазбаўлены біялагічных мембран і не мелі генетычнага апарату, таму іх не прынята лічыць першымі жывымі арганізмамі.

**3. Фарміраванне першых жывых арганізмаў — протабіёнтаў.** Да гідрафільных галовак ліпідаў, якія пакрывалі ў выглядзе плеўкі паверхню вады, здольныя прыцягвацца малекулы бялкоў. Пры парывах ветру кроплі вады з каацэрватамі, якія ў іх змяшчаліся, маглі адрывацца ад паверхні і зноў падаць у першасны булён. Так, верагодна, утварыліся ліпідна-бялковыя мембраны, якія валодалі выбіральнай пранікальнасцю і надавалі каацэрватам стабільнасць.

Далейшае аб'яднанне каацэрватаў з нуклеінавымі кіслотамі, напэўна, і прывяло да фарміравання **протабіёнтаў** — першых жывых арганізмаў, здольных да *самарэгуляцыі* і *самайзнаўлення*. Лічыцца, што протабіёнты маглі дзяліцца (*бясполае размнажэнне*) і выбіральна паглынаць з першаснага булёну розныя рэчывы, у тым ліку арганічныя (*гетэратрофнае жыўленне*). Частку арганічных злучэнняў яны выкарыстоўвалі ў працэсах пластычнага абмену (г. зн. для *росту*), другія расшчаплялі ў ходзе энергетычнага абмену (*анаэробнае дыханне*).



Асноўнымі гіпотэзамі ўзнікнення жыцця з'яўляюцца гіпотэзы Боскага стварэння (крэацыянізм), пазаземнага паходжання жыцця і біяхімічныя. Канцэпцыя самаадвольнага зараджэння жывых арганізмаў з аб'ектаў нежывой прыроды на сённяшні дзень абвергнута. У сучасных умовах жыццё можа ўзнікнуць толькі з папярэдняга жыцця. Аднак ва ўмовах старажытнай Зямлі паходжанне жывых арганізмаў у выніку працяглай эвалюцыі хімічных злучэнняў уяўляецца магчымым. У гэтым заключаецца сутнасць каацэрватнай гіпотэзы Апарына — Холдэйна. Паводле яе ў працэсе ўзнікнення жыцця на Зямлі можна вылучыць тры этапы: сінтэз нізкамалекулярных арганічных рэчываў з неарганічных, утварэнне біяпалімераў і фарміраванне протабіёнтаў — першых жывых арганізмаў.



1. У чым заключаецца сутнасць канцэпцыі крэацыянізму?
2. Якім чынам прыхільнікі гіпотэз пазаземнага паходжання жыцця тлумачаць узнікненне жывых арганізмаў на Зямлі? Якія даныя могуць сведчыць на карысць гэтых гіпотэз?
3. У чым заключалася ідэя спантаннага зараджэння жывых арганізмаў? Чаму яна была абвергнута?
4. На чым засноўваюцца біяхімічныя гіпотэзы ўзнікнення жыцця? Ахарактарызуйце асноўныя этапы паходжання жыцця ў адпаведнасці з каацэрватнай гіпотэзай Апарына — Холдэйна.
- 5\*. Як вы думаеце, чаму ва ўмовах сучаснай Зямлі ўзнікненне жыцця паводле гіпотэзы Апарына — Холдэйна лічыцца немагчымым? Назавіце некалькі прычын.

## § 44. Гісторыя развіцця эвалюцыйных поглядаў

Ідэі пра адзінства і гістарычнае развіццё жывой прыроды выказвалі яшчэ філосафы Старажытнага свету. Аднак да XIX ст. большасць натуралістаў прытрымлівалася ўяўленняў, заснаваных на пазіцыях сярэднявечнага крэацыянізму: усё жывое створана Творцам і застаецца нязменным. Тым не менш па меры развіцця прыродазнаўства даследчыкі працягвалі назапашваць звесткі, якія супярэчылі поглядам пра пастаянства і нязменнасць жывых арганізмаў.

**Эвалюцыйная тэорыя Жана-Батыста Ламарка.** У пачатку XIX ст. французскі вучоны Ж.-Б. Ламарк упершыню прапанаваў цэласную эвалюцыйную канцэпцыю. Абапіраючыся на шматлікія факты, якія даказваюць зменлівасць жывёл і раслін, ён распрацаваў вучэнне пра гістарычнае развіццё арганічнага свету пад дзеяннем натуральных прычын. Жыццё паводле Ламарка ўзнікла шляхам самазараджэння прымітыўных арганізмаў з нежывой матэрыі і далей развівалася ад простых форм да больш складаных.

Ламарк вылучыў два асноўныя напрамкі эвалюцыі. Ступеньчатае павышэнне ўзроўню арганізацыі (прынцыповае ўскладненне) жывых арганізмаў ён назваў *градацыяй*. Так, напрыклад, шляхам градацыі паліпы пераўтвараюцца ў чарвей, тыя ў сваю чаргу ў насякомых і гэтак далей да вышэйшай ступені — птушак і млекакормячых. Акрамя таго, арганізмы, якія займаюць розныя ўзроўні, адчуваюць уздзеянне пэўных знешніх фактараў і прыстасоўваюцца да іх, г. зн. адбываецца *адаптацыя* жывых істот да ўмоў навакольнага асяроддзя. Дзякуючы гэтаму на кожнай ступені эвалюцыі ўзнікае разнастайнасць арганізмаў, прыстасаваных да ўмоў асяроддзя іх пражывання.

Такім чынам, Ламарк прапанаваў адзіную канцэпцыю развіцця жывой прыроды, апісаў магчымыя шляхі эвалюцыйнага працэсу і

яго вынікі, паказаў цесную сувязь арганізмаў з навакольным асяроддзем. Аднак ён не здолеў правільна растлумачыць прычыны і рухачыя сілы эвалюцыі. Так, вучоны лічыў, што галоўнай прычынай эвалюцыйных змяненняў з'яўляецца *імкненне да ўдасканалення*, нібыта ўласцівае ўсяму жывому. Акрамя таго, Ламарк меркаваў, што пад дзеяннем умоў асяроддзя арганізмы змяняюцца *толькі ў карысны для сябе бок* і пры гэтым абавязкова *перадаюць па спадчыне ўсе карысныя прыметы, набытыя імі*.

Напрыклад, узнікненне карысных змяненняў у большасці жывёл Ламарк тлумачыў дзеяннем «закону» *практыкавання і непрактыкавання органаў*. Так, птушкі, якія ходзяць уздоўж берагоў вадаёмаў у пошуках ежы, вымушаны ўвесь час даставаць ногі з глею, каб не ўгразнуць у ім. Дзякуючы такім практыкаванням даўжыня іх ног павялічваецца (мал. 106). Гэта карыснае змяненне наследуюць патомкі, якія таксама практыкуюць свае ногі. Такім чынам у шэрагу пакаленняў птушак адбываецца паступовае падаўжэнне ног. І наадварот, пры непрактыкаванні тыя ці іншыя органы падвяргаюцца *рэдукцыі*, г. зн. памяншэнню і спрашчэнню будовы, аж да поўнага знікнення. З пазіцый вучэння Ламарка так тлумачыцца, напрыклад, рэдукцыя вачэй у крата (гл. мал. 106).

Відавочна, што любыя змяненні органаў, якія ўзнікаюць пад дзеяннем іх практыкавання ці непрактыкавання, з'яўляюцца праяўленнем мадыфікацыйнай зменлівасці, а значыць, не могуць наследвацца. Нельга

таксама сцвярджаць, што па спадчыне перадаюцца толькі карысныя прыметы. Такім чынам, уяўленні Ламарка пра механізмы эвалюцыйнага працэсу аказаліся памылковымі.



**Эвалюцыйная тэорыя Чарльза Дарвіна.** Стваральнікам эвалюцыйнай тэорыі, якая стала падмуркам для развіцця сучаснай біялогіі, зрабіла значны ўплыў на іншыя прыродазнаўчыя навукі і светапогляд многіх людзей, з'яўляецца выдатны англійскі вучоны Ч. Дарвін. Адною з самых важных падзей у жыцці Дарвіна стала кругасветнае вандраванне на караблі «Бігл», у якое ён быў запрошаны ў якасці натураліста.

Мал. 106. Вынікі практыкавання і непрактыкавання органаў паводле вучэння Ламарка: доўгія ногі ў чаплі і адсутнасць развітых вачэй у крата

У час падарожжа Дарвін вывучаў раслінны і жывёльны свет наведваемых зямель, даследаваў выкапнёвыя рэшткі арганізмаў, якія захаваліся ў геалагічных пластах, сабраў мноства калекцый. У гэты перыяд у маладога вучонага і сфарміраваліся ўяўленні, якія пасля сталі асновай яго эвалюцыйнай тэорыі. Пасля вяртання ў Англію Дарвін на працягу доўгіх гадоў вывучаў матэрыял, сабраны ў час падарожжа, аналізаваў працы іншых вучоных, даследаваў працэсы змянення жывёл і раслін пад уплывам прыручэння, праводзіў розныя навуковыя эксперыменты. Вынікам гэтай шматгадовай працы стала стварэнне эвалюцыйнага вучэння, што ў карані змяніла ўяўленне чалавецтва пра жывую прыроду. Самая значная праца Дарвіна «Паходжанне відаў шляхам натуральнага адбору», у якой ён выказаў свае погляды на эвалюцыю арганічнага свету, была выдадзена ў 1859 г.

Асноўнымі палажэннямі тэорыі эвалюцыі Ч. Дарвіна з'яўляюцца наступныя.

1. Усе віды жывых арганізмаў, якія жывуць на Зямлі, не былі кімсьці створаны, а ўзніклі *натуральным чынам*.

2. Віды паступова змяняюцца і ўдасканальваюцца ў адпаведнасці з умовамі *навакольнага асяроддзя*. У аснове гэтых пераўтварэнняў ляжыць **спадчынная зменлівасць**, якая з'яўляецца галоўнай *перадумовай* эвалюцыі.

3. Эвалюцыя працякае пад дзеяннем **натуральнага адбору**, які з'яўляецца вынікам **барацьбы за існаванне**. Гэта — *рухаючыя сілы эвалюцыі*.

4. *Вынікамі* эвалюцыі з'яўляюцца **прыстасаванасць** жывых арганізмаў да ўмоў асяроддзя іх пражывання і **разнастайнасць відаў** у прыродзе.

Усім жывым арганізмам уласцівая зменлівасць. Дарвін разумеў, што для эвалюцыйнага працэсу важныя толькі тыя змяненні, якія могуць перадавацца з пакалення ў пакаленне. Таму менавіта *спадчыннай* зменлівасці, якую Дарвін называў *нявызначанай*, вучоны надаваў асаблівае значэнне, разглядаючы яе як перадумову эвалюцыі.

Паводле вучэння Дарвіна няпэўная зменлівасць праяўляецца ва ўзнікненні ў асобін індывідуальных змяненняў, якія адрозніваюць іх ад іншых асобін таго ж віду і перадаюцца па спадчыне. Прыкладам можа служыць з'яўленне ягняці з моцна скарочанымі нагамі ў патомстве авечак, якія маюць ногі звычайнай даўжыні, ці экзэмпляраў раслін, што маюць нестандартную для свайго віду афарбоўку кветак.



Спадчынная зменлівасць сама па сабе не носіць прыстасавальнага характару. Яна толькі абумоўлівае разнастайнасць асобін па мностве прымет, здольных перадавацца патомству. Таму Дарвін меркаваў, што ў прыродзе існуюць асаблівыя механізмы, якія накіроўваюць ход эвалюцыі на павышэнне прыстасаванасці арганізмаў да ўмоў асяроддзя. Такімі механізмамі — рухаючымі сіламі эвалюцыі — з'яўляюцца барацьба за існаванне і натуральны адбор.

Жывыя арганізмы ў выніку размнажэння здольныя павялічваць сваю колькасць у геаметрычнай прагрэсіі. Для прыкладу можна ўзяць сланоў. Гэтыя жывёлы адрозніваюцца нізкай пладавітасцю. Самка за ўсё жыццё (некалькі дзясяткаў гадоў) нараджае ў сярэднім 6 дзіцянят. Тым не менш, па разліках Дарвіна, пры ўмове выжывання ўсіх патомкаў за 750 гадоў адна пара сланоў можа даць пачатак 19 млн асобін!

Аднак падобнага павелічэння колькасці асобін у прыродзе не адбываецца. Па шэрагу прычын (недахоп неабходных рэсурсаў, дзеянне неспрыяльных аб'ятычных фактараў, паразітаў, драпежнікаў і інш.) частка патомства гіне, так і не ўзнавіўшы сабе падобных. На падставе гэтага Ч. Дарвін прыйшоў да высновы, што любы арганізм, які з'явіўся на свет, уступае ў барацьбу за сваё існаванне.

Пад **барацьбой за існаванне** Дарвін разумее сукупнасць узаемадзеянняў жывых арганізмаў паміж сабой і з рознымі фактарамі нежывой прыроды, якія вызначаюць поспех ці няўдачу асобін у выжыванні і размнажэнні. Ён вылучыў тры формы барацьбы за існаванне: *унутрывідавую, міжвідавую і барацьбу з неспрыяльнымі ўмовамі нежывой прыроды* (барацьбу за выжыванне ва ўмовах вельмі высокіх ці нізкіх тэмператур, засухі і г. д.). Пры гэтым вучоны падкрэсліваў, што найбольш востра барацьба працякае паміж асобінамі аднаго віду, паколькі яны валодаюць практычна аднолькавымі патрэбнасцямі і магчымасцямі. Важна адзначыць, што Дарвін выкарыстоўваў паняцце «барацьба за існаванне» ў шырокім, вобразным сэнсе, маючы на ўвазе не толькі *прамое ўзаемадзеянне* жывых арганізмаў, але і любыя формы *канкурэнцыі* паміж імі.

Як ужо адзначалася, дзякуючы спадчыннай зменлівасці асобіны любога віду адрозніваюцца адна ад адной па шэрагу прымет, якія патэнцыяльна могуць перадавацца наступным пакаленням. З прычыны такой неаднастайнасці асобіны з пэўным наборам прымет, якія павышаюць іх прыстасаванасць да фактараў асяроддзя, маюць больш шанцаў выжыць і пакінуць патомства, чым іншыя асобіны. Іншымі словамі, найбольш прыстасаваныя індывіды атрымліваюць перавагу ў барацьбе за існаванне.

Вынікам барацьбы за існаванне з'яўляецца **натуральны адбор**. Так Ч. Дарвін называў *працэс выжывання і размнажэння асобін, найбольш прыстасаваных да ўмоў навакольнага асяроддзя, і гібель менш прыстасаваных*. Асобіны, якія выжылі, пакідаюць патомства, і карысныя спадчынныя змяненні перадаюцца наступнаму пакаленню. Натуральны адбор адбываецца ў прыродзе бесперапынна, у бясконцым шэрагу пакаленняў. Пры гэтым у кожным пакаленні захоўваюцца пераважна тыя формы, якія найбольш адаптаваны да ўмоў асяроддзя. Такім чынам, адным з вынікаў эвалюцыі з'яўляецца **прыстасаванасць** арганізмаў да асяроддзя іх пражывання.

Другім вынікам эвалюцыйнага працэсу, паводле тэорыі Дарвіна, з'яўляецца **разнастайнасць відаў** жывых арганізмаў. Вучоны лічыў, што пад дзеяннем натуральнага адбору асобіны аднаго віду, якія жывуць у розных умовах, набываюць розныя прыстасаванні (прыметы). Эвалюцыйнае разыходжанне прымет у роднасных арганізмаў, якія жывуць у розных умовах, Дарвін назваў **дывергенцыяй**. У выніку дывергенцыі на базе аднаго зыходнага віду з часам можа ўзнікнуць два ці некалькі новых. Працэсы відаўтварэння з'яўляюцца прычынай разнастайнасці відаў у прыродзе.

**Крызіс дарвінізму і стварэнне сінтэтычнай тэорыі эвалюцыі.** У другой палове XIX ст. эвалюцыйныя ідэі Ч. Дарвіна атрымалі шырокае распаўсюджанне і падтрымку сярод вучоных усяго свету. Тэорыя Дарвіна была значна пашырана і дапоўнена працамі многіх яго паслядоўнікаў — сфарміраваўся так званы *класічны дарвінізм*. Аднак бурнае развіццё генетыкі ў пачатку XX ст. прывяло да таго, што шматлікія спецыялісты ў гэтай галіне пачалі крытыкаваць вучэнне Дарвіна. Не здолеўшы правільна ацаніць значэнне сваіх адкрыццяў для далейшага развіцця эвалюцыйнай тэорыі, яны супрацьпастаўлялі яе генетыцы, адмаўлялі творчую ролю натуральнага адбору ў відаўтварэнні. Гэта стала прычынай крызісу класічнага дарвінізму.

Узнікшую паміж дарвінізмам і генетыкай супярэчнасць пераадолела **сінтэтычная тэорыя эвалюцыі (СТЭ)**. Назва «сінтэтычная» абумоўлена тым, што распрацоўка гэтай тэорыі стала вынікам сінтэзу дарвінізму і дасягненняў цэлага шэрага біялагічных навук — генетыкі, экалогіі, цыталогіі, малекулярнай біялогіі і інш. Дзякуючы стварэнню сінтэтычнай тэорыі эвалюцыі вучэнне Ч. Дарвіна набыло трывалы навуковы падмурак. СТЭ, асноўныя палажэнні якой былі сфармуляваны ў сярэдзіне XX ст., у цяперашні час працягвае развівацца і ўзбагачацца новымі навуковымі данымі.





Першую цэласную эвалюцыйную канцэпцыю прапанаваў Ж.-Б. Ламарк. Ён апісаў шляхі эвалюцыйнага працэсу (градацыю і адаптацыю), яго вынікі, паказаў сувязь арганізмаў з навакольным асяроддзем, але не змог правільна растлумачыць прычыны і рухаючыя сілы эвалюцыі. Стваральнікам эвалюцыйнай тэорыі, якая стала падмуркам для развіцця сучаснай біялогіі, з'яўляецца Ч. Дарвін. Паводле яго вучэння перадумовай эвалюцыі з'яўляецца спадчынная зменлівасць, рухаючымі сіламі — барацьба за існаванне і натуральны адбор, вынікамі — прыстасаванасць арганізмаў да ўмоў асяроддзя і разнастайнасць відаў. Вынікам сінтэзу тэорыі Дарвіна з генетыкай, экалогіяй і іншымі навукамі стала стварэнне ў XX ст. сінтэтычнай тэорыі эвалюцыі.



1. Ахарактарызуйце асноўныя ідэі вучэння Ж.-Б. Ламарка. У чым, на ваш погляд, заключаецца перавага эвалюцыйнай канцэпцыі Ламарка і якія яе недахопы?
2. Сфармулюйце асноўныя палажэнні эвалюцыйнай тэорыі Ч. Дарвіна.
3. Якую форму зменлівасці Дарвін лічыў перадумовай эвалюцыі? Чаму?
4. Што, паводле вучэння Дарвіна, уяўляе сабой барацьба за існаванне? Натуральны адбор? Дакажыце, што натуральны адбор з'яўляецца вынікам барацьбы за існаванне. Чаму Дарвін лічыў гэтыя два фактары рухаючымі сіламі эвалюцыі?
5. Што такое дывергенцыя? Чым з пазіцыі эвалюцыйнай тэорыі Дарвіна тлумачыцца разнастайнасць відаў у прыродзе?
6. Чым быў абумоўлены крызіс класічнага дарвінізму ў пачатку XX ст.? Чаму тэорыю эвалюцыі, распрацаваную ў XX ст., называюць сінтэтычнай?
- 7\*. Паспрабуйце растлумачыць факты наяўнасці хобата ў слана і адсутнасці канечнасцей у змей з пазіцыі вучэння: а) Ж.-Б. Ламарка; б) Ч. Дарвіна.

## § 45. Асноўныя палажэнні сінтэтычнай тэорыі эвалюцыі. Папуляцыя — элементарная адзінка эвалюцыі. Перадумовы эвалюцыі

*Асноўныя палажэнні сінтэтычнай тэорыі эвалюцыі (СТЭ)* можна сфармуляваць наступным чынам.

1. Від уяўляе сабой цэласную *генетычна закрытую* сістэму. Ён складаецца з **папуляцый** — *генетычна адкрытых* сістэм, паміж якімі ў выніку міграцыі асобін адбываецца абмен генамі.

2. *Элементарнай адзінкай* эвалюцыі з'яўляецца **папуляцыя**.

3. *Элементарныя эвалюцыйныя фактары* (**мутацыйная і камбінацыйная зменлівасць, паток і дрэйф генаў, папуляцыйныя хвалі, ізаляцыя**) — гэта *перадумовы* эвалюцыі.

4. Галоўная *рухаючая сіла* эвалюцыі — **натуральны адбор**, які працякае на аснове **барацьбы за існаванне**.

5. Пад дзеяннем натуральнага адбору адбываецца фарміраванне **адаптацый** і **ўтварэнне відаў**. Гэта асноўныя *вынікі* эвалюцыі.

6. Відаўтварэнне ажыццяўляецца працягла і паступова, праз *шэраг прамежкавых форм* — рас і падвідаў.

**Папуляцыя** — *элементарная адзінка эвалюцыі*. З курсу біялогіі 10-га класа вы ведаеце, што асобіны любога віду па шэрагу прычын не размяркоўваюцца ў межах арэала раўнамерна, а ўтвараюць больш ці менш адасобленыя адна ад адной групы — папуляцыі. З пазіцыі СТЭ менавіта **папуляцыя** ўяўляе сабою *элементарную адзінку* эвалюцыйнага працэсу. Эвалюцыйныя змены абумоўлены перадачай спадчынных прымет у шэрагу пакаленняў. Таму *асобіна* не можа разглядацца як адзінка эвалюцыі: яна смертная і яе генатып на працягу жыцця захоўваецца практычна нязменным. Роля асобнага арганізма ў эвалюцыйным працэсе заключаецца ў перадачы генаў свайму патомству, і калі гэтага не адбываецца, асобіна не мае значэння для эвалюцыі.

Эвалюцыйныя змены магчымыя толькі ў групах арганізмаў, якія існуюць працягла, і найменшай з такіх груп з'яўляецца папуляцыя. Кожная папуляцыя займае той ці іншы ўчастак арэала з пэўнымі ўмовамі асяроддзя і здольная да існавання працяглы час. Дзякуючы спадчыннай зменлівасці асобіны ў папуляцыі адрозніваюцца па генатыпах, г. зн. папуляцыя з'яўляецца генетычна разнастайнай структурай. Сукупнасць генатыпаў усіх асобін папуляцыі называецца яе **генафондам**. У папуляцыі ідзе барацьба за існаванне, дзейнічае натуральны адбор. У выніку гэтага ў кожным пакаленні выжываюць і пакідаюць патомства пераважна тыя асобіны, якія валодаюць спадчыннымі зменамі, карыснымі ў дадзеных умовах навакольнага асяроддзя. Гэтыя ўмовы няпастаянныя, з цягам часу яны змяняюцца. Услед за імі пад дзеяннем натуральнага адбору накіравана змяняецца генафонд папуляцыі. Накіраваная змена генафонду папуляцыі ў шэрагу пакаленняў называецца **элементарнай эвалюцыйнай з'явай**.

Розныя папуляцыі аднаго віду, нават тыя, што існуюць па суседстве, займаюць розныя ўчасткі арэала. Такім чынам, умовы асяроддзя не могуць быць для іх абсалютна аднолькавымі. Таму кожная папуляцыя валодае ўнікальным генафондам і эвалюцыяніруе ў асобым напрамку, незалежна ад другіх папуляцый таго ж віду. Іншымі словамі, любая папуляцыя мае свой уласны эвалюцыйны лёс. *Від* жа ўяўляе сабою сукупнасць папуляцый. Таму ён не эвалюцыяніруе як адзінае цэлае і не можа лічыцца элементарнай адзінкай эвалюцыі.

*Элементарныя эвалюцыйныя фактары — перадумовы эвалюцыі.* Як ужо адзначалася, паводле СТЭ *перадумовамі* эвалюцыі з'яўляюцца так званыя *элементарныя эвалюцыйныя фактары*. Да іх належаць мутацыйная і камбінатыўная зменлівасць, паток генаў, папуляцыйныя хвалі, дрэйф генаў і ізаляцыя. Эвалюцыйная роля гэтых фактараў неаднолькавая. Усе фактары, за выключэннем ізаляцыі, змяняюць частату сустракаемасці генаў і генатыпаў у папуляцыях, абумоўліваюць генатыпічную разнастайнасць асобін, чым пастаўляюць матэрыял для натуральнага адбору. Ізаляцыя сама па сабе не прыводзіць да змянення генафонду папуляцый. Перашкаджаючы свабоднаму скрыжаванню асобін, яна замацоўвае генетычныя адрозненні паміж ізаляванымі папуляцыямі ці іх часткамі. Тым самым ізаляцыя спрыяе разыходжанню прымет (дывергенцыі) у межах віду і наступнаму відаўтварэнню.

Разгледзім падрабязней ролю кожнага элементарнага эвалюцыйнага фактара. *Мутацыйная зменлівасць* з'яўляецца асноўным пастаўшчыком генетычнай разнастайнасці асобін у папуляцыях. Вам вядома, што генныя мутацыі ўзнікаюць у арганізмаў значна часцей, чым храмасомныя ці геномныя. Генныя мутацыі ўяўляюць сабой невычэрпную крыніцу новых форм алельных генаў. Як вынік, папуляцыі насычаны самымі разнастайнымі мутантнымі генамі. Пры гэтым *дамінантныя* мутацыі адразу ж праяўляюцца ў фенатыпе асобін і, такім чынам, трапляюць пад дзеянне натуральнага адбору. *Рэцэсіўныя* мутацыі, насупраць, могуць доўгі час не праяўляцца ў папуляцыях, калі яны знаходзяцца ў гетэразіготным стане. Вобразна кажучы, папуляцыя здольная як губка ўбіраць рэцэсіўныя мутацыі і заставацца на працягу пэўнага часу фенатыпічна аднастайнай. Толькі пасля назапашвання гэтых мутацый у значнай колькасці ў папуляцыі з'яўляюцца рэцэсіўныя гомазіготныя асобіны, якія пачынаюць падпадаць пад дзеянне натуральнага адбору. Такім чынам, рэцэсіўныя мутацыі служаць *скрытым рэзервам спадчыннай зменлівасці*.

Мутацыйная зменлівасць носіць ненакіраваны характар. Яна робіць асобіны той ці іншай папуляцыі нераўназначнымі ў барацьбе за існаванне. Так, мутацыя, якая павялічвае прыстасаванасць арганізма да дадзеных умоў асяроддзя, будзе падтрымлівацца натуральным адборам. У выніку пераважнага выжывання і размнажэння асобін з такімі карыснымі мутацыямі частата іх сустракаемасці з пакалення ў пакаленне ўзрастае. Калі ж узнікшая мутацыя прыводзіць да зніжэння жыццяздольнасці ці пладавітасці сваіх уладальнікаў, яе частата ў шэрагу пакаленняў будзе няўхільна зніжацца аж да поўнага знікнення гэтай мутацыі з папуляцыі.

**Камбінатыўная зменлівасць** праяўляецца ў з'яўленні ў жывых арганізмаў разнастайнага патомства з прычыны ўзнікнення ў кожнай новай асобіны ўнікальнага спалучэння бацькоўскіх генаў. Такім чынам, камбінатыўная зменлівасць, як і мутацыйная, служыць важнай крыніцай генетычнай і фенатыпічнай разнастайнасці асобін у папуляцыях, што дае вялікі матэрыял для дзеяння натуральнага адбору. Што ж датычыцца *мадыфікацыйнай зменлівасці*, яна праяўляецца ў ходзе індывідуальнага развіцця жывых арганізмаў і спрыяе іх прыстасаванню да зменлівых умоў асяроддзя. Такім чынам, дадзеная форма зменлівасці павялічвае шанцы асобін на выжыванне і размнажэнне і тым самым уносіць пэўны ўклад у эвалюцыйны працэс. Аднак мадыфікацыйная зменлівасць не змяняе генафонд папуляцый і не наследуецца. Таму яна не можа разглядацца як перадумова эвалюцыі.

Перанос генаў, які ажыццяўляецца ў выніку міграцыі асобін (перамяшчэння насення, пылка і г. д.) з адной папуляцыі ў другую, называюць **патокам генаў**. Дзякуючы патоку генаў адбываецца абнаўленне генафонду папуляцый, змяненне ў іх частаты сустракаемасці тых ці іншых алеляў. Так, усяленне ў папуляцыю новых асобін можа ўзбагаціць генафонд гэтай папуляцыі новымі генамі. Акрамя таго, змяняюцца суадносіны паміж алелямі, якія прысутнічалі ў папуляцыі раней. Высяленне асобін з папуляцыі таксама суправаджаецца змяненнем яе генафонду. Генетычная разнастайнасць папуляцыі пры гэтым зніжаецца.

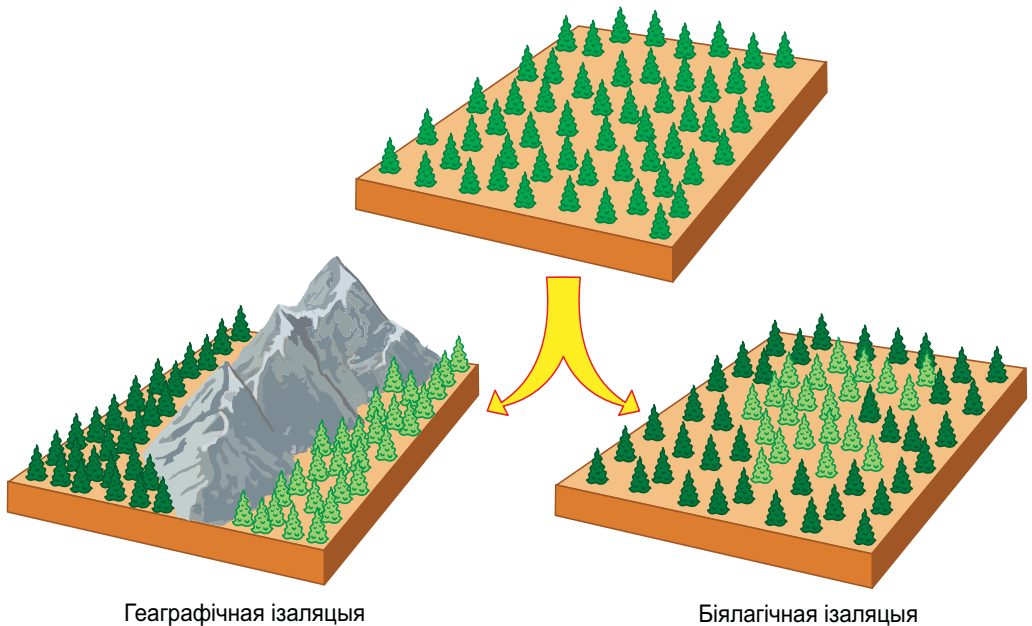
Як вам вядома з курса біялогіі 10-га класа, колькасць асобін у папуляцыях схільная да ваганняў. Пад дзеяннем розных фактараў лік асобін у папуляцыях то ўзрастае, то, наадварот, памяншаецца. Такія ваганні колькасці, якія маюць больш ці менш выяўлены рэгулярны характар, называюцца **папуляцыйнымі хвалямі ці хвалямі жыцця**. Іх эвалюцыйная роля заключаецца перш за ўсё ў выпадковым і часта рэзкім змяненні частаты сустракаемасці алеляў у папуляцыях.

У перыяд зніжэння колькасці асобін некаторыя гены, а значыць і генатыпы, выпадкова і незалежна ад сваёй эвалюцыйнай каштоўнасці (ступені карыснасці ў дадзеных умовах асяроддзя) могуць цалкам знікнуць з генафонду папуляцыі. Іншыя алелі такім жа выпадковым чынам захоўваюцца. Размнажэнне асобін, якія валодаюць гэтымі алелямі, можа ў далейшым прывесці да значнага павелічэння іх частаты ў папуляцыі. Напрыклад, вясной колькасць асобін у папуляцыях многіх насякомых у шмат разоў меншая, чым восенню (большасць асобін гіне ў зімовы перыяд). Выпадковае выжыванне і наступнае размнажэнне асобін, якія маюць рэдкія гены, могуць пацягнуць за сабой узрастанне частаты такіх генаў у папуляцыі ў тысячы разоў.



Выпадковае ненакіраванае (незалежнае ад натуральнага адбору) змяненне частаты алеляў у генафондзе папуляцый носіць назву **дрэйф генаў**. Прычынай дрэйфу генаў могуць быць стыхійныя бедствы (паводкі, пажары, апоўзні і г. д.) і любыя іншыя выпадковыя падзеі, напрыклад адстрэл паляўнічымі часткі папуляцыі якога-небудзь прамысловага віду жывёл. Дрэйф генаў асабліва моцна ўплывае на генафонд малаколькасных папуляцый. У такіх папуляцыях уздзеянне розных выпадковых фактараў часта прыводзіць да рэзкага павелічэння частаты сустракаемасці адных генаў і зніжэння другіх, аж да поўнага знікнення з генафонду. Наступствы дзеяння дрэйфу генаў на папуляцыі, асабліва невялікія, непрадказальныя. Ён можа як павялічыць прыстасаванасць асобін да ўмоў навакольнага асяроддзя, так і прывесці папуляцыю да гібелі.

**Ізаляцыя** — фактар, які ўскладняе ці робіць немагчымым свабоднае скрыжаванне асобін, тым самым перашкаджаючы абмену генамі паміж папуляцыямі ці іх часткамі. Адрозніваюць геаграфічную і біялагічную ізаляцыю (мал. 107).



Мал. 107. Схема дзеяння геаграфічнай і біялагічнай ізаляцыі

*Геаграфічная ізаляцыя* абумоўлена наяўнасцю якіх-небудзь прасторавых бар'ераў (горных хрыбтоў, пустынь, праліваў, рэк і г. д.), якія перашкаджаюць сустрэчы асобін таго ці іншага віду. Узнікненне такіх перашкод можа быць выклікана абіятычнымі фактарамі (гораўтварэнне, дзеянне ледавіка і інш.), дзейнасцю чалавека (напрыклад, стварэнне вадасховішча) ці звязана з міграцыямі асобін на вялікія адлегласці і пашырэннем арэала віду.

*Біялагічная ізаляцыя* не перашкаджае сустрэчы асобін. Пры гэтай форме ізаляцыі асобіны не скрыжоўваюцца (або скрыжоўваюцца, але не даюць паўнаwartаснага патомства) з прычыны існавання паміж імі пэўных адрозненняў. У залежнасці ад прыроды такіх адрозненняў вылучаюць некалькі відаў біялагічнай ізаляцыі: эталагічную, экалагічную, морфафізіялагічную, генетычную.

Пры *эталагічнай ізаляцыі*, якая можа назірацца толькі ў жывёл, асобіны не скрыжоўваюцца з прычыны адрозненняў у паводзінах, перш за ўсё — у шлюбных рытуалах. *Экалагічная ізаляцыя* можа быць абумоўлена тым, што асобіны аднаго віду, якія жывуць на агульнай тэрыторыі, засяляюць розныя яе ўчасткі пастаянна ці мігрыруюць у розныя месцапражыванні толькі на перыяд размнажэння. Напрыклад, мухі стракатакрылкі, што жывуць на яблыні, не скрыжоўваюцца з асобінамі свайго віду, якія аддаюць перавагу жыццю і кармленню на вішні. Іншай прычынай экалагічнай ізаляцыі можа быць несупадзенне тэрмінаў размнажэння. Так, некаторыя віды ласасёвых рыб нерастуюць не кожны год, а раз у два гады. Таму рыбы, якія размнажаюцца ў цотныя гады, не могуць скрыжоўвацца з прадстаўнікамі свайго віду, што прыходзяць у тыя ж самыя нерасцілішчы па няцотных гадах. *Морфафізіялагічная ізаляцыя* звязана з істотнымі адрозненнямі ў памерах цела асобін ці неадпаведнасцямі ў будове і функцыянаванні іх палавых органаў. *Генетычная ізаляцыя* абумоўлена адрозненнямі ў структуры ці колькасці храмасом. Вынікам гэтага можа быць несумяшчальнасць гамет (асобіны спарваюцца, але апладненне не адбываецца), гібель эмбрыёнаў, з'яўленне бясплоднага патомства або патомства з паніжанай жыццяздольнасцю.

Як ужо адзначалася, папуляцыі таго ці іншага віду прыстасоўваюцца да ўмоў навакольнага асяроддзя незалежна адна ад адной. У кожнай з іх пад дзеяннем натуральнага адбору ўзнікае свой асаблівы напрамак эвалюцыйнага працэсу. Ізаляцыя перашкаджае абмену генамі паміж папуляцыямі ці іх часткамі, што спрыяе замацаванню генетычных адрозненняў паміж імі. Такім чынам, ізаляцыя стварае ўмовы для дывергенцыі (гл. мал. 107) і у выніку гэтага для *відаўтварэння*.





Паводле сінтэтычнай тэорыі эвалюцыі (СТЭ) элементарнай адзінкай эвалюцыйнага працэсу з'яўляецца папуляцыя. Перадмовы эвалюцыі — гэта мутацыйная і камбінатыўная зменлівасць, паток і дрэйф генаў, папуляцыйныя хвалі і ізаляцыя. Усе фактары, за выключэннем ізаляцыі, абумоўліваюць змяненне генафонду папуляцыі, служаць пастаўшчыкамі эвалюцыйнага матэрыялу для натуральнага адбору. Ізаляцыя замацоўвае генетычныя адрозненні паміж папуляцыямі, чым спрыяе дывергенцыі ў межах віду і наступнаму відаўтварэнню.



1. Сфармулюйце асноўныя палажэнні сінтэтычнай тэорыі эвалюцыі.
2. Чаму элементарнай адзінкай эвалюцыі з'яўляецца не асобіна, не від, а менавіта папуляцыя?
3. У чым заключаецца эвалюцыйная роля камбінатыўнай зменлівасці? Мутацыйнай? Чаму рэцэсіўныя мутацыі называюць «скрытым рэзервам зменлівасці»? Па якой прычыне мадыфікацыйную зменлівасць не адносяць да перадумоў эвалюцыі?
4. Што такое паток генаў? Чым ён абумоўлены? Чаму паток генаў з'яўляецца элементарным эвалюцыйным фактарам?
5. Ахарактарызуйце эвалюцыйнае значэнне папуляцыйных хваль.
6. Што ўяўляе сабой дрэйф генаў? Што можа з'яўляцца яго прычынай? Чаму дзеянне дрэйфу генаў у малаколькасных папуляцыях выяўлена мацней, чым у папуляцыях з высокай колькасцю асобін?
7. Што такое ізаляцыя? Якія формы ізаляцыі вылучаюць? Чым яны абумоўлены?
- 8\*. Растлумачце выраз: «Мутацыйная і камбінатыўная зменлівасць, папуляцыйныя хвалі, паток і дрэйф генаў ствараюць матэрыял для натуральнага адбору, а ізаляцыя замацоўвае вынік яго дзеяння».

## § 46. Рухаючыя сілы эвалюцыі

Дзеянне элементарных эвалюцыйных фактараў, разгледжаных у папярэднім параграфі, носіць выпадковы, ненакіраваны характар (г. зн. яно не накіравана на павышэнне прыстасаванасці асобін да ўмоў навакольнага асяроддзя). Разам з тым эвалюцыя — працэс заканамерны, які прыводзіць да ўзнікнення ў жывых арганізмаў адаптацый, утварэння новых, больш дасканалых відаў і надвідавых сістэматычных груп. Галоўнай сілай, што накіроўвае эвалюцыйны працэс, з'яўляецца **натуральны адбор**, які, як вы ведаеце, працякае на аснове **барацьбы за існаванне**. Два гэтыя фактары ўяўляюць сабой *рухаючыя сілы эвалюцыі*.

**Барацьба за існаванне**, паводле вучэння Ч. Дарвіна, абумоўлена размнажэннем асобін у геаметрычнай прагрэсіі. Яна ўзнікае з прычыны дэфіцыту корму, тэрыторыі, святла і іншых фактараў, неабходных жывым арганізмам, і можа выяўляцца як у прамым «сутыкненні» асобін, так і ў іх «спаборніцтве» за агульныя рэсурсы. Аднак адносіны арганізмаў у прыродзе не зводзяцца толькі да ўзаемнага ці аднабаковага нанясення ўрону. Існуюць узаемадзеянні, карысныя для асобін аднаго віду, але нейтральныя для другога, а таксама ўзаемавыгадныя і інш. Успомніце розныя тыпы біятычных адносін, вывучаныя ў курсе біялогіі 10-га класа. Паводле сучасных уяўленняў пра эвалюцыю **барацьба за існаванне** ўключае *любыя адносіны арганізмаў паміж сабой і з фактарамі нежывой прыроды*. Такім чынам, з пазіцыі СТЭ барацьба за існаванне разглядаецца ў больш шырокім сэнсе, чым гэта рабіў Дарвін. Адрозніваюць дзве асноўныя формы барацьбы за існаванне: прамую і ўскосную.

**Прамая барацьба** суправаджаецца больш ці менш выяўленым фізічным кантактам асобін. Яна можа адбывацца паміж асобінамі аднаго ці розных відаў (мал. 108). Так, праявамі прамой унутрывідаввой барацьбы з'яўляюцца схватка ваўкоў за здабычу, бітва самцоў за самку ў шлюбны перыяд, выкормліванне дзіцянят і г. д. Прыкладамі прамой міжвідаввой барацьбы могуць служыць: выкідванне птушанём зязюлі іншых птушанят з гнязда прыёмных бацькоў, узаемаадносіны паміж паразітамі і іх гаспадарамі, драпежнікамі і ахвярамі, раслінамі і жывёламі, якія іх апыляюць ці распаўсюджваюць плады і насенне.



а



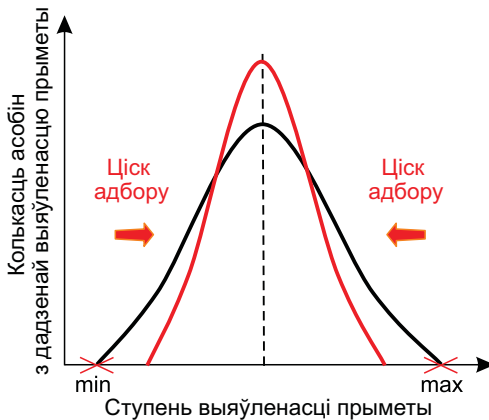
б

Мал. 108. Прамая барацьба за існаванне: а — унутрывідаввая; б — міжвідаввая

*Ускосная барацьба* адбываецца без непасрэднага кантакту асобін. Яна таксама можа быць унутрывідавой (канкурэнцыя паміж соснамі ў густым сасновым лесе, самцамі пёўчых птушак аднаго віду ў перыяд гнездавання) і міжвідавой (паміж культурнымі раслінамі і пустазеллем на поле, азёрнай і сажалкавай жабамі, якія жывуць у адным вадаёме). Акрамя таго, яна можа праяўляцца ў выглядзе барацьбы з неспрыяльнымі абіятычнымі фактарамі. Так, у перыяд засухі адны расліны гінуць, а другія выжываюць. Тое ж самае можна сказаць пра жывёл, напрыклад, ва ўмовах суровай зімы.

**Натуральны адбор і яго формы.** У выніку барацьбы за існаванне выжываюць і пакідаюць патомства пераважна тыя асобіны, фенатыпы якіх найлепшым чынам адпавядаюць умовам навакольнага асяроддзя. Значыць, адбор ідзе па фенатыпах. Разам з карыснымі ў дадзеных умовах (адаптыўнымі) фенатыпамі адбіраюцца і генатыпы, якія іх абумоўліваюць. Фенатыпы і генатыпы, якія не спрыяюць адаптацыі да ўмоў асяроддзя, пад дзеяннем натуральнага адбору, наадварот, знішчаюцца. Такім чынам, паводле СТЭ, **натуральны адбор** уяўляе сабой *працэс выбіральнага захавання і ўзнаўлення адаптыўных генатыпаў і фенатыпаў у папуляцыях*.

У залежнасці ад умоў навакольнага асяроддзя адбор можа дзейнічаць у розных напрамках і прыводзіць да розных эвалюцыйных вынікаў. Вылучаюць некалькі форм натуральнага адбору, асноўнымі з якіх з'яўляюцца стабілізуючы і рухаючы.



Мал.109. Схема дзеяння стабілізуючага адбору

*Стабілізуючы адбор* адбываецца ў больш ці менш пастаянных умовах асяроддзя. Гэта форма натуральнага адбору накіравана супраць крайніх варыянтаў зменлівасці і спрыяе захаванню ў папуляцыі сярэдніх значэнняў тых ці іншых прымет (мал. 109). Пад дзеяннем стабілізуючага адбору знішчаюцца асобіны, прыметы якіх найбольш адхіляюцца ад раней устаноўленай нормы, аптымальнай для дадзеных умоў. Арганізмы з прыметамі, значэнне якіх блізкае да сярэдняга, тыповага для папуляцыі, наадварот, выжываюць і пакідаюць патомства. Такім чынам, стабілізуючы адбор прыво-



форме адбору ў працэсе эвалюцыі ў паразітаў удасканальваюцца прыстасаванні да паразітызму, а ў драпежнікаў — да лоўлі сваіх ахвяр. У той жа час у гаспадароў паразітаў і ў ахвяр драпежнікаў развіваюцца адпаведныя механізмы аховы. Рухаючая форма адбору можа прыводзіць як да фарміравання новых прымет, так і да аслаблення і знікнення тых, якія былі раней, але страцілі сваю адаптыўную ролю. Так, напрыклад, у некаторых відаў насякомых і птушак у працэсе эвалюцыі былі рэдуцыраваны крылы, а ў шэрагу пячорных і глебавых жывёл — органы зроку.



Барацьба за існаванне і натуральны адбор — рухаючыя сілы эвалюцыі. Выдзяляюць прамую і ўскосную барацьбу за існаванне. Адпаведна СТЭ натуральны адбор — гэта працэс выбіральнага захоўвання і ўзнаўлення адаптыўных генатыпаў і фенатыпаў у папуляцыях. Асноўнымі формамі натуральнага адбору з'яўляюцца стабілізуючы і рухаючы.



1. Вызначыце рухаючыя сілы эвалюцыі.

Папуляцыйныя хвалі, натуральны адбор, дрэйф генаў, камбінатыўная зменлівасць, ізаляцыя, паток генаў, барацьба за існаванне, мутацыйная зменлівасць.

2. Чым сучасныя ўяўленні пра барацьбу за існаванне адрозніваюцца ад уяўленняў Ч. Дарвіна?

3. У чым заключаецца адрозненне прамой барацьбы за існаванне ад ускоснай? Прывядзіце прыклады прамой і ўскоснай барацьбы.

4. Што, паводле СТЭ, уяўляе сабой натуральны адбор? Чаму гавораць, што натуральны адбор дзейнічае не на асобныя гены і прыметы, а на генатыпы і фенатыпы ў цэлым?

5. Ахарактарызуйце асноўныя формы натуральнага адбору, прывядзіце адпаведныя прыклады.

6\*. Як вы можаце растлумачыць выраз: «Натуральны адбор з'яўляецца творчай сілай эвалюцыйнага працэсу»?

## § 47. Вынікі эвалюцыі

**Адаптацыі і іх адносны характар.** Як ужо адзначалася, пад дзеяннем натуральнага адбору ў папуляцыях выбіральна захоўваюцца і ўзнаўляюцца генатыпы і фенатыпы, якія абумоўліваюць прыстасаванасць арганізмаў да ўмоў, у якіх яны жывуць. Таму заканамерным *вынікам* эвалюцыйнага працэсу з'яўляецца ўзнікненне **адаптацый** — прыстасаванняў, якія спрыяюць выжыванню і размнажэнню арганізмаў у іх асяроддзі пражывання. Сярод іх можна вылучыць марфалагічныя, фізіялагічныя, эталагічныя і інш.



Мал. 111. Ахоўная афарбоўка коніка і тыгра

Асаблівасці знешняй будовы жывых арганізмаў, якія абумоўліваюць іх прыстасаванасць да фактараў асяроддзя, называюць *марфалагічнымі* адаптацыямі. Прыкладамі могуць служыць розныя прыстасаванні, якія забяспечваюць перамяшчэнне і распаўсюджванне арганізмаў (плаўнікі, крылы, абцякальная форма цела, вырасты на паверхні пладоў і насення, якія спрыяюць іх пераносу ветрам), здабыванне корму (шчупальцы кішчачнаполасцевых і галаваногіх малюскаў, дзюбы рознай формы ў птушак). Існуюць марфалагічныя адаптацыі, якія спрыяюць размнажэнню (знешнія адрозненні самцоў і самак — палавы дымарфізм, адпаведнасць будовы кветак іх апыляльнікам) ці забяспечваюць ахову. Так, ахоўнымі прыстасаваннямі з'яўляюцца панцыры членістаногіх і чарапах, ракавіны малюскаў, калючкі раслін, ахоўная (мал. 111) ці папярэджвальная афарбоўка жывёл (мал. 112) і інш.

*Фізіялагічныя* адаптацыі звязаны з працэсамі жыццядзейнасці (розныя механізмы тэрмарэгуляцыі ў цеплакроўных жывёл, эхалакацыя ў дэльфінаў і кажаноў, восеньскі лістапад у многіх раслін і інш.), *эталлагічныя* — з асаблівасцямі паводзін (будаўніцтва ўкрыццяў, напрыклад нор ці гнёзд, запасанне корму на неспрыяльны перыяд года, сезонныя міграцыі, шлюбныя рытуалы, наседжанне яек і г. д.).



Мал. 112. Папярэджвальная афарбоўка божай кароўкі і шэршня

Цікавай формай адаптацыі з'яўляецца *мімікрыя* — імітаванне арганізмамі аднаго віду прадстаўнікоў другога віду, больш абароненага. Мімікрыя звычайна праяўляецца ў падабенстве знешняй будовы, але часам і паводзін. Так, некаторыя віды неядавітых змей знешне вельмі падобныя да ядавітых. Адзін з відаў тараканаў памерамі, формай цела і афарбоўкай падобны да божай кароўкі, а некаторыя цыкады і цвыркуны па знешнім выглядзе нагадваюць мурашак. Вядомыя віды матылькоў і мух, якія імітуюць пчол, чмялёў, вос ці шэршняў. Параўнайце, напрыклад, бяскрыўднага матылька-шклянніцу (гл. мал.) і ядавітага шэршня (гл. мал. 112).



Дзякуючы наяўнасці разнастайных адаптацый жывыя арганізмы добра прыстасаваны да ўмоў асяроддзя пражывання. Аднак важная адзначыць, што любыя прыстасаванні, наколькі б дасканалымі яны ні здаваліся, з'яўляюцца *адноснымі*. Гэта азначае, што ўсе адаптацыі *карысныя толькі ў пэўных умовах асяроддзя*. Пры змяненні гэтых умоў любая адаптацыя можа аказацца бескарыснай і нават шкоднай.

Напрыклад, зімовая белая афарбоўка шэрсці зайца-беляка дапамагае яму стаць менш прыметным для драпежнікаў на фоне снегу, а ў бяспасную зіму, наадварот, робіць прыметным. Панцыр наземных чарапах служыць ім надзейнай аховай ад шматлікіх ворагаў. Аднак некаторыя віды драпежных птушак у працэсе эвалюцыі «навучыліся» паднімаць чарапах у паветра і кідаць на зямлю, каб раскалоць панцыр. Бесперапынны рост разцоў у грызуноў і зайцападобных карысны толькі пры ўжыванні цвёрдага корму. Калі ж карміць гэтых жывёл мяккімі кармамі, разцы перастаюць сточвацца і дасягаюць такіх памераў, што самастойнае кармленне становіцца немагчымым (мал. 113).



Мал. 113. Разцы труса, пазбаўленага магчымаścі ўжываць цвёрды корм

**Відаўтварэнне.** Папуляцыі таго ці іншага віду існуюць у неаднолькавых умовах асяроддзя. У кожнай з іх па-рознаму праяўляюцца мутацыйная і камбінатыйная зменлівасць, папуляцыйныя хвалі і дрэйф генаў. Гэта вядзе да таго, што пад дзеяннем натуральнага адбору розныя папуляцыі эвалюцыяніруюць у розных напрамках. Разам з тым папуляцыі з'яўляюцца *генетычна адкрытымі* сістэмамі, паколькі ў выніку міграцыі асобін паміж імі ажыццяўляецца паток генаў. Пакуль гэты паток існуе, від застаецца адзіным і цэласным. Аднак узнікненне любой формы ізаляцыі (геаграфіч-

най ці біялагічнай) прыводзіць да раз'яднання папуляцый ці іх частак і ўзмацнення генетычных адрозненняў паміж імі. З прычыны гэтага ізаляваныя папуляцыі паступова становяцца *расамі*, а затым — *падвідамі*. З цягам часу паміж падвідамі могуць узнікаць істотныя адрозненні ў будове храмасом ці нават у іх колькасці. У выніку гэтага асобіны губляюць магчымасць даваць жыццяздольнае і пладавітае патомства нават у выпадку скрыжавання адна з адной, г. зн. пры знікненні ранейшай ізаляцыі. Гэта азначае, што адбылося відаўтварэнне, і падвіды ператварыліся ў *генетычна закрытыя* сістэмы — самастойныя *віды*.

Такім чынам, *відаўтварэнне* — *гэта эвалюцыйнае ператварэнне генетычна адкрытых сістэм — папуляцый у генетычна закрытыя сістэмы — новыя віды*. З пазіцыі СТЭ сукупнасць эвалюцыйных працэсаў, якія працякаюць у папуляцыях, суправаджаюцца змяненнем іх генафонду і ў канчатковым выніку могуць прывесці да ўтварэння новых відаў, разглядаюць як *мікраэвалюцыю*. Значыць, *утварэнне відаў з'яўляецца асноўным вынікам мікраэвалюцыі*. Перадумовамі відаўтварэння, як і эвалюцыі ў цэлым, з'яўляюцца элементарныя эвалюцыйныя фактары, рухаючымі сіламі — барацьба за існаванне і натуральны адбор. Па такім жа прынцыпе (пад дзеяннем тых жа перадумоў і рухаючых сіл) на аснове відаў узнікаюць надвідавыя сістэматычныя групы — роды, сямействы і г. д. Гэты працэс называецца *макраэвалюцыяй*.

У залежнасці ад зыходнай формы ізаляцыі, якая прывяла да раз'яднання папуляцый, адрозніваюць два спосабы відаўтварэння: *алапатрычнае* і *сімпатрычнае*.

*Алапатрычнае* (ад грэч. *allos* — розны, *patris* — радзіма) *відаўтварэнне* ажыццяўляецца на аснове геаграфічнай ізаляцыі, г. зн. прасторавага раз'яднання папуляцый. Такім чынам, фарміраванне з гэтых папуляцый рас і падвідаў адбываецца на розных тэрыторыях. Таму, калі алапатрычнае відаўтварэнне завяршаецца, утвораныя віды займаюць розныя арэалы.

Прыкладам алапатрычнага відаўтварэння можа служыць узнікненне роднасных відаў ландыша з аднаго зыходнага, які рос у лясах Еўразіі некалькі мільёнаў гадоў таму. З прычыны змянення клімату арэал гэтага віду быў працяглы час падзелены ледавікамі на некалькі частак, што і прывяло ў выніку да фарміравання новых відаў. Падобным чынам, з прычыны геаграфічнай ізаляцыі, у розных раёнах Паўночнай Амерыкі ўтварыліся тры падвіды плямістай кугакаўкі (птушка сямейства Савіныя) і два падвіды амерыканскай вавёркі.



*Сімпатрычнае* (ад грэч. *syn* — разам, *patris* — радзіма) *відаўтварэнне* абумоўлена біялагічнай ізаляцыяй (успомніце, якія яе віды вам вядомыя). Пры такім спосабе відаўтварэння ўзнікненне новых рас і падвідаў адбываецца на агульнай тэрыторыі. Таму арэалы відаў, якія ўтвараюцца, першапачаткова перакрываюцца ці цалкам супадаюць. Так, пры пражыванні ў адных і тых жа лясах асобіны адных папуляцый чорнага дразда аддаюць перавагу глухім участкам, а другіх, наадварот, трымаюцца бліжэй да ўскраін лесу. Гэта стала прычынай таго, што ў цяперашні час від чорны дрозд распадаецца на два падвіды. З прычыны разліваў Волгі ў пойменных лугах гэтай ракі ўтварыліся па два віды жытняку, мяшэю і некаторых іншых злакаў. У адных відаў цвіценне і плоданашэнне адбываецца да разліву, у другіх — пасля яго.



Фарміраванне ў жывых арганізмаў разнастайных адаптацый — адзін з вынікаў эвалюцыі. Адаптацыі маюць адносны характар, г. зн. з'яўляюцца карыснымі толькі ў пэўных умовах. Адрозніваюць два ўзроўні эвалюцыйнага працэсу — мікраэвалюцыю і макраэвалюцыю. Асноўным вынікам мікраэвалюцыі з'яўляецца ўтварэнне відаў. Алапатрычнае відаўтварэнне абумоўлена геаграфічнай ізаляцыяй, сімпатрычнае працякае на аснове біялагічнай ізаляцыі.



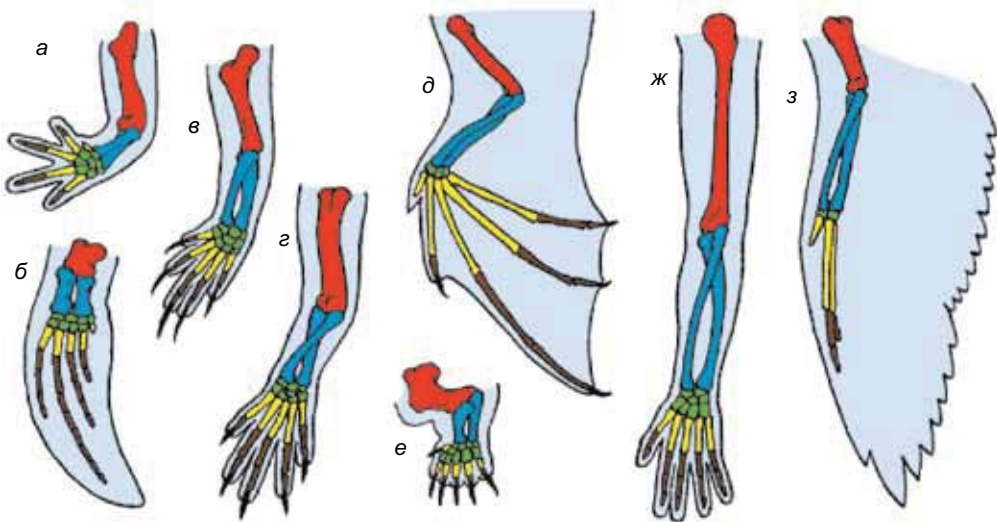
1. На аснове ведаў, якія вы атрымалі пры вывучэнні біялогіі ў 6—10-м класах, прывядзіце прыклады, якія даказваюць прыстасаванасць арганізмаў да асяроддзя пражывання.
2. Чаму фарміраванне адаптацый у жывых арганізмаў з'яўляецца заканамерным вынікам эвалюцыйнага працэсу? Якія тыпы адаптацый вам вядомыя?
3. Дакажыце на прыкладах, што адаптацыі маюць адносны характар.
4. Чаму папуляцыі ўяўляюць сабой генетычна адкрытыя сістэмы, а віды — генетычна закрытыя?
5. Што такое мікраэвалюцыя і макраэвалюцыя?
6. Якія спосабы відаўтварэння вам вядомыя? Чым яны прынцыпова адрозніваюцца?
- 7\*. Якую ролю ва ўтварэнні новых відаў адыгрываюць мутацыйная і камбінатыўная зменлівасць? Папуляцыйныя хвалі і дрыф генаў? Ізаляцыя? Барацьба за існаванне і натуральны адбор?
- 8\*. У прыродзе адны віды працяглы час захоўваюцца ў амаль нязменным выглядзе, а другія параўнальна хутка эвалюцыяніруюць і даюць пачатак новым відам. Як вы думаеце, з чым гэта можа быць звязана?

## § 48. Асноўныя доказы эвалюцыі

Сучасная навука валодае мноствам даных, якія даказваюць эвалюцыйнае развіццё жывой прыроды. Яны сведчаць пра паходжанне ўсіх жывых істот ад агульных продкаў, дазваляюць вызначаць ход *філагенезу* — гістарычнага развіцця розных груп арганізмаў (як тых, што існуюць цяпер, так і вымерлых), а таксама выяўляць ступень іх эвалюцыйнай роднасці. На сённяшні дзень доказы эвалюцыі назапашаны ў межах цэлага шэрага біялагічных дысцыплін. Разгледзім найважнейшыя з гэтых доказаў.

**Параўнальна-анатамічныя доказы эвалюцыі.** Параўнальная анатомія займаецца выяўленнем агульных рыс і адрозненняў у будове арганізмаў. Высокая ступень падабенства даследуемых арганізмаў паказвае агульнасць іх паходжання і блізкую эвалюцыйную роднасць. Напрыклад, пярэднія канечнасці розных пазваночных жывёл пабудаваны па адзіным плане (мал. 114). Яны складаюцца з трох аддзелаў: пляча, што ўключае плечавую костку, перадплечча з локцевай і прамянёвай касцямі і кісці, у якой выдзяляюць запяспе, пяць і фалангі пальцаў.

Пры гэтым у розных пазваночных жывёл пярэднія канечнасці могуць выконваць аднолькавыя ці розныя функцыі, выглядаць падобнымі ці



Мал. 114. Гамалагічныя органы — пярэднія канечнасці пазваночных жывёл: а — жабы; б — кіта; в — яшчаркі; г — кракадзіла; д — кажана; е — крата; ж — чалавека; з — птушкі

ў значнай ступені адрознівацца па знешнім выглядзе. Тыя ці іншыя косці ў іх складзе могуць мець розную форму і адносныя памеры, зрастацца ці нават адсутнічаць. Аднак падабенства будовы пярэдніх канечнасцей пазваночных, абумоўленае адзінствам іх паходжання, відавочнае. Органы, якія незалежна ад выконваемых функцый (яны могуць быць аднолькавымі ці рознымі) маюць адзіны план будовы і *агульнае паходжанне*, называюцца **гамалагічнымі**. Такім чынам, пярэднія канечнасці пазваночных жывёл уяўляюць сабой гамалагічныя органы.

Прыкладамі гамалагічных органаў могуць служыць ядавітыя залозы змей і слінныя залозы іншых пазваночных. Джала пчалы гамалагічна яйцакладу коніка і некаторых другіх насякомых. Гамалагічнымі ў адносінах адно да аднаго з'яўляюцца мясістае сцябло кактуса і донца рэпчатай цыбулі (гэта відазмененыя сцёблы), вусікі гароху і лоўчыя апараты насякомаеднай расліны расянкі (відазмененыя лісты) і г. д.

Наяўнасць гамалагічных органаў паказвае эвалюцыйную роднасць арганізмаў, іх паходжанне ад агульных продкаў. Адрозненні паміж гамалагічнымі органамі, якія могуць праяўляцца ў знешнім выглядзе і выконваемых функцыях, сведчаць пра дывергенцыю — эвалюцыйнае разыходжанне прымет у роднасных арганізмаў, якія прыстасоўваюцца да розных умоў асяроддзя.

**Аналагічнымі** называюць органы, якія маюць знешняе падабенства і выконваюць аднолькавыя функцыі, але з'яўляюцца *рознымі па паходжанні*. Напрыклад, рознае паходжанне маюць крылы птушак (пярэднія канечнасці) і насякомых (вырасты хіцінавага покрыва), каранёвыя шышкі вярціні (відазмененыя карані) і клубні бульбы (відазмененыя парасткі). Калючкі барбарыса па паходжанні з'яўляюцца лістамі, а шыпы ажыны — вырастамі покрывнай тканкі (мал. 115). Аналагічныя адна адной капальныя канечнасці крата і мядзведкі, ракавіна вінаграднага смаўжа і панцыр чарапахі (гл. мал. 115).

Факты наяўнасці аналагічных органаў у розных арганізмаў не сведчаць пра іх эвалюцыйную роднасць. Аднак яны паказваюць, што ў ходзе эвалюцыі ў розных груп арганізмаў, якія жывуць у падобных умовах асяроддзя і вядуць падобны спосаб жыцця, пад дзеяннем натуральнага адбору развіваліся падобныя прыстасаванні.

**Рудыменты** — гэта органы, якія былі добра развіты ў продкаў тых ці іншых арганізмаў, але ў ходзе эвалюцыі страцілі сваё асноўнае значэнне і захаваліся ў сучасных відаў у зачаткавым стане. Закладванне такіх органаў адбываецца ў эмбрыянальным перыядзе антагенезу, аднак поўнаасцю яны не развіваюцца і на працягу ўсяго жыцця застаюцца недазвітымі.



Мал. 115. Прыклады аналагічных органаў у раслін (калючкі барбарыса і шыпы ажыны) і жывёл (ракавіна вінаграднага смаўжа і панцыр чарапахі)

Так, рудыментамі з'яўляюцца зачаткі тазавых касцей у кітападобных і шэрага змей, рэдуцыраваныя вочы ў некаторых жыхароў пячор і глебы, напрыклад у крата, недаразвітыя крылы ў птушкі ківі, якая не лятае, і жужальцы (другая пара крылаў) у двухкрылых насякомых. Больш за 90 рудыментаў налічваюць у чалавека. Гэта хвасец, апендыкс, трэцяе паўека, мышцы, якія падымаюць валасы, рухаюць вушныя ракавіны і г. д. Наяўнасць рудыментарных органаў паказвае на роднасць сучасных відаў з іх эвалюцыйнымі продкамі, у якіх дадзеныя органы былі добра развіты і ў поўнай меры выконвалі ўласцівыя ім функцыі. Паступовая рэдукцыя гэтых органаў у ходзе эвалюцыі служыць доказам дзеяння рухаючай формы натуральнага адбору.

Праяўленне ў некаторых асобін таго ці іншага віду прыметы, уласцівай аддаленым продкам, але згубленай гэтым відам у ходзе эвалюцыі, называюць **атавізмам**. Атавізмы сведчаць пра роднасныя сувязі відаў, якія існуюць зараз, з іх продкамі і паказваюць на тое, што ў сучасных арганізмаў захаваліся гены продкаў, якія кантралююць дадзеныя прыметы.

Аднак у норме дзеянне гэтых генаў падаўлена. Такім чынам, атавізмы, у адрозненне ад рудыментаў, уяўляюць сабой адхіленні ад нормы. Прыкладамі атавізмаў могуць служыць: наяўнасць дадатковых пальцаў на нагах у коней (мал. 116), развітых задніх канечнасцей у дэльфінаў, «рыбінай» лускі на асобных участках скуры ў сучасных земнаводных. У чалавека атавізмамі з'яўляюцца наяўнасць хваста, дадатковых саскоў, густога валасянога покрыва цела (гл. мал. 116).



Двухпаласць  
у каня



Дадатковыя саскі  
ў чалавека



Густое валасяное  
покрыва цела ў чалавека

Мал. 116. Прыклады атавізмаў

**Палеанталагічныя доказы эвалюцыі.** Палеанталогія займаецца вывучэннем выкапнёвых рэшткаў вымерлых арганізмаў, аднаўленнем іх аблічча, выяўленнем падабенства і адрозненняў старажытных і сучасных відаў. Супастаўленне палеанталагічных знаходак, атрыманых з геалагічных пластоў розных эпох, дае магчымасць прасачыць эвалюцыю арганічнага свету ў часе, вызначыць сувязі вымерлых форм з тымі, што існуюць зараз.

Важнейшымі доказамі эвалюцыі, якія дазваляюць выявіць пераемнасць паміж рознымі сістэматычнымі групамі арганізмаў, з'яўляюцца **выкапнёвыя пераходныя формы**. Так называюцца вымерлыя арганізмы, якія спалучалі ў сабе прыметы старажытных і гістарычна больш маладых груп (мал. 117). Напрыклад, вывучэнне *зверазубых яшчараў* (адна з груп выкапнёвых рэптылій), якія валодалі рысамі падабенства як да больш прымітыўных рэптылій, так і да звяроў, дазволіла высветліць шэраг дэталей, што датычацца эвалюцыйнага пераходу ад паўзуноў да млекакормячых. Пераходнай формай ад старажытных кісцяпёрых рыб да сучасных земнаводных з'яўляюцца вымерлыя амфібіі *стэгацэфалы*. Даследаванне выкапнёвых раслін *рыніяфітаў* дало магчымасць выявіць эвалюцыйную сувязь паміж водарасцямі і спаравымі раслінамі.



Звєразубы яшчар



Стэгацэфал



Рыніяфіты

Мал. 117. Выкапнёвыя пераходныя формы

У некаторых выпадках вивучэнне палеанталагічных знаходак дазваляе звязваць пэўныя выкапнёвыя формы адна з адной і з сучаснымі відамі ў адзіныя **філагенетычныя рады**. Яны ўяўляюць сабой паслядоўнасці выкапнёвых форм, якія адлюстроўваюць ход гістарычнага развіцця (філагенезу) відаў, што існуюць у цяперашні час. Такія рады пабудаваны для многіх відаў пазваночных і беспазваночных жывёл. Адным з прыкладаў з'яўляецца філагенетычны рад сучаснага каня (мал. 118), назвы эвалюцыйных продкаў якога прыведзены не для запамінання.

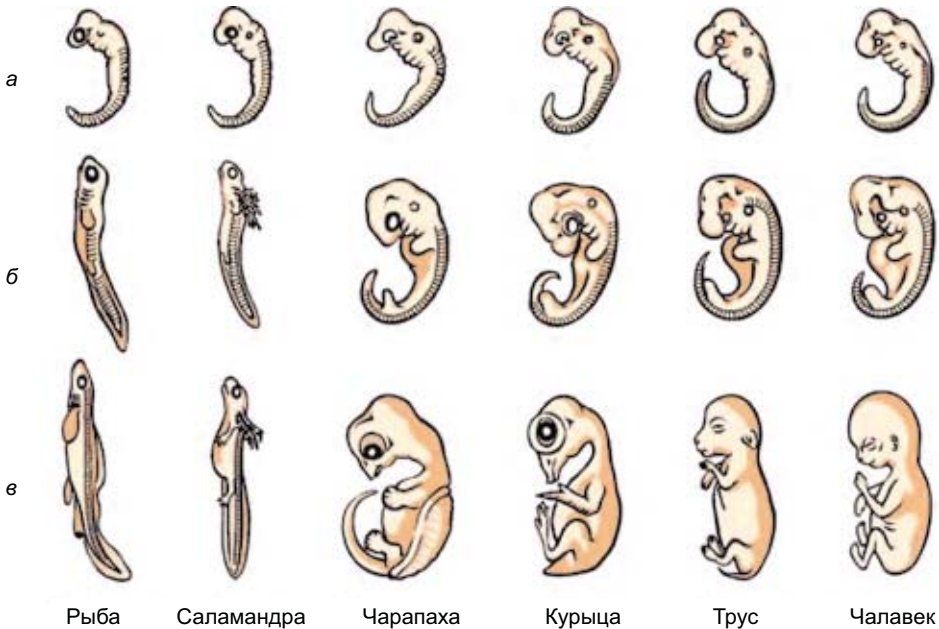


Мал. 118. Філагенетычны рад сучаснага каня  
(паказаны змяненні знешняга выгляду і будовы канечнасцей)

**Эмбрыялагічныя доказы эвалюцыі.** Пераканаўчыя доказы гістарычнага развіцця жывой прыроды і існавання эвалюцыйных сувязей паміж рознымі групамі арганізмаў дае эмбрыялогія. Як вы ўжо ведаеце, гэта навука вивучае эмбрыянальнае развіццё арганізмаў. Так, даныя эмбрыялогіі сведчаць пра падабенства зародкавага развіцця жывёл. Усе яны ў пачатку свайго індывідуальнага развіцця праходзяць этап драблення зіготы, стадыю аднаслойнага зародка — бластулы, а затым двухслойнай

гаструлы. Ва ўсіх, за выключэннем губак і кішчэнаполасцевых, фарміруецца трэці зародкавы лісток — мезадэрма і г. д. Асабліва выразна прасочваецца падабенства развіцця зародкаў у межах асобных тыпаў і класаў жывёл.

Упершыню гэту заканамернасць выявіў расійскі эмбрыёлаг К. Бэр у пачатку XIX ст. Ён дэталёва даследаваў зародкавае развіццё пазваночных жывёл, якія належаць да розных класаў, і высветліў, што на **ранніх этапах антагенезу зародкі розных арганізмаў развіваюцца падобна і толькі на пазнейшых стадыях паміж імі з'яўляюцца адрозненні** (мал. 119). Гэта абагульненне пасля было названа **законам зародкавага падабенства**. Падабенства развіцця эмбрыёнаў розных жывёл, якое назіраецца на ранніх стадыях, сведчыць пра агульнасць іх паходжання. Адрозненні, што ўзнікаюць пазней, гавораць пра дывергенцыю, якая ажыццяўлялася ў ходзе эвалюцыі і прывяла да з'яўлення розных сістэматычных груп.



Мал. 119. Развіццё зародкаў пазваночных жывёл (а — в — паслядоўныя стадыі)

**Малекулярна-генетычныя доказы эвалюцыі.** Жывыя арганізмы маюць на дзівя падобны хімічны састаў. Ва ўсіх форм жыцця, за выключэннем некаторых вірусаў, захавальнікам спадчыннай інфармацыі з'яўляецца ДНК. Бялкі, якія яна кадзіруе, адыгрываюць галоўную

ролю ў ажыццяўленні розных працэсаў жыццядзейнасці. Пастаўшчыком энергіі для працякання гэтых працэсаў служыць, галоўным чынам, АТФ. Для сінтэзу біямалекул жывыя арганізмы выкарыстоўваюць пераважна адны і тыя ж структурныя кампаненты. Напрыклад, ДНК пабудавана з чатырох асноўных тыпаў нуклеатыдаў, а бялкі — з 20 відаў амінакіслот.

Высокая ступень падабенства выяўляецца не толькі ў будове біялагічных малекул, але і ў іх функцыянаванні. Так, у жывых арганізмаў падобным чынам працякаюць працэсы энергетычнага абмену і рэакцыі матрычнага сінтэзу. Рэалізацыя спадчыннай інфармацыі, зашыфраванай з дапамогай універсальнага генетычнага кода, ва ўсіх арганізмаў ажыццяўляецца дзякуючы транскрыпцыі і трансляцыі, з удзелам мРНК, тРНК і рРНК. Гэтыя і многія іншыя факты даказваюць роднасць жывых арганізмаў і адзінства паходжання жыцця на Зямлі.



На сённяшні дзень навука валодае мноствам даных, якія даказваюць гістарычнае развіццё арганічнага свету. Да параўнальна-анатамічных доказаў эвалюцыі адносіцца наяўнасць у жывых арганізмаў гамалагічных і аналагічных органаў, рудыментаў і атавізмаў. Палеанталагічнымі доказамі з'яўляюцца выкапнёвыя пераходныя формы і філагенетычныя рады. Закон зародкавага падабенства — важнейшае абагульненне ў галіне эмбрыялогіі, якое даказвае эвалюцыю жывой прыроды. Агульныя рысы жывых арганізмаў, звязаныя з падабенствам іх хімічнага саставу, будовы і функцыянавання біямалекул, працэсаў захоўвання і рэалізацыі генетычнай інфармацыі і г. д., разглядаюцца як малекулярна-генетычныя доказы эвалюцыі.



1. Што ўяўляюць сабой гамалагічныя органы? Аналагічныя? Прыведзіце прыклады. Пра што сведчыць наяўнасць у жывых арганізмаў гамалагічных органаў? Аналагічных?
2. Прыведзіце прыклады рудыментаў і атавізмаў у розных арганізмаў. У чым заключаюцца прынцыповыя адрозненні паміж рудыментамі і атавізмамі? Чаму і тыя, і другія з'яўляюцца доказамі эвалюцыі?
3. Што вывучае палеанталогія? Якое навуковае значэнне мае даследаванне выкапнёвых пераходных форм? Што ўяўляюць сабой філагенетычныя рады?
4. Сфармулюйце закон зародкавага падабенства. Чаму ён лічыцца адным з важнейшых абагульненняў, якія даказваюць эвалюцыю арганічнага свету?
5. Якія факты могуць разглядацца ў якасці малекулярна-генетычных доказаў эвалюцыйнага працэсу?



6\*. Як вы думаеце, для чаго ў сучаснай навуцы можа выкарыстоўвацца метада параўнання амінакіслотнага саставу пэўных бялкоў (гемаглабіну, інсуліну і г. д.) і нуклеатыдных паслядоўнасцей адпаведных генаў у розных відаў жывых арганізмаў?

7\*. У зародкаў млекакормячых на ранніх этапах развіцця фарміруюцца жабравыя шчыліны і жабравыя мяшкі. Аднак пасля яны пераўтвараюцца не ў жабы, а ў такія структуры, як сляхавыя трубы, міндаліны, вілачкавую залозу (тымус) і інш. Паспрабуйце растлумачыць дадзеныя факты з пункту гледжання эвалюцыйнай тэорыі.

## § 49. Прагрэс і рэгрэс у эвалюцыі.

### Шляхі дасягнення біялагічнага прагрэсу.

### Спосабы ажыццяўлення эвалюцыйнага працэсу

*Прагрэс і рэгрэс у эвалюцыі.* Як вы ўжо ведаеце, узнікненне надзвычайных сістэматычных груп (родаў, сямействаў і г. д.) у ходзе гістарычнага развіцця жывой прыроды называюць макраэвалюцыяй.

Аналіз макраэвалюцыйных працэсаў паказвае, што развіццё арганічнага свету адбывалася ад ніжэйшых форм жыцця да вышэйшых, г. зн. ад прымітыўных арганізмаў да складанаарганізаваных. Аднак у сучасным свеце разам з арганізмамі, для якіх характэрны высокі ўзровень арганізацыі, такія як млекакормячыя, птушкі, кветкавыя расліны і інш., шырока распаўсюджаны і параўнальна проста бабудаваныя, напрыклад бактэрыі і пратысты. У той жа час многія групы даволі высокаарганізаваных арганізмаў (зверазубыя яшчары, дыназаўры, насенныя папараці, рыніяфіты і г. д.) зніклі. Гэта дае аснову вылучыць два асноўныя напрамкі эвалюцыйнага працэсу — біялагічны прагрэс і біялагічны рэгрэс.

**Біялагічны прагрэс** — напрамак эвалюцыі, які суправаджаецца павышэннем прыстасаванасці арганізмаў той ці іншай групы да ўмоў навакольнага асяроддзя. Вынікам гэтага з'яўляецца павелічэнне колькасці асобін відаў, якія ўваходзяць у састаў дадзенай сістэматычнай групы, іх рассяленне ў новыя месцапражывання, што вядзе да пашырэння арэалаў і спрыяе відаўтварэнню. З часам на аснове ўтвораных відаў узнікаюць новыя роды, сямействы і г. д. Такім чынам, біялагічны прагрэс з'яўляецца вынікам эвалюцыйнага поспеху пэўных груп арганізмаў і вядзе гэтыя групы да росквіту.

**Біялагічны рэгрэс**, наадварот, характарызуецца зніжэннем прыстасаванасці арганізмаў пэўнай сістэматычнай групы да асяроддзя пражывання. Ён праяўляецца ў памяншэнні колькасці асобін, скарачэнні арэалаў і нават поўным знікненні відаў. Зніжэнне біялагічнай разнастайнасці ў межах той ці іншай сістэматычнай групы, якое назіраецца пры біяла-

гічным рэгрэсе, нярэдка становіцца прычынай вымірання дадзенай групы арганізмаў.

Важна адзначыць, што ў сучасным свеце біялагічны прагрэс ці рэгрэс вызначаецца не толькі здольнасцю арганізмаў адаптавацца да змянення абіятычных і біятычных фактараў, але і да антрапагеннага ўздзеяння. Дзейнасць чалавека, звязаная як з прамым знішчэннем арганізмаў, так і з парушэннем асяроддзя іх пражывання, стала прычынай вымірання цэлага шэрага відаў. Многія віды, якія існуюць у цяперашні час, сталі рэдкімі ці знаходзяцца пад пагрозай знікнення. Разам з тым чалавек з'яўляецца магутным фактарам, які абумоўлівае біялагічны прагрэс свойскай жывёлы, культурных раслін і ў той жа час пустазелля, шкоднікаў сельскай гаспадаркі і інш.

Трэба адрозніваць біялагічны прагрэс і рэгрэс ад морфафізіялагічнага прагрэсу і рэгрэсу. **Морфафізіялагічны прагрэс** — гэта павышэнне ўзроўню арганізацыі жывых арганізмаў у ходзе эвалюцыі, г. зн. прыняповае ўскладненне іх будовы і працэсаў жыццядзейнасці. Пад **морфафізіялагічным рэгрэсам** разумеюць спрашчэнне арганізацыі жывых арганізмаў. Такая з'ява назіраецца, галоўным чынам, пры іх пераходзе да маларухамага ці сядзячага (у жывёл) або паразітычнага спосабу жыцця. Морфафізіялагічны прагрэс не заўсёды вядзе да біялагічнага: многія складанаарганізаваныя арганізмы ў ходзе эвалюцыі вымерлі ці зараз знаходзяцца на мяжы знікнення. Нельга гаварыць і пра тое, што морфафізіялагічны рэгрэс звязаны з біялагічным рэгрэсам. Наадварот, многія віды і больш буйныя сістэматычныя групы, якія ў ходзе эвалюцыі падвергліся спрашчэнню арганізацыі, на сённяшні дзень шырока распаўсюджаны.

**Шляхі дасягнення біялагічнага прагрэсу.** У працэсе эвалюцыі біялагічны прагрэс можа дасягацца трыма асноўнымі шляхамі. Гэта арагенез, алагенез і катагенез. Кожны з іх абумоўлены ўзнікненнем у жывых арганізмаў пэўных адаптацый.

**Арагенез** — шлях дасягнення біялагічнага прагрэсу, звязаны з фарміраваннем буйных, прыняпова новых прыстасаванняў, якія істотна павышаюць узровень арганізацыі жывых арганізмаў. Іншымі словамі, гэта шлях эвалюцыйнага развіцця, пры якім біялагічны прагрэс дасягаецца за кошт морфафізіялагічнага прагрэсу. Арагенез прыводзіць да з'яўлення буйных сістэматычных груп — царстваў, аддзелаў (тыпаў), класаў.

Адаптацыі, якія абумоўліваюць арагенез той ці іншай сістэматычнай групы, называюцца **арамарфозамі**. Яны не з'яўляюцца прыстасаваннямі да якіх-небудзь пэўных фактараў асяроддзя, а носяць універ-

сальны характар. Арамарфозы даюць жывым арганізмам магчымасць выкарыстання разнастайных умоў навакольнага асяроддзя і ў шэрагу выпадкаў дазваляюць асвоіць новае для іх асяроддзе пражывання. Некаторыя прыклады арагенезу і адпаведных арамарфозаў прыведзены ў табліцы 17.

Табліца 17. Прыклады арагенезу і арамарфозаў

Прыклады арагенезу	Адпаведныя арамарфозы
Узнікненне плоскіх чарвей	Развіццё трэцяга зародкавага лістка (мезадэрмы); двухбаковая сіметрыя цела; фарміраванне нервовых вузлоў (гангліяў); наяўнасць скурна-мускульнага мяшка і сістэм органаў (стрававальнай, выдзяляльнай, палавых) і інш.
Узнікненне млекакормячых	Развітая кара вялікіх паўшар'яў; чатырохкамернае сэрца; цеплакроўнасць; альвеялярныя лёгкія; выкормліванне дзіцянят малаком; дыферэнцыраваныя зубы і інш.
Узнікненне пакрытанасенных раслін	Наяўнасць кветкі і плода; двойное апладненне; наяўнасць сасудаў у праводзячай тканцы і інш.

**Алагенез** — гэта шлях эвалюцыйнага развіцця, пры якім арганізмы набываюць асобныя адаптацыі, што не змяняюць іх агульны ўзровень арганізацыі. Такія адаптацыі называюцца **аламарфозамі** (мал. 120). У адрозненне ад арамарфозаў, звязаных з глабальнай перабудовай структуры і функцыянавання арганізма, аламарфозы ўяўляюць сабой дробныя эвалюцыйныя змяненні (табл. 18). Дзякуючы ім жывыя арганізмы прыстасоўваюцца да пэўных знешніх умоў, займаючы ў сваім асяроддзі пражывання разнастайныя экалагічныя нішы. Шляхам алагенезу ў складзе буйных сістэматычных груп узнікаюць больш дробныя — новыя віды, роды, сямействы, парадкі (атрады).



Мал. 120. Прыклады аламарфозаў: дзюбы рознай формы ў птушак

Табліца 18. Прыклады алагенезу і аламарфозаў

Прыклады алагенезу	Адпаведныя аламарфозы
Узнікненне розных відаў, родаў, сямействаў і атрадаў насякомых	Розная форма і ступень развіцця крылаў; розныя тыпы хадзільных ног і ротавага апаратаў; розныя варыянты ахоўнай і папярэджальнай афарбоўкі і інш.
Узнікненне розных відаў, родаў, сямействаў і атрадаў птушак	Розныя тыпы дзюбы; розная ступень развіцця шыі, ног і крылаў, разнастайная афарбоўка апярэння; розныя формы шлюбных паводзін і інш.
Узнікненне розных відаў, родаў і сямействаў пакрытанасенных раслін	Розная форма, афарбоўка і будова кветак; розныя тыпы суквеццяў; лісты рознай формы і памераў; разнастайныя прыстасаванні для распаўсюджвання пладоў і насення і інш.

**Катагенез** уяўляе сабой шлях эвалюцыі, пры якім біялагічны прагрэс арганізмаў дасягаецца за кошт спрашчэння іх арганізацыі (морфафізіялагічнага рэгрэсу). Як ужо адзначалася, зніжэнне ўзроўню арганізацыі характэрна, перш за ўсё, для паразітычных форм, маларухомых ці сядзячых жывёл, г. зн. для арганізмаў, якія ў ходзе эвалюцыі прыстасоўваліся да больш простага, у параўнанні з продкамі, спосабу жыцця, да больш пастаянных умоў асяроддзя. У такіх умовах некаторыя органы і функцыі арганізма, якія былі неабходны продкам, губляюць сваё першапачатковае біялагічнае значэнне і падвяргаюцца рэдукцыі аж да поўнага знікнення. Так, у сядзячых форм рэдуцыруюцца органы перамяшчэння, у паразітычных жывёл — органы пачуццяў, спрашчаецца будова і функцыянаванне асноўных сістэм арганізма (за выключэннем палавых), у раслін-паразітаў рэдуцыруюцца лісты і інш. Такія адаптацыі, звязаныя са спрашчэннем будовы і працэсаў жыццядзейнасці арганізмаў, называюцца **катамарфозамі** (табл. 19). Нягледзячы на спрашчэнне сваёй арганізацыі, арганізмы, якія ідуць па шляху катагенезу, становяцца больш прыстасаванымі да ўмоў асяроддзя пражывання, што і абумоўлівае іх біялагічны прагрэс.

Табліца 19. Прыклады катагенезу і катамарфозаў

Прыклады катагенезу	Адпаведныя катамарфозы
Пераход двухстворкавых малюскаў да маларухамага доннага спосабу жыцця	Страта галаўнога аддзела цела і некаторых гангліяў; спрашчэнне будовы стравальнай сістэмы, органаў пачуццяў і інш.

Прыклады катагенезу	Адпаведныя катамарфозы
Пераход шэрага чарвей да паразітызму	Спрашчэнне будовы мускулатуры, нервовай і выдзяляльнай сістэм; рэдукцыя органаў пачуццяў; страта стрававальнай сістэмы (у стужачных чарвей) і інш.
Пераход некаторых раслін да паразітызму	Рэдукцыя вегетатыўных органаў (лістоў, каранёў) і інш.



**Спосабы ажыццяўлення эвалюцыйнага працэсу.** Асноўным спосабам ажыццяўлення эвалюцыйнага працэсу з'яўляецца **дывергенцыя**. Успомнім, што так называюць працэс эвалюцыйнага разыходжання прымет у роднасных арганізмаў, якія жывуць у розных умовах. Яшчэ Ч. Дарвін адзначаў важнае значэнне дывергенцыі для ўтварэння новых відаў. Паводле СТЭ дывергенцыя ажыццяўляецца пры наяўнасці ізаляцыі дзякуючы натуральнаму адбору, які дзейнічае на ізаляваныя групы арганізмаў у розных напрамках. У ходзе дывергенцыі пэўныя органы і структуры цела роднасных арганізмаў, якія маюць адзінае паходжанне і агульны прынцып будовы, могуць відазмяняцца для выканання розных функцый. Такім чынам, дывергенцыя прыводзіць да фарміравання гамалагічных органаў.

У выніку дывергенцыі роднасныя арганізмы набываюць пэўныя адрозненні, абумоўленыя адаптацыяй да розных умоў асяроддзя. У той жа час формы, якія дывергіруюць, захоўваюць і рысы падабенства, што тлумачыцца іх эвалюцыйнай роднасцю (агульнасцю паходжання).

Арганізмы, якія належаць да розных буйных сістэматычных груп, напрыклад тыпаў ці класаў, але жывуць у падобных умовах, у ходзе эвалюцыйнага развіцця могуць набываць падобныя рысы. У гэтым выпадку гавораць пра такі спосаб ажыццяўлення эвалюцыйнага працэсу, як канвергенцыя.

**Канвергенцыя** — незалежнае з'яўленне падобных прымет (сыходжанне прымет) у няроднасных арганізмаў, якія жывуць у аднолькавых ці вельмі блізкіх умовах асяроддзя. Так, падобны знешні выгляд маюць акула (клас Храстковыя рыбы) і дэльфін — прадстаўнік класа Млекакормячыя (мал. 121). Відавочна, што дадзенае падабенства выклікана прыстасаваннем да жыцця ў водным асяроддзі. Падабенства ў будове капальных канечнасцей крата (млекакормячае) і мядзведкі (насякомае) з'яўляецца вынікам рыючага спосабу жыцця гэтых жывёл. Наяўнасць крылаў у птушак і на-



Мал. 121. Канвергентнае падабенства ў знешнім выглядзе акулы і дэльфіна

сякомых — вынік асваення паветра як асяроддзя для перамяшчэння. Пры гэтым органы, якія ў выніку канвергенцыі пачалі выконваць аднолькавыя функцыі, маюць зусім рознае паходжанне. Значыць, канвергенцыя прыводзіць да развіцця аналагічных органаў.

Такім чынам, канвергентнае падабенства арганізмаў тлумачыцца іх адаптацыяй да падобных экалагічных умоў, а існаванне адрозненняў — розным паходжаннем.



Вылучаюць два галоўныя напрамкі эвалюцыі — біялагічны прагрэс і біялагічны рэгрэс. Біялагічны прагрэс характарызуецца павышэннем прыстасаванасці арганізмаў да ўмоў асяроддзя, а рэгрэс — зніжэннем. Асноўнымі шляхамі дасягнення біялагічнага прагрэсу з'яўляюцца арагенез, алагенез і катагенез. Арагенез суправаджаецца павышэннем узроўню арганізацыі жывых арганізмаў, г. зн. морфафізіялагічным прагрэсам. Алагенез — шлях фарміравання асобных адаптацый, якія не змяняюць узровень арганізацыі. Пры катагенезе назіраецца спрашчэнне арганізацыі жывых арганізмаў, г. зн. морфафізіялагічны рэгрэс. Асноўны спосаб ажыццяўлення эвалюцыйнага працэсу — дывергенцыя. Гэта разыходжанне прымет у роднасных арганізмаў, якія жывуць у розных умовах. Яшчэ адным спосабам з'яўляецца канвергенцыя — сыходжанне прымет у няроднасных арганізмаў, якія жывуць у падобных умовах асяроддзя.



1. Што такое біялагічны прагрэс? Біялагічны рэгрэс? Якія прыметы сведчаць пра тое, што эвалюцыя той ці іншай сістэматычнай групы накіравана на біялагічны прагрэс? На біялагічны рэгрэс?
2. Што ўяўляе сабой морфафізіялагічны прагрэс і рэгрэс? Назавіце галоўныя прычыны морфафізіялагічнага рэгрэсу жывых арганізмаў.
3. Ахарактарызуйце асноўныя шляхі дасягнення біялагічнага прагрэсу і адпаведныя ім адаптацыі. Прывядзіце прыклады арамарфозаў, аламарфозаў і катамарфозаў.

4. Апішыце вядомыя вам спосабы ажыццяўлення эвалюцыйнага працэсу, прывядзіце прыклады. Растлумачце, чаму дывергенцыя прыводзіць да фарміравання гамалагічных органаў, а канвергенцыя — аналагічных.

5\*. На аснове ведаў, якія вы атрымалі пры вывучэнні біялогіі ў 6—10-м класах, растлумачце, узнікненне якіх арамарфозаў у ходзе эвалюцыйнага развіцця жывой прыроды абумовіла асваенне наземна-паветранага асяроддзя: а) раслінамі; б) беспазваночнымі жывёламі; в) пазваночнымі жывёламі.

## § 50. Прынцыпы сістэматыкі. Сучасная біялагічная сістэма

У выніку біялагічнай эвалюцыі на Зямлі ўзнікла дзівосная разнастайнасць арганізмаў. Па ацэнках шэрага вучоных, у цяперашні час на планеце жывуць больш за 10 млн відаў. Да гэтай колькасці трэба дадавіць сотні мільёнаў відаў, якія існавалі ў мінулым, але ў ходзе эвалюцыі вымерлі. Для вывучэння такой вялізнай разнастайнасці арганізмаў вельмі важна іх *класіфікаваць*, г. зн. размяркоўваць па групам у адпаведнасці з пэўнымі прыметамі. Класіфікацыяй арганізмаў, вывучэннем іх разнастайнасці, паходжання і філагенетычных (роднасных) адносін займаецца *сістэматыка*.

Першую навуковую сістэму жывой прыроды распрацаваў шведскі вучоны Карл Ліней у сярэдзіне XVIII ст. Ён класіфікаваў жывыя арганізмы на аснове невялікай колькасці адвольна выбраных прымет. Так, напрыклад, птушкі былі падзелены К. Лінеем на сістэматычныя групы ў залежнасці ад формы дзюбы, а кветкавыя расліны — на аснове колькасці тычынак і пясцікаў. Ліней быў крэацыяністам, таму яго класіфікацыя не засноўвалася на аналізе паходжання і роднасці арганізмаў. Разам з тым яна аказалася самай удалай сярод сістэм таго часу. Сістэма прыроды, распрацаваная К. Лінеем, была шырока прынята прыродазнаўцамі і стала асновай для сучаснай класіфікацыі арганізмаў.

Асноўным сачыненнем К. Лінея, прысвечаным класіфікацыі жывых арганізмаў, была праца «Сістэма прыроды». Першае выданне гэтай кнігі было апублікавана ў 1735 г. і змяшчала ўсяго 11 старонак. А ў дванаццатым выданні (1766—1768 гг.), якое выйшла пад аўтарствам К. Лінея апошнім, было ўжо каля 2400 старонак. Яно змяшчала апісанне больш за 7500 відаў раслін і звыш 4000 відаў жывёл.

Сучасная сістэматыка для класіфікацыі арганізмаў выкарыстоўвае цэлы комплекс прымет. Улічваюцца, напрыклад, іх знешняя і ўнутраная будова, гісторыя эвалюцыйнага развіцця на аснове палеанталогічных даных, працэсы жыццядзейнасці і біяхімічныя асаблівасці (састаў бялкоў, запасныя пажыўныя рэчывы і інш.), эмбрыянальнае развіццё, асаблівасці будовы клетак, карыятып, распаўсюджанне на планеце.

Гэта дазваляе класіфікаваць арганізмы на аснове іх *эвалюцыйнай роднасці*, а не толькі падабенства па той ці іншай прымеце.

Асобныя прыметы няроднасных арганізмаў могуць быць вельмі падобнымі ў выніку прыстасавання да аднолькавых ці блізкіх умоў асяроддзя (успомніце, як называецца спосаб ажыццяўлення эвалюцыйнага працэсу, які прыводзіць да з'яўлення такіх прымет). У той жа час нават блізкароднасныя віды могуць прыметна адрознівацца. Таму вельмі важна, што ў сучаснай сістэматыцы арганізмы размяркоўваюць па групам з улікам іх паходжання, гістарычнага развіцця і роднасці.

**Прынцыпы сістэматыкі.** У аснове класіфікацыі арганізмаў ляжаць два галоўныя прынцыпы: іерархічнасці (супадпарадкавання) і бінарнай наменклатуры. Яны былі ўведзены яшчэ К. Лінеем і застаюцца актуальнымі да гэтага часу.

Падчас класіфікацыі арганізмаў вучоныя размяркоўваюць іх па групам. Такія групы называюцца *сістэматычнымі (таксанамічнымі) адзінкамі* ці *таксонамі*. Прынцып **іерархічнасці** заключаецца ў тым, што сістэматычныя адзінкі паслядоўна «падпарадкоўваюцца» адна адной, г. зн. буйныя таксоны падзяляюцца на больш дробныя, тыя ў сваю чаргу на яшчэ больш дробныя і г. д. Выдзяляюць сем асноўных сістэматычных адзінак, найменшай з якіх з'яўляецца *від*. Роднасныя віды аб'ядноўваюць у *роды*. Так, напрыклад, на тэрыторыі нашай краіны жывуць тры віды роду Рапуха (мал. 122). Блізкія роды аб'ядноўваюць у *сямействы*, сямействы — у *парадкі*, парадкі — у *класы*, класы — у *аддзелы*, а аддзелы — у *царствы*. Важна адзначыць, што для класіфікацыі жывёл традыцыйна замест таксона *парадак* выкарыстоўваецца *атрад*, а замест *аддзела* — *тыл*. Любы арганізм незалежна ад таго, існуе ён зараз або існаваў у мінулым, павінен паслядоўна належаць да ўсіх сямі асноўных сістэматычных адзінак. Асноўныя таксоны, якія выкарыстоўваюцца ў сістэматыцы, і прыклады класіфікацыі прыведзены ў табліцы 20 на старонцы 264.



Рапуха шэрая



Рапуха зялёная



Рапуха чаротавая

Мал. 122. Віды роду Рапуха



Табліца 20. Асноўныя таксоны і прыклады класіфікацыі

Асноўныя таксоны	Прыклады класіфікацыі	
Царства	Царства Расліны	Царства Жывёлы
Адзел (для жывёл — тып)	Адзел Пакрытанасенныя	Тып Хордавыя
Клас	Клас Двухдольныя	Клас Млекакормячыя
Парадак (для жывёл — атрад)	Парадак Букакветныя	Атрад Драпежныя
Сямейства	Сямейства Бярозавыя	Сямейства Воўчыя
Род	Род Бяроза	Род Ліс
Від	Від Бяроза павіслая	Від Ліс звычайны

Акрамя асноўных таксонаў, у сучаснай сістэматыцы прынята выдзяляць і дадатковыя. Часцей за ўсё для гэтага выкарыстоўваюць прыстаўкі *над-* і *пад-*, напрыклад падтып, надклас, падклас, надсямейства, падвід і г. д. Так, Ліс звычайны належыць да падтыпу Пазваночныя, падкласа Сапраўдныя звяры (Жывародзчыя).

У адпаведнасці з прынцыпам **бінарнай наменклатуры** кожнаму віду прысвойваецца назва на лацінскай мове, якая складаецца з двух слоў. Першае слова — гэта *назва роду*, да якога належыць дадзены від, другое — *відавы эпітэт*. Напрыклад, *Homo sapiens* (Чалавек разумны), *Trifolium pratense* (Канюшына лугавая). Вучоныя ва ўсім свеце выкарыстоўваюць назвы арганізмаў на лацінскай мове. Гэта дазваляе пазбегнуць блытаніны, абумоўленай існаваннем мясцовых варыянтаў агульнапрынятых назваў. Так, расліна *Ficus carica* толькі на беларускай мове мае некалькі шырока распаўсюджаных назваў: інжыр, смакоўніца, фігавае дрэва, вінная ягада.

**Сучасная біялагічная сістэма** з'яўляецца адлюстраваннем гістарычнага развіцця жывой прыроды. Доўгі час усе арганізмы дзялілі толькі на два царствы — Жывёлы і Расліны. Асноўнае адрозненне паміж імі зводзілася да тыпу жыцця і здольнасці актыўна перамяшчацца. Аднак па меры пашырэння ведаў пра прыроду падыходы да класіфікацыі арганізмаў змяняліся і ўдасканальваліся. Так, напрыклад, вывучэнне

асаблівасцей будовы клетак і іх хімічнага саставу паказала, што клеткі грыбоў маюць рысы падабенства як да раслінных, так і да жывёлных клетак. На аснове гэтага грыбы былі выдзелены ў асобнае царства.

У другой палове XX ст. была прапанавана біялагічная сістэма, паводле якой клетачныя формы жыцця падзяляюцца на пяць царстваў: Бактэрыі, Пратысты, Грыбы, Расліны і Жывёлы. Гэта сістэма атрымала шырокае распаўсюджванне сярод вучоных, аднак некаторыя біёлагі выдзяляюць большую колькасць царстваў. Трэба адзначыць, што ніводная з біялагічных сістэм, якія існуюць на сённяшні дзень, не з'яўляецца дасканалай. Назапашванне біёлагамі новых даных спрыяе развіццю сістэматыкі і ўдасканаленню класіфікацыі арганізмаў.



Сістэматыка займаецца класіфікацыяй арганізмаў, вывучае іх разнастайнасць, паходжанне і філагенетычныя адносіны. К. Ліней распрацаваў першую навуковую сістэму жывой прыроды. Аднак яна не асноўвалася на аналізе паходжання арганізмаў і іх роднасці. У сучаснай сістэматыцы пры класіфікацыі арганізмаў улічваецца іх гістарычнае развіццё і роднасць. У аснове сістэматыкі ляжаць прынцыпы іерархічнасці і бінарнай наменклатуры. У цяперашні час шырокае распаўсюджванне атрымала біялагічная сістэма, паводле якой вылучаюць пяць царстваў арганізмаў, якія маюць клетачную будову: Бактэрыі, Пратысты, Грыбы, Расліны і Жывёлы.



1. Выберыце з прадстаўленых ніжэй таксонаў тыя, якія выкарыстоўваюцца для класіфікацыі жывёл, і размясціце іх у іерархічным парадку, пачынаючы з найменшага.

Род, сямейства, тып, царства, аддзел, атрад, від, клас, парадак.

2. Чым займаецца сістэматыка? Хто з'яўляецца аўтарам першай навуковай сістэмы прыроды?

3. У чым заключаецца найважнейшае адрозненне паміж сістэматыкай Лінея і сучаснай сістэматыкай? Чым яна абумоўлена?

4. Ахарактарызуйце асноўныя прынцыпы сістэматыкі.

5. Якія царствы арганізмаў прынята вылучаць у сучаснай біялагічнай сістэме?

6\*. Прапануйце свой варыянт дзялення жывёл (ці раслін) на групы на аснове адной адвольна ўзятай прыметы. Дакажыце, што дадзеная класіфікацыя не адлюстроўвае эвалюцыйную роднасць арганізмаў.

## § 51. Фарміраванне ўяўленняў пра эвалюцыю чалавека. Месца чалавека ў заалагічнай сістэме

Пытанне пра паходжанне стала хваляваць чалавецтва, верагодна, з тых далёкіх часоў, калі людзі толькі пачалі асэнсоўваць навакольны свет, усведамляць сябе і сваё месца ў ім. Працэс узнікнення і эвалюцыйнага развіцця чалавека называецца **антрапагенезам**.

**Фарміраванне ўяўленняў пра антрапагенез.** У многіх старажытных плямёнах людзі верылі ў сваё паходжанне ад пэўных жывёл, напрыклад кракадзілаў, мядзведзяў, кажаноў ці малп. Кожнае племя з пашанай ставілася да свайго «продка», яго ахоўвалі, яму пакланяліся. У эпоху Антычнасці некаторыя філосафы таксама выказвалі ідэі прыроднага паходжання чалавека. Аднак далей у сувязі з усталяваннем панавання царквы ў святдомасці большасці людзей зацвердзіліся пазіцыі крэацыянізму: чалавека стварыў Бог па сваім вобразе і падабенстве.

Стваральнік навуковай сістэматыкі К. Ліней у сярэдзіне XVIII ст. уключыў чалавека ў атрад Прыматы. Пры гэтым ён засноўваўся толькі на падабенстве людзей з малпамі і адмаўляў роднасць паміж імі. У пачатку XIX ст. аўтар першага эвалюцыйнага вучэння Ж.-Б. Ламарк распаўсюдзіў свае погляды пра гістарычнае развіццё жывой прыроды ў тым ліку і на чалавека. Ён выказаў меркаванні пра паходжанне людзей ад малпападобных продкаў, пра роднасць арангутана і чалавека.

Важную ролю ў стварэнні вучэння пра антрапагенез адыграў Ч. Дарвін. У 1871 г. была выдадзена яго кніга «Паходжанне чалавека і палавы адбор». У гэтай працы Дарвін прывёў важкія аргументы на карысць натуральнага паходжання людзей. Ён паказаў значнасць у эвалюцыі чалавека такіх біялагічных фактараў, як спадчынная зменлівасць, барацьба за існаванне і натуральны адбор, абгрунтаваў іх ролю ў працэсе антрапагенезу. На аснове параўнальна-анатамічных і эмбрыялагічных даных, якія паказваюць на дзівоснае падабенства чалавека і чалавекападобных малп, Ч. Дарвін прывёў доказы іх роднасці і агульнасці паходжання ад старажытнага зыходнага продка.

Пасля Дарвіна вучэнне пра антрапагенез атрымала далейшае развіццё. У Экватарыяльнай Афрыцы (меркаванай радзіме чалавецтва) і іншых рэгіёнах планеты праводзіліся шматлікія раскопкі. Гэта прывяло да адкрыцця выкапнёвых рэшткаў старажытных малп і людзей. Былі распрацаваны надзейныя метады вызначэння іх узросту, якія паказалі, што чалавецтва ўзнікла нашмат раней, чым меркавалася да гэтага.

Для вывучэння эвалюцыйнага развіцця чалавека сталі выкарыстоўвацца метады малекулярнай біялогіі, генетыкі, біяхіміі і іншых навук. Знаходкі прадметаў, зробленых старажытнымі людзьмі (прылад працы, пасуды, скульптур і інш.), далі магчымасць аналізаваць развіццё культуры чалавека.

**Месца чалавека ў заалагічнай сістэме.** Палажэнне Чалавека разумнага як біялагічнага віду ў сістэме жывой прыроды паказана ў табліцы 21.

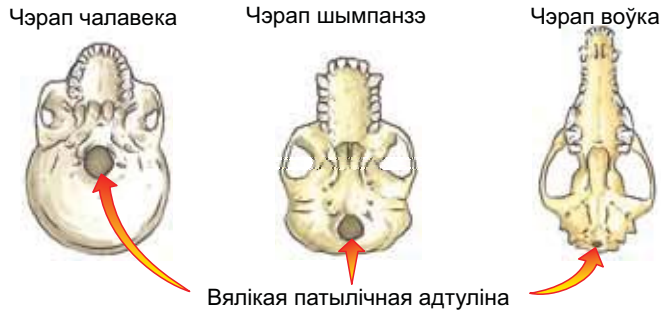
Табліца 21. Месца чалавека ў заалагічнай сістэме

Таксон	Прыметы, на аснове якіх від Чалавек разумны належыць да дадзенага таксона
Царства Жывёлы	Гетэратрофнае харчаванне; актыўнае перамяшчэнне; рэзервовы вуглявод — глікаген; адсутнасць у клетках клетачнай сценкі і пластыд; абмежаваны рост і інш.
Тып Хордавыя	Двухбаковая сіметрыя цела; наяўнасць у зародка хорды, жабравых шчылін, нервовай трубка на спінным баку цела і стрававальнай трубка на брушным баку цела; замкнутая крывяносная сістэма і інш.
Падтып Пазваночныя	Ёсць пазваночнік, чэрап, галаўны і спінны мозг; сэрца, размешчанае на брушным баку цела, і інш.
Клас Млекакормячыя (Звяры)	Выкормліванне патомства малаком (наяўнасць малочных залоз); развітая кара вялікіх паўшар'яў з барознамі і звлінамі; чатырохкамернае сэрца; цэплакроўнасць; альвеаларныя лёгкія; ёсць дыяфрагма; скура мае валасяное покрыва, змяшчае потавыя і салныя залозы; дыферэнцыраваныя зубы; ёсць вушная ракавіна; у сярэднім вуху тры слыхавыя костачкі і інш.
Падклас Сапраўдныя звяры (Жывародзячыя)	Наяўнасць маткі (унутрывантробнае выношванне); харчаванне зародка праз плацэнту і інш.
Атрад Прыматы	Верхнія канечнасці пяціпальцыя, хапальнага тыпу, вялікі палец супрацьпастаўлены чатыром астатнім; наяўнасць пазногцяў (а не кіпцюроў); добра развітыя ключыцы дазваляюць здзяйсняць разнастайныя і складаныя рухі верхніх канечнасцей; адна пара малочных залоз; бінакулярны зрок і інш.
Сямейства Гамініды Род Чалавек ( <i>Homo</i> ) Від Чалавек разумны ( <i>Homo sapiens</i> )	



**Якасняя адрозненні чалавека.** Эвалюцыйную роднасць людзей і жывёл даказваюць многія прыметы, напрыклад падабенства эмбрыянальнага развіцця, будовы цела, наяўнасць рудыментаў, з'яўленне атавізмаў. Аднак від Чалавек разумны мае шэраг важных асаблівасцей, якія адрозніваюць яго ад іншых млекакормячых, у тым ліку і ад астатніх чалавекападобных прыматаў (арангутана, гарылы, шымпанзэ і інш.). Гэтыя адрозненні звязаны, перш за ўсё, з прамахаджэннем, развіццём мыслення і маўлення, працоўнай дзейнасцю.

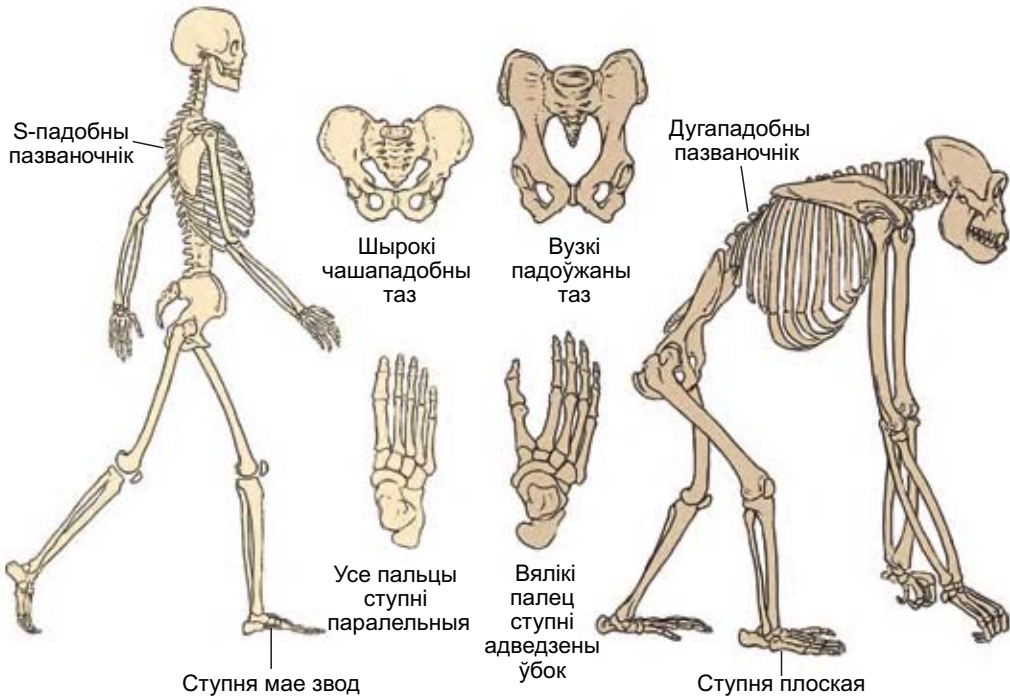
**Прамахаджэнне** чалавека абумовіла шэраг асаблівасцей у будове апорна-рухальнага апарата. Так, вялікая патылічная адтуліна размешчана ў людзей унізе чэрапа, у цэнтры яго асновы, а не ззаду, як у астатніх млекакормячых (мал. 123). Гэта забяспечвае ўстойлівасць чэрапа. Пазваночнік у чалавека, у параўнанні з другімі млекакормячымі, скарачаны, што спрыяе падтрыманню вертыкальнага становішча цела. Ён мае S-падобную форму з прычыны наяўнасці чатырох выгібаў (успомніце, як яны называюцца). Выгібы пазваночніка змякчаюць штуршкі і ўдары пры руху, забяспечваюць захаванне раўнавагі цела. У большасці млекакормячых пазваночнік мае форму дугі (мал. 124). Як вы ведаеце з курса біялогіі 9-га класа, у людзей памеры пазванкоў паслядоўна павялічваюцца ад шыйнага аддзела да крыжа ў сувязі з узростаннем нагрукі на іх. У іншых чалавекападобных прыматаў пазванкі прыкладна аднолькавыя па памеры.



Мал. 123. Размяшчэнне вялікай патылічнай адтуліны чэрапа (выгляд знізу)

У сувязі з прамахаджэннем грудная клетка чалавека шырокая і адносна плоская, а ў другіх млекакормячых яна мае выгляд конуса. Таз у людзей пашыраны і мае форму чашы, якая падтрымлівае знізу ўнутраныя органы. Таз у большасці млекакормячых вузкі, выцягнуты ў даўжыню (гл. мал. 124). Ніжнія канечнасці чалавека даўжэйшыя за верхнія. Мацней, чым у астатніх прыматаў, развіты мышцы ног і спіны, якія забяспечваюць падтры-

манне вертыкальнага становішча цела. Ступня чалавека страціла хапальную функцыю — вялікі палец не адведзены ўбок, як у іншых прыматаў, а размешчаны паралельна астатнім. Акрамя таго, ступня чалавека ў ходзе эвалюцыі набыла звод, які забяспечвае амартызацыю пры руху (гл. мал. 124).



Мал. 124. Будова шкілетаў чалавека і гарылы

Паралельна з развіццём **мыслення** і **маўлення** павялічваўся аб'ём галаўнога мозгу чалавека. У сучасных людзей ён звычайна складае 1200—1600 см<sup>3</sup>, а ў іншых прыматаў не перавышае 600 см<sup>3</sup>. Галаўны мозг чалавека адрозніваецца высокай ступенню развіцця кары вялікіх паўшар'яў, дзе знаходзяцца цэнтры маўлення, лагічнага мыслення, канструктыўнай дзейнасці і многія іншыя. Толькі для людзей характэрна наяўнасць другой сігнальнай сістэмы, якая забяспечвае маўленне і абстрактнае мысленне. Слова дазваляе абагульняць назапашаныя факты і перадаваць інфармацыю ад аднаго чалавека да другога. Такім чынам, дзякуючы маўленню чалавек выкарыстоўвае ў жыцці не толькі свой асабісты вопыт, але і вопыт іншых людзей.

У сувязі з павелічэннем аб'ёму галаўнога мозгу ў чалавека мазгавы аддзел чэрапа пераважае над аддзелам твару у суадносінах 4 : 1. У большасці приматаў гэтыя суадносіны блізкія да 1 : 1, а ў іншых млекакормячых істотна пераважае аддзел твару.

Выразнаму і хуткаму вымаўленню гукаў спрыяе тое, што ніжняя сківіца чалавека мае форму падковы з падбародачным выступам. Гэта звязана з развіццём мускулатуры языка. Акрамя таго, у людзей невялікія іклы, якія не выступаюць за лінію іншых зубоў, зубны рад роўны, без прамежкаў, складана пабудавана гартань. У чалавекападобных малп ніжняя сківіца мае форму дугі, іклы буйныя, выступаюць наперад, гартань пабудавана параўнальна проста.

Верхнія канечнасці чалавека страцілі функцыю апоры і выкарыстоўваюцца для **працоўнай дзейнасці**. У сувязі з гэтым рука чалавека ў параўнанні з астатнімі приматамі адрозніваецца невялікім памерам, але большай рухомасцю (мал. 125). Доўгія тонкія пальцы і наяўнасць мноства дробных мышцаў даюць магчымасць маніпуліраваць нават вельмі маленькімі прадметамі. Высокая ступень супрацьпастаўлення вялікага пальца забяспечвае сілу і дакладнасць захоплівання розных аб'ектаў.



Мал. 125. Рукі чалавека і шымпанзэ

Найважнейшым якасным адрозненнем чалавека ад другіх жывёл таксама з'яўляецца здольнасць да ўсвядомленага і мэтанакіраванага вырабу прылад працы.



Антрапагенез — гэта працэс узнікнення і эвалюцыйнага развіцця чалавека. Важную ролю ў стварэнні вучэння пра антрапагенез адыграў Ч. Дарвін. Ён прывёў доказы роднасці чалавека і малп, агульнасці іх паходжання ад старажытнага зыходнага продка, абгрунтаваў ролю ў антрапагенезе такіх фактараў, як спадчынная зменлівасць, барацьба за існаванне і натуральны адбор. Чалавек разумны займае пэўнае становішча ў сістэме жывой прыроды. Шматлікія прыметы даказваюць эвалюцыйную роднасць людзей і жывёл. Аднак шэраг асаблівасцей адрознівае чалавека ад астатніх прадстаўнікоў царства Жывёлы, у тым ліку і ад іншых приматаў. Гэтыя адрозненні звязаны з прамаходжаннем, развіццём мыслення і маўлення, працоўнай дзейнасцю.



1. Якія погляды пра паходжанне чалавека існавалі ў розныя эпохі? Які ўклад у развіццё ўяўленняў пра антрапагенез унёс Ж.-Б. Ламарк? Ч. Дарвін?

2. Ахарактарызуйце месца віду Чалавек разумны ў сістэме жывой прыроды. Пералічыце прыметы, на аснове якіх Чалавек разумны належыць да адпаведных таксонаў.

3. Якія прыметы даказваюць эвалюцыйную роднасць чалавека з іншымі прыматамі?

4. Назавіце якасныя адрозненні чалавека ад другіх млекакормячых, звязаныя з прамахаджэннем.

5. Якія асаблівасці чалавека звязаны з развіццём мыслення і маўлення? З працоўнай дзейнасцю?

6\*. Як вы думаеце, якія становаўчыя і адмоўныя наступствы для чалавека выклікаў пераход яго эвалюцыйных продкаў ад перамяшчэння з выкарыстаннем чатырох канечнасцей да прамахаджэння? Адказ абгрунтауйце.

## § 52. Этапы і напрамкі эвалюцыі чалавека

Паводле ацэнак вучоных, першыя прыматы з'явіліся на Зямлі больш за 60 млн гадоў таму. Яны вялі дрэвавы спосаб жыцця. Дзякуючы натуральнаму адбору ў прыматаў падтрымліваліся такія спадчыныя змяненні, якія спрыялі лажанню і скаканню па галінах дрэў з дапамогай хапальных рухаў. Так, вялікія пальцы кісцей і ступняў сталі супрацьпастаўляцца астатнім, развіццё плечавога пояса з доўгімі ключыцамі забяспечыла магчымасць здзяйсняць разнастайныя рухі пярэдніх канечнасцей. Развіццё бінакулярнага зроку спрыяла дакладнаму вызначэнню адлегласцей пры скачках.

Лічыцца, што найбліжэйшымі агульнымі продкамі шымпанзэ, гарыл і чалавека былі *дрыяпітэкі* (ад грэч. *дрыяс* — дрэва і *пітэкас* — малпа). Гэтыя чалавекападобныя малпы жылі на дрэвах, харчаваліся расліннай ежай, валодалі добра развітымі хапальнымі канечнасцямі. Аднак пахаладанне клімату, якое прывяло да скарачэння плошчы трапічных лясоў, вымусіла дрыяпітэкаў перайсці да засваення адкрытых прастор.

*Папярэднікамі першых людзей*, верагодна, былі *аўстралапітэкі* (ад лац. *australis* — паўднёвы), першыя выкапнёвыя астанкі якіх былі знойдзены ў Паўднёвай Афрыцы. Даследчыкі мяркуюць, што аўстралапітэкі з'явіліся больш за 5 млн гадоў таму. Яны спалучалі ў сабе прыметы чалавека і малп (мал. 126). Рост аўстралапітэкаў складаў 100—150 см. Чэрап аўстралапітэкаў



Мал. 126.  
Аўстралапітэк





Мал. 127. Шкілет ніжніх канечнасцей шымпанзэ, аўстралапітэка і сучаснага чалавека

нія канечнасці, якія ўжо былі падобныя да чалавечых. Вучоныя лічаць, што аўстралапітэкі маглі браць рукамі камяні, палкі ці косці жывёл і выкарыстоўваць гэтыя прадметы для абароны ад драпежнікаў і здабывання ежы. Аднак сапраўдных прылад працы яны не выраблялі. Як мяркуецца, ад адной з груп аўстралапітэкаў і пайшлі першыя людзі.



Мал. 128. Чалавек умелы

быў падобны да чэрапа шымпанзэ, з суцэльнымі надброўнымі дугамі, моцна выступаючымі сківіцамі і буйнымі зубамі. Аб'ём галаўнога мозгу дасягаў  $600 \text{ см}^3$ , як у сучасных гарыл і шымпанзэ. У параўнанні з другімі малпамі валасяное покрыва цэла аўстралапітэкаў было больш рэдкім. Будова таза і шкілета свабодных ніжніх канечнасцей аўстралапітэкаў сведчыць пра прамаходжэнне (мал. 127), але хадзілі яны павольна і нязграбна.

Аўстралапітэкі жылі, напэўна, статкамі на адкрытых прасторах, былі ўсёднымі, але аснову іх рацыёну складала раслінная ежа. У сувязі з перамяшчэннем на дзвюх нагах вызваліліся пярэднія канечнасці, якія ўжо былі падобныя да чалавечых. Вучоныя лічаць, што аўстралапітэкі маглі браць рукамі камяні, палкі ці косці жывёл і выкарыстоўваць гэтыя прадметы для абароны ад драпежнікаў і здабывання ежы. Аднак сапраўдных прылад працы яны не выраблялі. Як мяркуецца, ад адной з груп аўстралапітэкаў і пайшлі першыя людзі.

**Старажытнейшыя людзі.** Па меркаванні многіх даследчыкаў, першым прадстаўніком роду Чалавек быў **Чалавек умелы** (мал. 128), які існаваў каля 2,3—1,5 млн гадоў таму. Фрагменты шкілета Чалавека ўмелага ўпершыню былі знойдзены ў Цэнтральнай Афрыцы. Рост першых людзей не перавышаў 150 см. Чэрап Чалавека ўмелага шмат у чым быў падобны да чэрапа аўстралапітэка. Аднак у сувязі з узрастаннем аб'ёму галаўнога мозгу да  $800 \text{ см}^3$  мазгавы адзел чэрапа павялічыўся, лоб стаў больш

выпуклым. Акрамя таго, у параўнанні з аўстралапітэкам чэрап стаў лягчэйшым, асабліва адзел твару, паменшыўся памер сківіц і зубоў. Тлумачыцца гэта, хутчэй за ўсё, тым, што ў рацыёне Чалавека ўмелага стала больш жывёльнай ежы. Для яе гатавання, верагодна, выкарыстоўваўся агонь — такая ежа лягчэй засвойвалася арганізмам, а для яе перажоўвання не патрабаваліся магутныя мышцы твару. Ніжняя сківіца Чалавека ўмелага мела характэрную крывізну, што паказвае на ўзнікненне зачаткаў маўлення, якое, відаць, уяўляла сабой асобныя выкрыкі галосных гукаў.

Ступня Чалавека ўмелага не мела прыметнага зводу, але вялікі палец ужо быў накіраваны паралельна астатнім і не адводзіўся ўбок. Гэта сведчыць пра прагрэсіўнае развіццё прамахаджэння.

Чалавек умелы быў першым з нашых продкаў, які стаў рэгулярна і мэтанакіравана вырабляць прылады працы. Гэта былі прымітыўныя прылады з расколатай галькі, з дапамогай якіх можна было, напрыклад, абстругаць і завастрыць драўляную дзіду ці адрэзаць кавалак мяса. У сувязі з працоўнай дзейнасцю ў Чалавека ўмелага былі дастаткова добра развіты рукі, апошнія фалангі пальцаў сталі плоскімі і шырокімі.

Наступная ступень эвалюцыі старажытнейшых людзей — від **Чалавек прамахадзячы**. Упершыню яго закамянелыя косткі былі знойдзены на востраве Ява (Інданэзія). Вучоныя мяркуюць, што дадзены від узнік прыкладна 1,5 млн гадоў таму, а каля 500 тыс. гадоў таму пачаў выцясяцца больш прагрэсіўнымі нашчадкамі. Чалавек прамахадзячы быў буйнейшым за сваіх продкаў, яго рост дасягаў 170 см (мал. 129). Далейшае ўдасканаленне прамахаджэння прывяло да прагрэсіўных змяненняў шкілета. Так, у Чалавека прамахадзячага з'явіліся выгібы пазваночніка — ён набыў S-падобную форму, сфарміраваўся звод ступні. Аб'ём галаўнога мозгу дасягнуў 1000 см<sup>3</sup>, але чэрап захоўваў рысы прымітыўнасці, такія як нізкі лоб, развітыя надброўныя дугі, масіўная ніжняя сківіца без падбародчага выступу.



Мал. 129. Чалавек прамахадзячы



Мал 130. Некаторыя прылады працы Чалавека прамахадзячага

Людзі, якія належаць да віду Чалавек прамахадзячы, гэтак жа як і іх продкі, вялі статкавы спосаб жыцця. Яны займаліся збіральніцтвам і паляваннем, прычым нават на такіх буйных жывёл, як насарогі і сланы. Прылады працы сталі больш дасканалымі і набылі стандартную форму (мал. 130). Чалавек прамахадзячы, як і Чалавек умелы, валодаў зачаткамі маўлення. Для абагравання, адпужвання драпежнікаў і гатавання ежы шырока выкарыстоўваўся агонь, хоць здабываць яго людзі, верагодна, яшчэ не ўмелі. Яны маглі атрымліваць агонь, напрыклад, ад лясных пажараў, а затым захоўвалі і падтрымлівалі яго доўгія гады. Палеанталагічныя знаходкі сведчаць пра тое, што Чалавек прамахадзячы шырока рассяліўся па Афрыцы, Еўропе і Азіі.

Да *старажытных людзей* адносяць *неандэртальцаў*, якія, па меркаванні многіх вучоных, былі першымі прадстаўнікамі віду Чалавек разумны. Адна з першых знаходак фрагментаў шкілета неандэртальцаў была зроблена ў пячоры, размешчанай у даліне ракі Неандэр (Германія), адсюль і пайшла іх назва. Старажытныя людзі жылі прыкладна ад 300 да 35 тыс. гадоў таму на тэрыторыі Еўропы і Азіі. Рост неандэртальцаў



Мал. 131. Неандэрталец

складаў каля 160 см, яны валодалі магутным шкілетам і вельмі развітой мускулатурай. Гэта былі моцныя людзі, адаптаваныя да вялікіх фізічных нагурузак. Для іх характэрны параўнальна кароткія канечнасці, развітая грудная клетка, шырокія плечы (мал. 131). Верагодна, гэтыя асаблівасці неандэртальцаў сфарміраваліся пад уплывам вельмі цяжкіх умоў ледніковага перыяду.

Аб'ём галаўнога мозгу старажытных людзей мог дасягаць 1700 см<sup>3</sup>, у кары вялікіх паўшар'яў развіліся цэнтры лагічнага мыслення. Аднак чэрап усё яшчэ быў прымітыўным. Пра гэта сведчаць такія прыметы, як наяўнасць надброўных дуг, адсутнасць падбароднага выступу, нізкі лоб.

Неандэртальцы жылі групамі, сяліліся ў пячорах ці будавалі прымітыўныя хаціны,

займаліся паляваннем і збіральніцтвам. Адзеннем старажытным людзям служылі шкуры забітых жывёл. Неандэртальцы ўмелі не толькі падтрымліваць, але і здабываць агонь. Яны выраблялі і выкарыстоўвалі некалькі дзясяткаў відаў разнастайных прылад працы. Мяркуюць, што маўленне неандэртальцаў, у адрозненне ад старажытнейшых людзей, стала членараздзельным. У старажытных людзей узніклі такія элементы культуры, як паляўнічая магія, пахавальныя абрады і догляд за хворымі.

**Выкапнёвымі людзьмі сучаснага тыпу з'яўляюцца краманьёнцы.** Гэта назва паходзіць ад французскага грота Кра-Маньён, у якім былі знойдзены іх шкілеты, прылады працы і ўпрыгажэнні. Па знешнім выглядзе краманьёнцы амаль не адрозніваліся ад сучаснага чалавека — іх рост дасягаў 180 см, лоб быў высокім і прамым (без надброўных дуг), з'явіўся падбародачны выступ. Лічыцца, што першыя людзі сучаснага тыпу з'явіліся ў Афрыцы больш за 100 тыс. гадоў таму. У далейшым іх арэал значна пашырыўся, людзі засялілі ўсе кантыненты, акрамя Антарктыды.

Мозг краманьёнцаў быў супастаўны па аб'ёме з мозгам неандэртальцаў, аднак павялічыліся памеры лобных долей вялікіх паўшар'яў. Краманьёнцы валодалі членараздзельным маўленнем. Больш дасканалымі сталі спосабы вырабу прылад працы, іх асартымент значна пашырыўся.

Людзі сучаснага тыпу жылі родавымі абшчынамі, асвоілі ганчарную справу, земляробства і жывёлагадоўлю (краманьёнцы першымі пачалі прыручаць жывёл). Яны ўмелі шыць адзенне і будаваць жыллё са ствалоў дрэў, костак і шкур жывёл, каменных пліт.

Важнай падзеяй у жыцці людзей было ўзнікненне мастацтва. Краманьёнцы выраблялі ўпрыгажэнні (каралі, кольцы, бранзалеты і інш.), рабілі малюнкi людзей і жывёл, статуэткі (мал. 132), прымітыўныя



Мал. 132. Скульптуры «Венер», створаныя краманьёнцамі

музычныя інструменты. Значную ролю ў жыцці краманьёнцаў адыгрывалі розныя рытуалы і абрады. Так, напрыклад, пры пахаванні памерлых краманьёнцы клалі ў магілы дзіды, каменныя нажы і шматлікія ўпрыгажэнні.

Мяркуюцца, што першыя музычныя інструменты з'явіліся каля 40 тыс. гадоў таму. У пячорах Германіі і Францыі былі знойдзены рэшткі старажытных флейт, зробленых краманьёнцамі з костак птушак і млекакормячых. На стаянцы Мезін (Украіна) выяўлены цэлы ансамбль ударных музычных інструментаў, створаных з костак маманта.



Папярэднікамі людзей былі аўстралапітэкі, якія жылі на адкрытых прасторах Афрыкі. Першым прадстаўніком роду Чалавек быў Чалавек умелы. Ён упершыню стаў мэтанакіравана вырабляць прылады працы, валодаў зачаткамі маўлення і, верагодна, выкарыстоўваў агонь. Наступнай ступенню эвалюцыі людзей з'яўляецца Чалавек прамахаджычы. Для яго характэрна фарміраванне шэрага адаптацый да прамахаджэння і выкарыстанне больш дасканалых прылад працы. Першымі прадстаўнікамі віду Чалавек разумны лічаць неандэртальцаў. Яны навучыліся здабываць агонь, выконвалі пахавальныя абрады, даглядалі хворых, валодалі членараздзельным маўленнем. Краманьёнцы (выкапнёвыя людзі сучаснага тыпу) па знешнім выглядзе амаль не адрозніваліся ад сучаснага чалавека. Яны асвоілі земляробства, жывёлагадоўлю, ганчарную справу і інш. Важнай падзеяй стала зараджэнне ў краманьёнцаў мастацтва.



1. Размясціце пералічаных ніжэй людзей і іх папярэднікаў у парадку эвалюцыйнага ўзнікнення.

Чалавек прамахаджычы, краманьёнец, аўстралапітэч, неандэрталец, Чалавек умелы.

2. Назавіце асаблівасці дрыяпітэкаў і аўстралапітэкаў. У чым заключаюцца важнейшыя адрозненні паміж імі?

3. Каго адносяць да старажытнейшых людзей? Ахарактарызуйце асаблівасці іх будовы і спосабу жыцця.

4. Якія асаблівасці неандэртальцаў сведчаць пра больш высокі ўзровень іх развіцця ў параўнанні са старажытнейшымі людзьмі?

5\*. Параўнайце неандэртальцаў і краманьёнцаў, выявіце рысы падабенства і адрозненні паміж імі.

6\*. Як вы думаеце, на аснове якіх прынцыповых адрозненняў першым прадстаўніком роду Чалавек лічаць Чалавека ўмелага, а не аўстралапітэка ці Чалавека прамахаджычага?

## § 53. Фактары эвалюцыі чалавека. Чалавечыя расы. Эвалюцыя чалавека на сучасным этапе

*Біялагічныя і сацыяльныя фактары антрапагенезу.* Як вы ўжо ведаеце, у другой палове XIX ст. Ч. Дарвін навукова абгрунтаваў ролю такіх **біялагічных фактараў антрапагенезу**, як *спадчынная зменлівасць, барацьба за існаванне і натуральны адбор*. Па сучасных уяўленнях, да біялагічных фактараў эвалюцыі чалавека таксама адносяць *папуляцыйныя хвалі, паток і дры́ф генаў, ізаляцыю*.

Пахаладанне клімату, якое прывяло да выпцяснення трапічных лясоў Афрыкі стэпамі і саваннамі, вымусіла нашых продкаў асвойваць адкрытыя прасторы. Пераход папярэднякаў чалавека ад дрэвавага спосабу жыцця да наземнага спрыяў развіццю прамахаджэння. Вертыкальнае становішча цела дазваляла атрымліваць больш інфармацыі. Перавага ў барацьбе за існаванне была ў тых асобін, якія маглі лепш яе аналізаваць. У сувязі з гэтым пад дзеяннем натуральнага адбору адбывалася прагрэсіўнае развіццё галаўнога мозгу. Пярэднія канечнасці вызваліліся ад функцыі перамяшчэння. Яны сталі выкарыстоўвацца для ажыццяўлення маніпуляцый з рознымі прадметамі.

Спадчынныя змяненні, звязаныя з удасканаленнем прамахаджэння, галаўнога мозгу, рук, давалі перавагі ў барацьбе за існаванне і захоўваліся натуральным адборам. Такім чынам, пад дзеяннем біялагічных фактараў у ходзе антрапагенезу адбывалася фарміраванне перш за ўсё марфалагічных і фізіялагічных асаблівасцей чалавека.

Аднак растлумачыць эвалюцыю чалавека выключна біялагічнымі заканамернасцямі немагчыма. Чалавек займае асаблівае становішча ў прыродзе, паколькі з'яўляецца адначасова як *біялагічнай*, так і *сацыяльнай* істотай. Значэнне **сацыяльных фактараў антрапагенезу** раскрыў Ф. Энгельс у працы «Роля працы ў працэсе ператварэння малпы ў чалавека». Да гэтых фактараў залічваюць *працу, маўленне, мысленне і грамадскі спосаб жыцця*.

Для паспяховага выжывання, засваення новых месцаў пражывання, пошуку ежы і абароны ад драпежнікаў продкі чалавека аб'ядноўваліся ў групы. Узнікла неабходнасць зносін для ўзгаднення дзеянняў членаў такіх груп. Верагодна, першай формай зносін была жэстыкуляцыя. Але паступова гартань і ротавы апарат людзей у выніку спадчыннай зменлівасці і натуральнага адбору пераўтвараліся — развівалася **маўленне**.

Вызваленне рук ад функцыі апоры дазволіла выкарыстоўваць іх для вырабу прылад працы і **працоўнай дзейнасці**. Ужыванне штучна створаных прылад для палявання дазволіла чалавеку дабавіць у рацыён ежу жывёльнага паходжання, якая з'яўляецца больш каларыйнай і ўтрымлівае больш бялкоў, чым раслінная. Дзякуючы працы чалавек стаў не толькі лепш адаптавацца да асяроддзя пражывання, але і паступова змяняць яго ў патрэбным для сябе напрамку. З удасканаленнем працоўнай дзейнасці і маўлення звязана развіццё **мыслення** і галаўнога мозгу. У выніку натуральнага адбору ў людзей адбылося значнае павелічэнне яго аб'ёму і ўскладненне кары вялікіх паўшар'яў.

З развіццём працоўнай дзейнасці адбывалася ўмацаванне сацыяльных сувязей. Людзі калектыўна палявалі, абараняліся ад драпежнікаў і выходзілі дзяцей. Статкавы спосаб жыцця, які быў характэрны для папярэднікаў чалавека, дзякуючы развіццю мыслення, маўлення і сумеснай працы людзей, стаў **грамадскім спосабам жыцця**.

Марфалагічныя і фізіялагічныя асаблівасці чалавека перадаюцца па спадчыне. Аднак вельмі важную ролю ў эвалюцыі людзей адыгрывае перадача з пакалення ў пакаленне ведаў, уменняў, традыцый, якія не наследуюцца. Іх пераемнасць ажыццяўляецца толькі ў грамадстве дзякуючы навучанню і выхаванню. Такі негенетычны спосаб перадачы інфармацыі стаў магчымым у выніку развіцця маўлення, а пасля і пісьменства.



На пачатковых этапах антрапагенезу вядучую ролю адыгрывалі біялагічныя фактары, якія спрыялі фарміраванню морфафізіялагічных асаблівасцей чалавека. Але паступова іх дзеянне слабела, бо ў выніку працоўнай дзейнасці паменшылася залежнасць людзей ад умоў навакольнага асяроддзя. Чалавек навучыўся выкарыстоўваць агонь, будаваць жыллё, вырабляць адзенне і г. д. Дзеянне сацыяльных фактараў, накіраванае на ўдасканаленне адносін паміж людзьмі, наадварот, узмацнялася і з цягам часу выйшла на першы план.

**Чалавечыя расы, іх паходжанне і адзінства.** Усе сучасныя людзі належаць да аднаго віду — Чалавек разумны, у межах якога выдзяляюць тры асноўныя расы: еўрапеоідную, мангалоідную і негроідную (мал. 133). **Чалавечая раса** — гэта група людзей з агульнымі спадчынама замацаванымі марфалагічнымі прыметамі, якая склалася гістарычна. Адрозненні паміж расамі нязначныя, яны зводзяцца да асаблівасцей колеру скуры, вачэй і валасоў, формы носа, вуснаў і некаторых іншых прымет.



Мал. 133. Прадстаўнікі асноўных чалавечых рас:  
а — еўрапеоід; б — мангалоід; в — негроід

Фарміраванне рас Чалавека разумнага было абумоўлена шырокім рассяленнем краманьёнцаў і ўзнікненнем у выніку гэтага геаграфічнай ізаляцыі. Папуляцыі чалавека асвойвалі розныя рэгіёны планеты, траплялі ў розныя кліматычныя ўмовы і паступова назапашвалі адрозненні. Прыметы, характэрныя для асноўных рас чалавека, пералічаны ў табліцы 22.

Табліца 22. Прыметы асноўных чалавечых рас

Прымета	Раса		
	Еўрапеоідная (еўразійская)	Мангалоідная (азіяцка-амерыканская)	Негроідная (аўстрала-негроідная)
Колер скуры	Светлы ў паўночных груп, смуглы ў паўднёвых і ўсходніх	Смуглы, з жаўтаватым адценнем	Цёмны
Валасы	Мяккія, часцей прамыя ці хвалістыя, колер вар'іруе ад светлага да цёмнага	Жорсткія, прамыя, цёмныя	Жорсткія, кучаравыя, цёмныя
Рост вусоў і барады ў мужчын	Багаты	Слабы	Слабы



Прымета	Раса		
	Еўрапеоідная (еўразійская)	Мангалоідная (азіяцка-амерыканская)	Негроідная (аўстрала-негроідная)
Асаблівасці твару	Вузкі, сківіцы не выступаюць	Шырокі, прыплюснуты, моцна выступаюць скулы, сківіцы не выступаюць	Вузкі, выступае сківічная частка
Форма носа	Вузкі, выступае	Сярэдняй шырыні, слаба выступае	Шырокі, слаба выступае
Таўшчыня вуснаў	Тонкія ці сярэдняй таўшчыні	Сярэдняй таўшчыні	Тоўстыя, напухлыя
Колер вачэй	Ад светла-блакітнага да амаль чорнага	Цёмныя	Цёмныя
Разрэз вачэй	Шырокі	Вузкі	Шырокі
Эпікантус*	Не характэрны	Моцна развіты	Не характэрны

\* Эпікантус — асаблівая складка каля ўнутранага вугла вока, утвораная скурай верхняга павека.

Многія расавыя прыметы з'яўляюцца прыстасавальнымі. Так, напрыклад, **негроідная раса** сфарміравалася ў трапічных лясах і саваннах Афрыкі, г. зн. ва ўмовах спякотнага клімату. Цёмны колер скуры негроідаў служыць аховай ад лішку ультрафіялетовых прамянёў, а кучаравыя валасы, якія ствараюць цеплаізаляцыйны слой, засцерагаюць галаву ад перагрэву. Вобласцю ўзнікнення **еўрапеоіднай расы**, верагодна, была Еўропа. Еўрапеоіды прыстасоўваліся да выжывання ў халодным і вільготным клімаце. Іх светлая скура спрыяе паглыннанню ультрафіялетовых прамянёў, неабходных для сінтэзу вітаміну D. Вузкі выступаючы нос еўрапеоідаў добра сагравае паветра, якое ўдыхаецца. **Мангалоідная раса** ўзнікла, відаць, ва ўмовах стэпаў і паўпустынь Азіі. Мангалоіды адапталіся да сухога кантынентальнага клімату — халодных зім і спякотнага лета з пясчанымі бурамі. Вузкі разрэз вачэй і наяўнасць эпікантуса (мал. 134), верагодна, забяспечвалі ахову іх вачэй ад пападання пылу.



Мал. 134. Эпікантус (паказаны фігурнай дужкай)

У цяперашні час расавыя асаблівасці не маюць істотнага значэння для жыццядзей-



насці людзей. Па шэрагу прымет, такіх, напрыклад, як аб'ём і будова галаўнога мозгу, будова гартані, кісці і ступні, форма пазваночніка, расы практычна не адрозніваюцца. Паміж прадстаўнікамі розных рас няма ніякіх прынцыповых адрозненняў у разумовых здольнасцях, г. зн. здольнасцях да пазнання, творчай і працоўнай дзейнасці. Адзінства рас даказваецца таксама адсутнасцю паміж імі генетычнай ізаляцыі, пра што сведчыць нараджэнне паўнавартаснага патомства ў міжрасавых шлюбах. Такім чынам, усе расы знаходзяцца на адным і тым жа ўзроўні эвалюцыйнага развіцця і з'яўляюцца раўнацэннымі.

**Расізм** — сукупнасць антынавуковых канцэпцый, у аснове якіх ляжаць палажэнні пра фізічную і псіхічную нераўнацэннасць чалавечых рас і пра вырашальны ўплыў расавых адрозненняў на гісторыю і культуру чалавечага грамадства. Расісты не прызнаюць адзінства паходжання рас, расавыя адрозненні расцэньваюць як відавочныя. Для расізму характэрна ідэя пра падзел людзей на «вышэйшыя» і «ніжэйшыя» расы. Прычым «вышэйшыя» нібыта з'яўляюцца адзінымі стваральнікамі цывілізацыі, прызначанымі да панавання, а «ніжэйшыя» не здольныя да стварэння і засваення высокай культуры і павінны быць аб'ектамі эксплуатацыі. Ідэі пра дзяленне рас на «вышэйшыя» і «ніжэйшыя» накіраваны на апраўданне войн, каланіяльнай палітыкі і расавай дыскрымінацыі. Яны не маюць пад сабой ніякага навуковага абгрунтавання.

*Асаблівасці эвалюцыі чалавека на сучасным этапе.* Для сучаснага этапу эвалюцыі чалавека характэрна істотнае аслабленне дзеяння натуральнага адбору. Чалавек абараніў сябе ад многіх неспрыяльных фактараў асяроддзя, таму неабходнасць з'яўлення новага, больш дасканаллага віду, адпала. З часу з'яўлення краманьёнцаў аблічча людзей амаль не змянілася — яно падтрымліваецца стабілізуючай формай натуральнага адбору. Такім чынам, у адносінах да чалавека натуральны адбор страціў відаўтваральную ролю.

Аднак у межах віду эвалюцыя працягваецца і ў цяперашні час. Так, рухаючы адбор накіраваны на ўдасканаленне імунітэту чалавека, на запавольванне працэсаў старэння і павелічэнне працягласці жыцця. Назіраецца павелічэнне росту, памяншэнне масіўнасці шкілета і павышэнне стройнасці людзей, паскараюцца тэмпы іх фізічнага і палавога развіцця.

На нашай планеце амаль не засталася малаколькасных і ізаляваных чалавечых папуляцый. У сувязі з гэтым дзеянне дрэйфу генаў і хваль жыцця на папуляцыі чалавека істотна знізілася. Ізаляцыя, якая адыгрывала важную ролю ў антрапагенезе і прывяла да фарміравання рас, у цяперашні час практычна страціла эвалюцыйнае значэнне ў адносінах да чалавека. Наадварот, у сучасным свеце расце роля міграцый. У выніку гэтага паміж чалавечымі папуляцыямі ўзмацніўся паток

генаў, што вядзе да змешвання народаў і рас. Гэтаму спрыяе таксама знікненне саслоўных, нацыянальных, расавых і іншых сацыяльных бар'ераў.

Мутацыйная зменлівасць на сучасным этапе захоўвае сваё значэнне ў антрапагенезе. Мутацыі ўзбагачаюць папуляцыі людзей новымі прыметамі, многія (і не толькі карысныя) перадаюцца наступным пакаленням. У апошнія гады ў шэрагу рэгіёнаў назіраецца рост мутагенезу. Гэта звязана, перш за ўсё, з хімічным і радыеактыўным забруджваннем навакольнага асяроддзя.

Як ужо адзначалася, на сучасным этапе вядучую ролю ў развіцці чалавечтва адыгрываюць сацыяльныя фактары. Дзеянне многіх біялагічных фактараў (барацьбы за існаванне, натуральнага адбору, дрэйфу генаў, папуляцыйных хваль, ізаляцыі) у значнай ступені аслабела. Аднак мутацыі і паток генаў у цяперашні час істотна ўплываюць на генафонд папуляцый Чалавека разумнага.



На пачатковых этапах антрапагенезу вядучую ролю ў эвалюцыі чалавека адыгрывалі біялагічныя фактары, якія спрыялі фарміраванню яго морфафізіялагічных асаблівасцей. Разам з тым умацнялася і з цягам часу выйшла на першы план дзеянне сацыяльных фактараў, накіраваных на ўдасканаленне адносін паміж людзьмі. Усе людзі, якія жывуць зараз, належаць да віду Чалавек разумны, у межах якога выдзяляюць тры асноўныя расы: еўрапеоідную, мангалоідную і негроідную. Адрозненні паміж расамі нязначныя, яны сфарміраваліся ў ходзе антрапагенезу ў выніку геаграфічнай ізаляцыі. Усе расы знаходзяцца на адным узроўні эвалюцыйнага развіцця і з'яўляюцца раўнацэннымі. На сучасным этапе эвалюцыя чалавека не накіравана на з'яўленне новага віду, вядучую ролю ў антрапагенезе адыгрываюць сацыяльныя фактары.



1. Пералічыце біялагічныя фактары антрапагенезу. Назавіце сацыяльныя фактары эвалюцыі чалавека.
2. Якую ролю адыгрывалі біялагічныя і сацыяльныя фактары на розных этапах антрапагенезу?
3. Ахарактарызуйце асноўныя чалавечыя расы. Што з'явілася прычынай іх узнікнення?
4. Прывядзіце доказы адзінства рас чалавека.
5. У чым залючаецца сутнасць расізму? Дакажыце безгрунтоўнасць гэтых уяўленняў.
6. Якія асаблівасці эвалюцыі чалавека на сучасным этапе? Роля якіх фактараў у ходзе антрапагенезу паступова ўмацнялася? Слабела?
- 7\*. Як вы можаце растлумачыць выраз Ф. Энгельса: «Рука з'яўляецца не толькі органам працы, яна таксама і прадукт яе»?

## ПАДВЯДЗЁМ ВЫНІКІ

Асноўнымі гіпотэзамі ўзнікнення жыцця на Зямлі з'яўляюцца гіпотэзы креацыянізму, пазаземнага паходжання і біяхімічныя. Сярод апошніх найбольшае навуковае прызнанне атрымала каацэрватная гіпотэза Апарына—Холдэйна.

Першае эвалюцыйнае вучэнне распрацаваў Ж.-Б. Ламарк. Стваральнікам эвалюцыйнай тэорыі, якая стала падмуркам для развіцця сучаснай біялогіі, з'яўляецца Ч. Дарвін. У ХХ ст. на аснове вучэння Дарвіна, а таксама дасягненняў у галіне генетыкі, экалогіі і іншых навук была распрацавана сінтэтычная тэорыя эвалюцыі (СТЭ). Паводле СТЭ элементарнай адзінкай эвалюцыі з'яўляецца папуляцыя, перадумовамі эвалюцыі — мутацыйная і камбінатыўная зменлівасць, паток і дрэйф генаў, папуляцыйныя хвалі і ізаляцыя. Рухаючыя сілы эвалюцыйнага працэсу — гэта барацьба за існаванне і натуральны адбор. Асноўныя вынікі эвалюцыі — узнікненне адаптацый у жывых арганізмаў і відаўтварэнне.

Вылучаюць два галоўныя напрамкі эвалюцыі — біялагічны прагрэс і біялагічны рэгрэс. Асноўныя шляхі дасягнення біялагічнага прагрэсу — гэта арагенез, алагенез і катагенез. Спосабамі ажыццяўлення эвалюцыйнага працэсу з'яўляюцца дывергенцыя і канвергенцыя. Сучасная навука валодае мноствам даных, якія даказваюць эвалюцыйнае развіццё арганічнага свету.

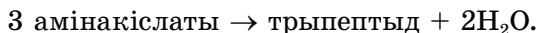
Класіфікацыяй арганізмаў, вывучэннем іх разнастайнасці, паходжання і роднасных адносін займаецца сістэматыка. Сучасная сістэматыка з'яўляецца адлюстраваннем гістарычнага развіцця жывой прыроды.

Працэс узнікнення і эвалюцыйнага развіцця чалавека называецца антрапагенезам. Роднасць людзей з жывёламі даказваюць многія прыметы, але шэраг асаблівасцей адрознівае чалавека ад астатніх жывёл. Гэтыя адрозненні звязаны з прамахаджэннем, развіццём мыслення і маўлення, працоўнай дзейнасцю. На ранніх этапах антрапагенезу галоўную ролю ў эвалюцыі людзей адыгрывалі біялагічныя фактары. Аднак з цягам часу ўзмацнялася і выйшла на першы план дзеянне сацыяльных фактараў. Усе сучасныя людзі належаць да віду Чалавек разумны.

## Прыклады рашэння задач

**§ 3.** • У лабараторыі сінтэзавалі трыпептыд, у састаў якога ўвайшлі астаткі адной і той жа амінакіслаты. Вызначыце малекулярную масу выкарыстанай амінакіслаты, калі малекулярная маса трыпептыда роўна 405.

**Рашэнне.** 1. Трыпептыд утвораны трыма амінакіслотнымі астаткамі, значыць, ён змяшчае дзве пептыдныя сувязі. Пры ўтварэнні кожнай з іх выдзялялася малекула вады:



Сумарная малекулярная маса прадуктаў рэакцыі складае:

$$M(\text{трыпептыда}) + M(2\text{H}_2\text{O}) = 405 + 2 \cdot 18 = 441.$$

2. Паводле закона захавання масы сумарная малекулярная маса зыходных рэчываў (трох аднолькавых малекул амінакіслот) таксама роўна 441. Значыць, малекулярная маса выкарыстанай амінакіслаты роўна:

$$M(\text{амінакіслаты}) = 441 : 3 = 147.$$

**Адказ:** малекулярная маса выкарыстанай амінакіслаты роўна 147.

**§ 7.** • Фрагмент малекулы ДНК (двайной спіралі) мае даўжыню 68 нм і змяшчае 120 адэнілавых нуклеатыдаў (А). Разлічыце працэнтнае ўтрыманне ўсіх тыпаў нуклеатыдаў, якія ўваходзяць у састаў дадзенага фрагмента ДНК.

**Рашэнне.** 1. Знайдзем агульную колькасць нуклеатыдаў у дадзеным фрагменце ДНК. Адзін віток дваёй спіралі ДНК змяшчае 10 пар нуклеатыдаў і мае даўжыню 3,4 нм. Такім чынам, адна пара нуклеатыдаў займае ўчастак ДНК даўжынёй 0,34 нм. Значыць, дадзены фрагмент змяшчае:  $68 : 0,34 = 200$  пар нуклеатыдаў = 400 нуклеатыдаў.

2. Працэнтнае ўтрыманне адэнілавых нуклеатыдаў у гэтым фрагменце роўна:  $A = 120 : 400 \cdot 100 \% = 30 \%$ . Паводле правіла Чаргафа ў малекуле ДНК  $A = T$ ,  $G = C$ . Значыць,  $A = T = 30 \%$ . На астатнія нуклеатыды ( $G$  і  $C$ ) прыпадае:  $100 \% - 30 \% - 30 \% = 40 \%$ .  $G = C = 40 \% : 2 = 20 \%$ .

**Адказ:**  $A = 30 \%$ ,  $T = 30 \%$ ,  $G = 20 \%$ ,  $C = 20 \%$ .

**§ 19.** • Карыятап ваўка прадстаўлены 78 храмасомамі. Чаму роўна колькасць храмасом ( $n$ ) і храматыд ( $c$ ):

а) у саматычнай клетцы ваўка на працягу постсінтэтычнага перыяду інтэрфазы;

б) у сперматазоідзе ваўка;

в) каля кожнага полюса клеткі кішэчніка ў канцы анафазы мітозу;

г) у даччыных клетках, якія ўтварыліся пасля меёзу I?

**Рашэнне.** 1. Клеткі цела ваўка змяшчаюць дыплоідны набор храмасом. Такім чынам, карыятап ваўка  $2n = 78$ .

2. Саматычныя клеткі ў  $G_2$ -перыядзе змяшчаюць набор  $2n4c$ , што для ваўка састаўляе 78 храмасом, 156 храматыд. Сперматазоіды ўтвараюцца ў выніку меёзу, значыць, іх набор  $1n1c$  — 39 храмасом і 39 храматыд (храматыды ўяўляюць сабой даччыныя храмасомы). Клетка кішэчніка — саматычная, у канцы анафазы мітозу каля кожнага полюса знаходзіцца  $2n2c$ , г. зн. 78 храмасом і 78 храматыд. Набор даччыных клетак пасля меёзу I састаўляе  $1n2c$  або 39 храмасом, 78 храматыд.

**Адказ:** а)  $n = 78$ ,  $c = 156$ ; б)  $n = 39$ ,  $c = 39$ ; в)  $n = 78$ ,  $c = 78$ ; г)  $n = 39$ ,  $c = 78$ .

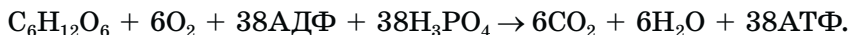
**§ 21.** • Колькі грамаў кіслароду неабходна для поўнага акіслення 360 г глюкозы? Якую колькасць АТФ (моль) атрымае арганізм пры такім акісленні?

**Рашэнне.** 1. Знайдзем колькасць глюкозы (моль), якая падверглася поўнаму акісленню.

$$M(C_6H_{12}O_6) = 12 \cdot 6 + 1 \cdot 12 + 16 \cdot 6 = 180 \text{ г/моль.}$$

$$n(C_6H_{12}O_6) = m : M = 360 \text{ г} : 180 \text{ г/моль} = 2 \text{ моль.}$$

2. Сумарнае ўраўненне аэробнага дыхання:



Для поўнага акіслення 1 моль глюкозы неабходна 6 моль кіслароду, пры гэтым арганізм атрымлівае 38 моль АТФ. Такім чынам, для поўнага акіслення 2 моль глюкозы спатрэбіцца 12 моль кіслароду, энергетычны выхад пры гэтым саставіць 76 моль АТФ.

3. Разлічым масу кіслароду.

$$M(O_2) = 16 \cdot 2 = 32 \text{ г/моль.}$$

$$m(O_2) = n \cdot M = 12 \text{ моль} \cdot 32 \text{ г/моль} = 384 \text{ г.}$$

**Адказ:** неабходна 384 г кіслароду, арганізм атрымае 76 моль АТФ.

**§ 22.** • Колькі вуглякіслага газу (кг) было паглынута раслінамі ў працэсе фотасінтэзу, калі вядома, што імі было сінтэзавана 900 г глюкозы?

**Рашэнне.** 1. Знойдзем колькасць (моль) сінтэзаванай глюкозы.

$$M(C_6H_{12}O_6) = 12 \cdot 6 + 1 \cdot 12 + 16 \cdot 6 = 180 \text{ г/моль.}$$

$$n(C_6H_{12}O_6) = m : M = 900 \text{ г} : 180 \text{ г/моль} = 5 \text{ моль.}$$

2. Агульнае ўраўненне фотасінтэзу:  $6CO_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$ .

Для сінтэзу 1 моль глюкозы неабходна 6 моль  $CO_2$ . Значыць, для ўтварэння 5 моль глюкозы трэба  $5 \cdot 6 = 30$  моль  $CO_2$ .

3. Вызначым масу паглынулага  $CO_2$ .

$$M(CO_2) = 12 + 16 \cdot 2 = 44 \text{ г/моль.}$$

$$m(CO_2) = n \cdot M = 30 \text{ моль} \cdot 44 \text{ г/моль} = 1320 \text{ г} = 1,32 \text{ кг.}$$

**Адказ:** расліны паглынулі 1,32 кг вуглякіслага газу.

**§ 24.** • Устанавіце паслядоўнасць антыкадонаў тРНК, што ўдзельнічаюць у сінтэзе пептыду, калі адпаведны ланцуг малекулы ДНК, які не транскрыбіруецца, змяшчае паслядоўнасць нуклеатыдаў ЦАТЦЦТАТГЦТЦТАГ. З дапамогай табліцы генетычнага кода вызначыце паслядоўнасць амінакіслотных астаткаў дадзенага пептыду.

**Рашэнне.** 1. Па прынцыпе камплементарнасці ўстанавім паслядоўнасць нуклеатыдаў ланцуга ДНК, які транскрыбіруецца, і адпаведнай мРНК (улічваючы, што ў малекуле РНК замест тыміну змяшчаецца урацыл). Затым з дапамогай табліцы генетычнага кода вызначым структуру закадзіраванага пептыду.

Ланцуг ДНК,

які не транскрыбіруецца:

ЦАТ    ЦЦТ    АТГ    ЦТЦ    ТАГ

Ланцуг ДНК,

які транскрыбіруецца:

ГТА    ГГА    ТАЦ    ГАГ    АТЦ

мРНК (іРНК):

ЦАУ    ЦЦУ    АУГ    ЦУЦ    УАГ

Пептыд:

Гіс — Пра — Мет — Лей    стоп





**§ 32.** • Усе нашчадкі, атрыманыя ад скрыжавання раслін ільвінага зеву з шырокімі і вузкімі лістамі, маюць сярэднія па шырыні лісты. У выніку скрыжавання раслін з сярэднімі лістамі атрымана 80 раслін ільвінага зеву. Колькі з іх мае вузкія лісты, калі расшчапленне адпавядае тэарэтычна чаканаму? Як наследуецца шырыня лістоў ільвінага зеву?

**Рашэнне.** 1. Гены, якія вызначаюць шырыню лістоў ільвінага зеву, узаемадзейнічаюць па тыпе няпоўнага дамінавання, паколькі ў гібрыдаў праяўляецца прамежкая прымета — сярэднія лісты. Значыць, расліны з сярэднімі лістамі — гетэразіготы.

2. З умовы задачы невідавочна, якая прымета з'яўляецца дамінантнай (шырокія лісты ці вузкія), а якая — рэцэсіўнай. Пры няпоўным дамінаванні гэта не важна, паняцці «дамінантны» і «рэцэсіўны» ў дадзеным выпадку выкарыстоўваюцца толькі для зручнасці (у адрозненне ад поўнага дамінавання). Дапусцім, дамінантны ген вызначае шырокія лісты, а рэцэсіўны — вузкія (можна абазначыць гены «наадварот», адказ задачы ад гэтага не зменіцца). Увядзём абазначэнні генаў, пакажам фенатып гетэразіготных раслін:

$A$  — шырокія лісты;

$a$  — вузкія лісты;

$Aa$  — сярэднія лісты.

3. Запішам ход скрыжавання раслін з сярэднімі лістамі:

Генная форма запісу			
$P:$	♀ $Aa$	×	♂ $Aa$
$G:$	( $A$ ), ( $a$ )		( $A$ ), ( $a$ )
$F_1:$	$AA$	$Aa$	$Aa$
	шырокія 25 %	сярэдняя 50 %	вузкія 25 %

Храмасомная форма запісу			
$P:$	♀ $\frac{A}{a}$	×	♂ $\frac{A}{a}$
$G:$	( $\underline{A}$ ), ( $\underline{a}$ )		( $\underline{A}$ ), ( $\underline{a}$ )
$F_1:$	$\frac{\underline{A}}{\underline{A}}$	$\frac{\underline{A}}{\underline{a}}$	$\frac{\underline{A}}{\underline{a}}$
	шырокія 25 %	сярэдняя 50 %	вузкія 25 %

4. У патомстве назіраецца расшчапленне 1 : 2 : 1. Агульная колькасць нашчадкаў — 80, пры гэтым вузкія лісты наследуе 25 %. Значыць, колькасць раслін з вузкімі лістамі:  $80 \cdot 25 \% : 100 \% = 20$ .

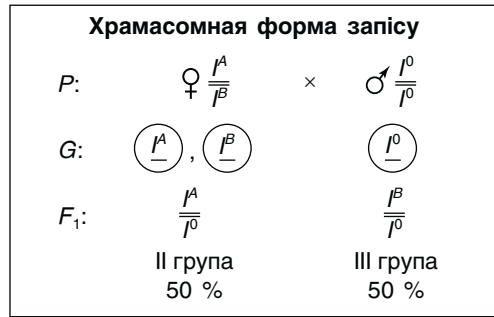
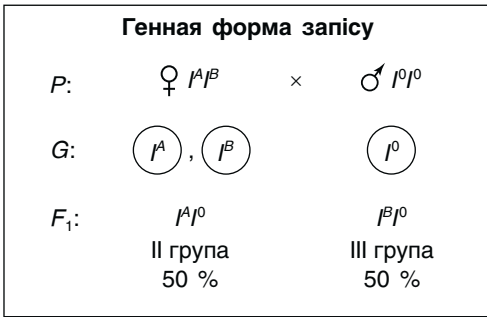
**Адказ:** шырыня лістоў ільвінага зеву наследуецца па тыпе няпоўнага дамінавання. Вузкія лісты мае 20 раслін.

• Мужчына з кроўю I групы ажаніўся з жанчынай, якая мае кроў IV групы. Якая верагоднасць нараджэння ў гэтай сям'і дзіцяці з кроўю: а) I групы; б) II; в) III; г) IV?

**Рашэнне.** 1. Групы крыві па сістэме АВО кантралююцца трыма генамі, два з якіх узаемадзейнічаюць па тыпе кадамінавання, што прыводзіць да з'яўлення крыві IV групы. Увядзём абазначэнні, пакажам адпаведныя прыметы (не забываючы пра IV групу крыві):

- $I^0$  — I група крыві;
- $I^A$  — II група крыві;
- $I^B$  — III група крыві;
- $I^A I^B$  — IV група крыві.

2. Генатып чалавека з IV групай крыві — толькі  $I^A I^B$ , з I — толькі  $I^0 I^0$ , іншыя варыянты выключаны. Запішам ход скрыжавання:



3. Расшчапленне ў патомстве 1 : 1. Верагоднасць нараджэння дзіцяці з кроўю II групы — 50 %, III — 50 %. З'яўленне дзяцей з кроўю I ці IV груп у гэтай сям'і немагчымае.

**Адказ:** а) 0 %; б) 50 %; в) 50 %; г) 0 %.

**§ 33.** • У чалавека рэзус-дадатнасць поўнаасцю дамінуе над рэзус-адмоўнасцю. У сям'і, дзе абодва бацькі рэзус-дадатныя, у маці кроў I групы, а ў бацькі — III, нарадзілася рэзус-адмоўнае дзіця з кроўю I групы. Якая верагоднасць нараджэння ў гэтых бацькоў рэзус-дадатнага дзіцяці з кроўю III групы?

**Рашэнне.** 1. Увядзём абазначэнні генаў:

- $I^0$  — I група крыві;
- $I^A$  — II група крыві;
- $I^B$  — III група крыві;
- $I^A I^B$  — IV група крыві;
- $D$  — рэзус-дадатнасць ( $Rh^+$ );
- $d$  — рэзус-адмоўнасць ( $Rh^-$ ).

2. Вызначым генатыпы бацькоў. Па ўмове задачы ў рэзус-дадатнай маці кроў I групы, што дазваляе запісаць частку яе генатыпу (фенатыпічны радыкал) наступным чынам:  $I^0I^0D$  — (або  $\frac{I^0 D}{I^0}$ ). У рэзус-дадатнага бацькі кроў III групы — запішам частку яго генатыпу ў выглядзе:  $I^B D$  — (або  $\frac{I^B D}{I^0}$ ). Ва ўмове сказана, што ў гэтых бацькоў ёсць рэзус-адмоўнае дзіця з кроўю I групы — яго генатып  $I^0I^0dd$  (або  $\frac{I^0 d}{I^0 d}$ ). У дзіцяці ў кожнай алельнай пары адзін з генаў атрыманы ад маці, другі — ад бацькі. Значыць, у абодвух бацькоў у генатыпе ёсць як ген  $I^0$ , так і ген  $d$ . Дапоўнім генатыпы бацькоў адпаведнымі генамі і запішам скрываўванне:

Генная форма запісу	
P: ♀ $I^0I^0Dd$	× ♂ $I^BI^0Dd$
G: $(I^0D), (I^0d)$	$(I^BD), (I^Bd), (I^0D), (I^0d)$

Храмасомная форма запісу	
P: ♀ $\frac{I^0 D}{I^0 d}$	× ♂ $\frac{I^B D}{I^0 d}$
G: $(I^0D), (I^0d)$	$(I^BD), (I^Bd), (I^0D), (I^0d)$

3. Пабудуем рашотку Пенэта, у ячэйках якой пакажам генатыпы і фенатыпы дзяцей ( $F_1$ ):

	$(I^BD)$	$(I^Bd)$	$(I^0D)$	$(I^0d)$
$(I^0D)$	$I^BI^0DD$ III Rh <sup>+</sup>	$I^BI^0Dd$ III Rh <sup>+</sup>	$I^0I^0DD$ I Rh <sup>+</sup>	$I^0I^0Dd$ I Rh <sup>+</sup>
$(I^0d)$	$I^BI^0Dd$ III Rh <sup>+</sup>	$I^BI^0dd$ III Rh <sup>-</sup>	$I^0I^0Dd$ I Rh <sup>+</sup>	$I^0I^0dd$ I Rh <sup>-</sup>

	$(\frac{I^B D}{I^0 d})$	$(\frac{I^B d}{I^0 d})$	$(\frac{I^0 D}{I^0 d})$	$(\frac{I^0 d}{I^0 d})$
$(\frac{I^0 D}{I^0 d})$	$\frac{I^B D}{I^0 d}$ III Rh <sup>+</sup>	$\frac{I^B d}{I^0 d}$ III Rh <sup>+</sup>	$\frac{I^0 D}{I^0 d}$ I Rh <sup>+</sup>	$\frac{I^0 d}{I^0 d}$ I Rh <sup>+</sup>
$(\frac{I^0 d}{I^0 d})$	$\frac{I^B D}{I^0 d}$ III Rh <sup>+</sup>	$\frac{I^B d}{I^0 d}$ III Rh <sup>-</sup>	$\frac{I^0 D}{I^0 d}$ I Rh <sup>+</sup>	$\frac{I^0 d}{I^0 d}$ I Rh <sup>-</sup>

4. Разлічым верагоднасць нараджэння рэзус-дадатнага дзіцяці з кроўю III групы:  $\frac{3}{8} \cdot 100 \% = 37,5 \%$ .

**Адказ:** верагоднасць нараджэння рэзус-дадатнага дзіцяці з кроўю III групы роўна 37,5 %.

§ 35. • Дальтанізм абумоўлены рэцэсіўным генам, лакалізаваным у X-храмасоме. У адной сям’і маці хварэе на дальтанізм, а бацька нармальна адрознівае колеры. Якая верагоднасць нараджэння ў гэтай сям’і:

- а) дзіцяці, якое нармальна адрознівае колеры;
- б) дальтоніка сярод сыноў?

**Рашэнне.** 1. Увядзём абазначэнні генаў:

$A$  — нармальнае колераадчуванне (норма);

$a$  — дальтанізм.

2. Генатып маці хвораі на дальтанізм —  $X^aX^a$  (у храмасомнай форме запісу  $\frac{a}{a}$ ). Генатып здоровага бацькі —  $X^AY$  ( $\frac{A}{Y}$ ). Запішам ход скрыжавання:

Генная форма запісу	
$P:$	♀ $X^aX^a$ × ♂ $X^AY$
$G:$	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 5px; text-align: center;"><math>X^a</math></div> <div style="display: flex; gap: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 5px; text-align: center;"><math>X^A</math></div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 5px; text-align: center;"><math>Y</math></div> </div> </div>
$F_1:$	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <math>X^AX^a</math> здоровая дачка (носьбітка) 50 %                 </div> <div style="text-align: center;"> <math>X^aY</math> сын дальтонік 50 %                 </div> </div>

Храмосомная форма запісу	
$P:$	♀ $\frac{a}{a}$ × ♂ $\frac{A}{Y}$
$G:$	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 5px; text-align: center;"><math>a</math></div> <div style="display: flex; gap: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 5px; text-align: center;"><math>A</math></div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 5px; text-align: center;"><math>Y</math></div> </div> </div>
$F_1:$	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <math>\frac{A}{a}</math> здоровая дачка (носьбітка) 50 %                 </div> <div style="text-align: center;"> <math>\frac{a}{Y}</math> сын дальтонік 50 %                 </div> </div>

3. Верагоднасць нараджэння дзіцяці з нармальным колераадчуваннем — 50 %, прычым гэта толькі дзяўчынкі, і ўсе яны будуць носьбіткамі гена дальтанізму. Усе сыны ў гэтай сям’і — дальтонікі, таму верагоднасць нараджэння дальтоніка сярод сыноў — 100 %.

**Адказ:** а) верагоднасць нараджэння дзіцяці, якое нармальна адрознівае колеры, — 50 %; б) верагоднасць нараджэння дальтоніка сярод сыноў — 100 %.

## Слоўнік асноўных тэрмінаў і паняццяў

### А

**Адаленая гібрыдызацыя** — метад селекцыі, скрыжаванне арганізмаў, якія належаць да розных відаў.

**Алагенез** — шлях дасягнення біялагічнага прагрэсу, пры якім арганізмы набываюць аламарфозы — асобныя адаптацыі, якія не змяняюць агульны ўзровень арганізацыі, але дазваляюць асвойваць у сваім асяроддзі пражывання розныя экалагічныя нішы.

**Алельныя гены (алелі)** — гены, якія вызначаюць розныя (альтэрнатыўныя) формы праяўлення адной і той жа прыметы. Размяшчаюцца ў аднолькавых участках (локусах) гамалагічных храмасом.

**Алкалоіды** — біялагічна актыўныя арганічныя злучэнні пераважна расліннага паходжання. Асноўная функцыя — ахова раслін ад паядання жывёламі. Некаторыя алкалоіды ўжываюцца ў медыцыне.

**Альтэрнатыўныя прыметы** — прыметы, якія ўзаемна выключаюць адна адну і ў норме не могуць прысутнічаць у арганізме адначасова.

**Аналагічныя органы** — органы, якія маюць знешняе падабенства і выконваюць аднолькавыя функцыі, але адрозніваюцца па паходжанні.

**Аналізуючае скрыжаванне** — скрыжаванне асобіны, якая мае дамінантны фенатып (аналізуемая асобіна), з гомазіготнай рэцэсіўнай асобінай. Па фенатыпах атрыманага патомства можна вызначыць генатып аналізуемай асобіны.

**Антрапагенез** — працэс узнікнення і эвалюцыйнага развіцця чалавека.

**Антыбіётыкі** — біялагічна актыўныя рэчывы прыроднага ці сінтэтычнага паходжання, якія выклікаюць гибель жывых клетак ці прыгнятаюць іх рост і развіццё.

**Антыгены** — чужародныя для арганізма рэчывы і аб'екты, здольныя выклікаць імунны адказ.

**Антыкадон** — частак малекулы тРНК, які складаецца з трох нуклеатаў даў і ў працэсе сінтэзу бялку камплементарна звязваецца з адпаведным кадонам мРНК.

**Антыцелы (імунаглабуліны)** — ахоўныя бялкі, здольныя спецыфічна звязвацца з пэўнымі антыгенамі і нейтралізаваць іх шляхам утварэння комплексаў «антыген-антыцела».

**Арагенез** — шлях дасягнення біялагічнага прагрэсу, звязаны з фарміраваннем арамарфозаў — буйных, прынцыпова новых адаптацый, якія істотна павышаюць узровень арганізацыі жывых арганізмаў і дазваляюць ім выкарыстоўваць розныя ўмовы навакольнага асяроддзя ці асвойваць новае асяроддзе пражывання.

**Арганоіды (арганэлы)** — пастаянныя спецыялізаваныя структуры цытаплазмы, якія ажыццяўляюць пэўныя функцыі. Адрозніваюць немембранныя, аднамембранныя і двухмембранныя арганоіды.

**Атавізмы** — прыметы аддаленых эвалюцыйных продкаў, якія былі згублены відам у ходзе эвалюцыі і праяўляюцца ў некаторых асобін як адхіленне ад нормы.

**Аўтасомы** — непалавыя храмасомы; усе храмасомы, за выключэннем палавых.

**Аўтбрыдынг** — метады селекцыі, скрыжаванне асобін аднаго віду, якія належаць да розных парод ці сартоў.

## Б

**Бактэрыяфагі** — вірусы, якія паразітуюць у клетках бактэрый.

**Барацьба за існаванне** — сукупнасць разнастайных узаемадзеянняў арганізмаў паміж сабой і з фактарамі нежывой прыроды, якія вызначаюць поспех ці няўдачу асобін у выжыванні і размнажэнні.

**Біялагічная эвалюцыя** — заканамерны, неабарачальны працэс гістарычнага развіцця жывой прыроды, накіраваны на павышэнне прыстасаванасці арганізмаў да зменлівых умоў навакольнага асяроддзя.

**Біятэхналогія** — галіна навукі і практычнай дзейнасці, звязаная з атрыманнем розных прадуктаў пры дапамозе жывых арганізмаў, культывуемых клетак і атрыманых з іх ферментаў.

**Брадэжэнне** — ферментатыўнае бескіслароднае расшчапленне арганічных рэчываў, пераважна вугляводаў. Характэрна для клетак анаэробаў, можа працякаць і ў клетках аэробаў пры недахопе кіслароду.

## В

**Віроіды** — інфекцыйныя агенты, якія ўяўляюць сабой кальцавую малекулу РНК без капсіда.

**Вірыён** — цалкам сфармаваная вірусная часцінка, здольная да заражэння клеткі гаспадара.

## Г

**Гамалагічныя органы** — органы, якія маюць адзіны план будовы і агульнае паходжанне.

**Гамалагічныя храмасомы** — парныя храмасомы. Маюць аднолькавую будову і змяшчаюць аднолькавы набор генаў (могуць адрознівацца толькі ацельнымі формамі генаў). У ходзе меёзу могуць абменьвацца ўчасткамі (з'ява кросінговера).

**Гамеастазіс (гамеастаз)** — здольнасць жывых арганізмаў захоўваць адноснае пастаянства саставу і ўласцівасцей унутранага асяроддзя.

**Ген** — участак малекулы ДНК (у РНК-змяшчальных вірусаў — РНК), які змяшчае інфармацыю пра першасную структуру пэўнага бялку, рРНК ці тРНК.

**Генатып** — сукупнасць генаў якога-небудзь арганізма.

**Генафонд** — сукупнасць генатыпаў якой-небудзь групы асобін (напрыклад, папуляцыі ці віду).

**Генетыка** — навука, якая вывучае заканамернасці спадчыннасці і зменлівасці жывых арганізмаў.

**Генетычная інжынерыя** — сукупнасць метадаў і тэхналогій, звязаных з выдзяленнем генаў з клетак жывых арганізмаў, ажыццяўленнем розных маніпуляцый з імі і ўвядзеннем іх у другія арганізмы.

**Генетычны код** — універсальная для жывых арганізмаў сістэма запісу інфармацыі пра першасную структуру бялкоў у выглядзе паслядоўнасці нуклеатыдаў ДНК (мРНК).

**Геном** — сукупнасць спадчыннага (генетычнага) матэрыялу, заключанага ў клетцы арганізма ці ў віруснай часцінцы.

**Гетэразіготная асобіна (гетэразігота)** — арганізм, у клетках якога змяшчаюцца розныя ацельныя гены, напрыклад *Aa*, *Bb*,  $I^A I^B$ .

**Гібрыдызацыя** — скрыжаванне асобін аднаго віду (унутрывідавая гібрыдызацыя) ці розных відаў (адаленая гібрыдызацыя).

**Гіялаплазма** — вадкая частка цытаплазмы, у якой змешчаны ўсе ўнутры-клетачныя структуры.

**Глікакалікс** — надмембранны комплекс клетак жывёл, утвораны малекуламі вугляводаў, якія звязаны з бялкамі і ліпідамі цытаплазматычнай мембраны. Выконвае рэцэптарную функцыю, забяспечвае пазнаванне клеткамі адна адной.

**Гліколіз** — шматступеньчаты працэс ферментатыўнага бескіслароднага расщчэплення глюкозы да піравінаграднай кіслаты, які праходзіць у гіялаплазме клетак.

**Гомазіготная асобіна (гомазігота)** — арганізм, у клетках якога змяшчаюцца аднолькавыя алельныя гены, напрыклад *AA*, *aa*, *I<sup>B</sup>I<sup>B</sup>*.

## Д

**Дрэйф генаў** — выпадковае ненакіраванае змяненне частаты алеляў у генафондзе папуляцыі.

**Дывергенцыя** — эвалюцыйнае разыходжанне прымет у роднасных арганізмаў, якія жывуць у розных умовах асяроддзя.

**Дэнатурацыя** — страта прыроднай структуры малекуламі біяпалімераў (бялкоў, нуклеінавых кіслот) пад дзеяннем фізічных ці хімічных фактараў без разбурэння першаснай структуры.

## З

**Зменлівасць** — здольнасць арганізмаў набываць новыя прыметы і ўласцівасці, якія адрозніваюць іх ад бацькоўскіх форм. Вылучаюць няспадчынную (мадыфікацыйную) і спадчынную (генатыпічную) зменлівасць. Да спадчыннай належыць камбінатыўная і мутацыйная зменлівасць.

## І

**Ізаляцыя** — выключэнне ці абмежаванне свабоднага скрыжавання асобін. Элементарны эвалюцыйны фактар, які перашкаджае абмену генамі паміж папуляцыямі ці іх часткамі, ствараючы тым самым умовы для відаўтварэння.

**Імунаглабуліны** — гл. Антыцелы.

**Інбрыдынг** — метад селекцыі, які ўяўляе сабой блізкароднаснае скрыжаванне. Ужываецца для таго, каб перавесці большасць генаў пароды



ці сорту ў гомазіготны стан і пазбегнуць расшчаплення па гаспадарча каштоўных прыметах у шэрагу пакаленняў.

**Інтэрфаза** — частка клетачнага цыкла паміж двума паслядоўнымі дзяленнямі. Як правіла, уключае тры перыяды: прэсінтэтычны ( $G_1$ ), сінтэтычны (S) і постсінтэтычны ( $G_2$ ).

**Інтэрфероны** — ахоўныя бялкі, якія валодаюць супрацьвіруснымі і супрацьпухліннымі ўласцівасцямі.

## К

**Кадон** — участак ДНК ці мРНК, які складаецца з трох нуклеатаў і кадзіруе пэўную амінакіслату (або служыць сігналам заканчэння сінтэзу бялку — стоп-кадон).

**Камплементарнасць** — узаемная адпаведнасць у будове малекул, якія ўзаемадзейнічаюць, ці іх структурных кампанентаў. Так, у малекуле ДНК назіраецца строгая адпаведнасць парных нуклеатаў адзін аднаму. Камплементарныя пары ўтвараюць азоцістыя асновы: адэнін і тымін, гуанін і цытазін.

**Канвергенцыя** — незалежнае фарміраванне ў ходзе эвалюцыі падобных прымет у няроднасных арганізмаў, якія жывуць у аднолькавых ці вельмі блізкіх умовах асяроддзя.

**Капсід** — бялковая абалонка віруснай часцінкі.

**Карыятып** — набор храмасом, характэрны для саматычных клетак пэўнага віду жывых арганізмаў.

**Катагенез** — асаблівы шлях эвалюцыі, пры якім біялагічны прагрэс арганізмаў дасягаецца за кошт спрашчэння іх арганізацыі — морфафізіялагічнага рэгрэсу.

**Клетачнае дыханне** — шматстадыйны працэс, пры якім у клетках адбываецца расшчапленне і акісленне арганічных злучэнняў, а энергія іх хімічных сувязей, якая вызваляецца, назапашваецца ў выглядзе АТФ. У большасці арганізмаў клетачнае дыханне працякае з выкарыстаннем кіслароду (аэробнае дыханне), у некаторых — без удзелу кіслароду (анаэробнае дыханне).

**Клетачная інжынерыя** — сукупнасць метадаў біятэхналогіі, якія дазваляюць ствараць і культываваць клеткі, што валодаюць новымі ўласцівасцямі.

**Клетачны цыкл** — перыяд існавання клеткі ад моманту яе ўтварэння з мацярынскай клеткі да ўласнага дзялення (уключаючы гэта дзяленне) ці гібелі.

**Кросінговер** — абмен участкамі паміж гамалагічнымі храмасомамі ў працэсе меёзу.

**Крэацыянізм** — рэлігійная і філасофская канцэпцыя, паводле якой прырода (у тым ліку і ўсе жывыя арганізмы) была створана Творцам (Богам).

## Л

**Лізацым** — ахоўны бялок, які разбурае клетачныя сценкі бактэрыяў. Змяшчаецца ў сліне, сакрэтах слізістых абалонак дыхальнай, стрававальнай, выдзяляльнай, палавых сістэм, малацэ млекакормячых і інш.

**Локус** — частак храмосомы, у якім лакалізаваны той ці іншы ген.

## М

**Метабалізм** — абмен рэчываў; сукупнасць працэсаў хімічнага ператварэння рэчываў у жывых арганізмах ад моманту іх паступлення ў арганізм да выдзялення канчатковых прадуктаў. Уключае рэакцыі сінтэзы (анабалізм) і расшчаплення рэчываў (катабалізм).

**Множны алелізм** — існаванне гена больш чым у дзвюх алельных формах. Напрыклад, для гена, які вызначае групы крыві чалавека, вядомыя тры алельныя формы:  $I^A$ ,  $I^B$  і  $I^0$ .

**Мутацыі** — змяненні генетычнага матэрыялу арганізмаў, якія наследуюцца.

## Н

**Наследаванне** — працэс перадачы спадчыннай (генетычнай) інфармацыі ад аднаго пакалення арганізмаў да другога пакалення.

**Натуральны адбор** (паводле сінтэтычнай тэорыі эвалюцыі) — накіраваны працэс выбіральнага захавання і ўзнаўлення адаптыўных генатыпаў і фенатыпаў у папуляцыях.

**Неалельныя гены** — гены, размешчаныя ў негамалагічных храмасомах (у гэтым выпадку яны наследуюцца незалежна) ці ў розных локусах гамалагічных храмасом (у гэтым выпадку яны наследуюцца счэплены).

**Норма рэакцыі** — дыяпазон мадыфікацыйнай зменлівасці прыметы. Норма рэакцыі вызначаецца генатыпам і перадаецца па спадчыне.

## О

**Осмас** — дыфузія малекул растваральніку (напрыклад, вады) праз выбіральна пранікальную мембрану (напрыклад, плазмалему), якая падзяляе растворы з рознай канцэнтрацыяй раствараных рэчываў. Пры гэтым малекулы растваральніку перамяшчаюцца з менш канцэнтраванага раствору ў больш канцэнтраваны.

## П

**Парода** — сукупнасць свойскай жывёлы аднаго віду, якая штучна створана чалавекам і характарызуецца пэўнымі марфалагічнымі, фізіялагічнымі і гаспадарчымі асаблівасцямі.

**Паток генаў** — перанос генаў з адной папуляцыі ў другую, які адбываецца ў выніку міграцыі асобін, перамяшчэння насення, пылка і г. д.

**Плазміды** — пазахрамасомныя фактары спадчыннасці; невялікія малекулы ДНК, здольныя існаваць у клетцы ў аўтаномным (не звязаным з храмасомамі) стане, самастойна падвойвацца і пры дзяленні перадавацца даччыным клеткам.

**Пракарыёты** — арганізмы, у клетках якіх няма аформленага ядра і мембранных арганоідаў. Пракарыётамі з'яўляюцца бактэрыі.

## Р

**Рудыменты** — органы, якія ў працэсе эвалюцыі страцілі сваё асноўнае значэнне і захаваліся ў сучасных відаў у зачатковым стане, хоць былі добра развіты ў продкаў.

**Рэакцыя матрычнага сінтэзу** — працэс сінтэзу з манамераў малекулы біяпалімера, будова якога цалкам вызначаецца структурай малекулы-матрыцы (прадукт рэакцыі матрычнага сінтэзу ўяўляе сабой «адбітак» ці «злепак» матрыцы). Асноўныя рэакцыі матрычнага сінтэзу: рэплікацыя, транскрыпцыя і трансляцыя.

**Рэплікацыя ДНК** — падваенне малекулы ДНК, адна з рэакцый матрычнага сінтэзу. Біясінтэз двух даччыных ланцугоў ДНК ажыццяўляецца з выкарыстаннем зыходных (мацярынскіх) ланцугоў у якасці матрыц.

## С

**Саматычная гібрыдызацыя** — зліццё розных тыпаў саматычных клетак аднаго арганізма ці арганізмаў, якія належаць да розных відаў.

- Селекцыя** — навука пра стварэнне новых і ўдасканаленне ўжо існуючых сартоў раслін, парод жывёл і штамаў мікраарганізмаў.
- Сістэматыка** — навука, якая вывучае разнастайнасць, паходжанне, філагенетычныя сувязі арганізмаў і займаецца іх класіфікацыяй.
- Сорт** — створаная ў выніку селекцыі сукупнасць культурных раслін аднаго віду, якія ўстойліва валодаюць у канкрэтных умовах вырошчвання пэўнымі марфалагічнымі, фізіялагічнымі і гаспадарчымі прыметамі.
- Спадчыннасць** — уласцівасць жывых арганізмаў захоўваць і перадаваць нашчадкам свае прыметы і ўласцівасці.
- Суперкапсід** — абалонка з ліпідаў і бялкоў, якая пакрывае капсід некаторых вірусаў.

## Т

- Транскрыпцыя** — біясінтэз РНК на адпаведных участках аднаго з ланцугоў ДНК — адна з рэакцый матрычнага сінтэзу (матрыцай служыць ланцуг ДНК, які транскрыбіруецца).
- Трансляцыя** — біясінтэз бялку з амінакіслот, які адбываецца ў рыбасомах, — адна з рэакцый матрычнага сінтэзу (матрыцай служыць мРНК).
- Тургарны ціск** — ціск унутранага змесціва клеткі на яе абалонку.

## Ф

- Фенатып** — сукупнасць прымет і ўласцівасцей арганізма.
- Фенатыпічны радыкал** — частка генатыпу асобіны, якая вызначае яе фенатып. Напрыклад, для асобіны, у якой праявіліся дзве дамінантныя прыметы:  $A-B-$ .
- Ферменты** — бялкі, якія паскараюць працяканне хімічных рэакцый у жывых арганізмах, г. зн. выконваюць функцыю біялагічных каталізатараў.
- Ферамоны** — біялагічна актыўныя рэчывы, якія выпрацоўваюцца спецыялізаванымі залозамі (ці клеткамі) жывёл, выдзяляюцца ў навакольнае асяроддзе і аказваюць уздзеянне на паводзіны, фізіялагічны стан ці развіццё асобін таго ж віду.
- Філагенез** — працэс гістарычнага развіцця як арганічнага свету ў цэлым, так і асобных груп арганізмаў.

**Фотасінтэз** — працэс утварэння арганічных рэчываў з вуглякіслага газу і вады, які працякае з паглыннаннем светлавой энергіі пры ўдзеле фотасінтэтычных пігментаў у клетках зялёных раслін, водарасцей і некаторых бактэрый.

## Х

**Храмацін** — асноўны кампанент клетачнага ядра, які складаецца пераважна з малекул ДНК і бялкоў. У пачатку дзялення клеткі храмацін спіралізуецца (кампаکتывуецца) і ўтварае храмасомы.

## Ц

**Цыталогія** — навука, якая вывучае будову, функцыянаванне, размнажэнне, старэнне і гібель клетак.

**Цытаплазма** — унутранае змесціва клеткі, за выключэннем ядра, абмежаванае плазмалемай. У састаў цытаплазмы ўваходзяць гіялаплазма, цыташкілет і арганоіды.

**Цыташкілет** — унутрыклетачны шкілет; трохмерная сетка, утвораная бялкамі, якая пранізвае гіялаплазму клеткі. Выконвае апорную функцыю, забяспечвае ўнутрыклетачныя перамяшчэнні і інш.

## Ш

**Штам** — штучна створаная чалавекам сукупнасць мікраарганізмаў аднаго віду, якія маюць пэўныя спадчынна замацаваныя прыметы і ўласцівасці, а таксама аднатыпную рэакцыю на дзеянне фактараў навакольнага асяроддзя.

**Штучны адбор** — выбар чалавекам найбольш каштоўных у гаспадарчых ці дэкаратыўных адносінах асобін для атрымання ад іх патомства з жаданымі прыметамі і ўласцівасцямі.

## Э

**Экзацытоз** — вывадзенне рэчываў, якія знаходзяцца ў мембраннай упакоўцы, з клеткі ў пазаклетачнае асяроддзе.

**Эндацытоз** — паглыннанне клеткай цвёрдых часцінак (фагацытоз) ці раствораў (пінацытоз) шляхам фарміравання мембранных пузыркоў, утвораных плазмалемай.

**Эўкарыёты** — арганізмы, у клетках якіх ёсць аформленае ядро, а таксама мембранныя і немембранныя арганоіды. Да эўкарыёт належаць пратэісты, грыбы, расліны і жывёлы.

## Змест

Ад аўтараў .....	3
Уводзіны .....	5

### Раздзел 1

#### Хімічныя кампаненты жывых арганізмаў

§ 1. Утрыманне хімічных элементаў у арганізме. Макра- і мікраэлементы .....	7
§ 2. Хімічныя злучэнні ў жывых арганізмах. Неарганічныя рэчывы .....	11
§ 3. Арганічныя рэчывы. Амінакіслоты. Бялкі .....	17
§ 4. Уласцівасці і функцыі бялкоў .....	24
§ 5. Вугляводы .....	31
§ 6. Ліпіды .....	35
§ 7. Нуклеінавыя кіслоты. Будова і функцыі ДНК .....	40
§ 8. Будова і функцыі РНК. АТФ .....	45
§ 9. Біялагічна актыўныя рэчывы .....	49

### Раздзел 2

#### Клетка — структурная і функцыянальная адзінка жывых арганізмаў

§ 10. Клетачная тэорыя. Агульны план будовы клеткі .....	54
§ 11. Паверхневы апарат клеткі .....	60
§ 12. Гіялаплазма. Цыташкілет. Немембранныя арганоіды .....	67
§ 13. Мембранныя арганоіды .....	71
§ 14. Ядро клеткі .....	77
§ 15. Асаблівасці будовы клетак пракарыёт і эўкарыёт .....	81
§ 16. Клетачны цыкл. Рэплікацыя ДНК .....	86
§ 17. Мітоз. Амітоз .....	91
§ 18. Меёз .....	95
§ 19. Будова і ўтварэнне палавых клетак .....	101

### Раздзел 3

#### Абмен рэчываў і пераўтварэнне энергіі ў арганізме

§ 20. Агульная характарыстыка абмену рэчываў і пераўтварэння энергіі .....	108
§ 21. Клетачнае дыханне. Браджэнне .....	111
§ 22. Фотасінтэз .....	115
§ 23. Генетычны код і яго ўласцівасці .....	121
§ 24. Рэалізацыя спадчыннай інфармацыі .....	124

### Раздзел 4

#### Няклетачныя формы жыцця — вірусы

§ 25. Будова, разнастайнасць і размнажэнне вірусаў .....	131
§ 26. Вірусныя захворванні і іх прафілактыка .....	136

### Раздзел 5

#### Роля рэгуляцыі і імуннай сістэмы ў падтрыманні пастаянства ўнутранага асяроддзя арганізма

§ 27. Рэгуляцыя жыццёвых функцый арганізма .....	142
§ 28. Агульная (неспецыфічная) ахова ўнутранага асяроддзя арганізма .....	147
§ 29. Спецыфічная імунная ахова ўнутранага асяроддзя арганізма ...	150

### Раздзел 6

#### Спадчыннасць і зменлівасць арганізмаў

§ 30. Монагібрыднае скрыжаванне. Першы і другі законы Мендэля ...	156
§ 31. Цыталагічныя асновы наследавання прымет пры монагібрыдным скрыжаванні .....	160
§ 32. Узаемадзеянне алельных генаў. Аналізуючае скрыжаванне .....	165
§ 33. Дыгібрыднае скрыжаванне. Трэці закон Мендэля .....	170
§ 34. Храмасомная тэорыя спадчыннасці .....	175
§ 35. Генетыка полу .....	181
§ 36. Мадыфікацыйная зменлівасць .....	187
§ 37. Генатыпічная зменлівасць .....	193
§ 38. Вывучэнне спадчыннасці і зменлівасці чалавека .....	198
§ 39. Спадчынныя хваробы чалавека .....	204

## Раздзел 7

### Селекцыя і біятэхналогія

§ 40. Селекцыя і яе роля ў жыцці чалавецтва . . . . .	210
§ 41. Біятэхналогія і яе роля ў развіцці чалавецтва ў XXI ст. Трансгенныя расліны . . . . .	214
§ 42. Біятэхналогія і яе роля ў развіцці чалавецтва ў XXI ст. Трансгенныя мікраарганізмы і жывёлы. Клетачная інжынерыя . . . . .	218

## Раздзел 8

### Эвалюцыя арганічнага свету

§ 43. Асноўныя гіпотэзы паходжання жыцця . . . . .	224
§ 44. Гісторыя развіцця эвалюцыйных поглядаў . . . . .	229
§ 45. Асноўныя палажэнні сінтэтычнай тэорыі эвалюцыі. Папуляцыя — элементарная адзінка эвалюцыі. Перадумовы эвалюцыі . . . . .	234
§ 46. Рухаючыя сілы эвалюцыі . . . . .	240
§ 47. Вынікі эвалюцыі . . . . .	244
§ 48. Асноўныя доказы эвалюцыі . . . . .	249
§ 49. Прагрэс і рэгрэс у эвалюцыі. Шляхі дасягнення біялагічнага прагрэсу. Спосабы ажыццяўлення эвалюцыйнага працэсу . . . . .	256
§ 50. Прынцыпы сістэматыкі. Сучасная біялагічная сістэма . . . . .	262
§ 51. Фарміраванне ўяўленняў пра эвалюцыю чалавека. Месца чалавека ў заалагічнай сістэме . . . . .	266
§ 52. Этапы і напрамкі эвалюцыі чалавека . . . . .	271
§ 53. Фактары эвалюцыі чалавека. Чалавечыя расы. Эвалюцыя чалавека на сучасным этапе . . . . .	277
Прыклады рашэння задач . . . . .	284
Слоўнік асноўных тэрмінаў і паняццяў . . . . .	292



(Назва ўстановы адукацыі)

Вучэбны год	Імя і прозвішча навучэнца	Стан вучэбнага дапаможніка пры атрыманні	Адзнака навучэнцу за карыстанне вучэбным дапаможнікам
20 /			
20 /			
20 /			
20 /			
20 /			

Вучэбнае выданне

Дашкоў Максім Леанідавіч  
Песнякевіч Аляксандр Георгіевіч  
Галавач Аляксей Міхайлавіч

## БІЯЛОГІЯ

Вучэбны дапаможнік для 11 класа  
ўстаноў агульнай сярэдняй адукацыі  
з беларускай мовай навучання  
(з электронным дадаткам для павышанага ўзроўню)

Заг. рэдакцыі *Г. А. Бабаева*. Рэдактары *А. У. Ліцвіновіч, Т. С. Юдчыц, К. І. Чэрнікава*.  
Мастацкія рэдактары *А. П. Пратасеня, В. М. Карповіч*. Тэхнічнае рэдагаванне і камп'ю-  
тарная вёрстка *І. І. Дуброўскай, Г. А. Дудко*. Карэктары *В. С. Казіцкая, А. П. Тхір,*  
*Г. В. Алешка*.

Падпісана да друку 18.06.2021. Фармат 70 × 90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Папера афсетная. Друк афсетны.  
Ум. друк. арк. 22,23. Ул.-выд. арк. 17,0 + 32,8 эл. дадат. Тыраж 10 500 экз. Заказ .

Выдавецкае рэспубліканскае ўнітарнае прадпрыемства  
«Народная асвета» Міністэрства інфармацыі Рэспублікі Беларусь.

Пасведчанне аб дзяржаўнай рэгістрацыі выдаўца, вытворцы,  
распаўсюджвальніка друкаваных выданняў № 1/2 ад 08.07.2013.

Пр. Пераможцаў, 11, 220004, Мінск, Рэспубліка Беларусь.

Адкрытае акцыянернае таварыства «Паліграфкамбінат імя Я. Коласа».

Пасведчанне аб дзяржаўнай рэгістрацыі выдаўца, вытворцы,  
распаўсюджвальніка друкаваных выданняў № 2/3 ад 10.09.2018.

Вул. Каржанеўскага, 20, 220024, Мінск, Рэспубліка Беларусь.

Правообладатель Народная асвета