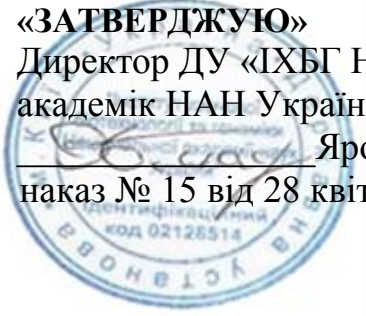


# НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

Державна установа  
«ІНСТИТУТ ХАРЧОВОЇ БІОТЕХНОЛОГІЇ ТА ГЕНОМІКИ  
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор ДУ «ІХБГ НАН України»  
академік НАН України

 Ярослав БЛЮМ  
наказ № 15 від 28 квітня 2022 р.

## РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### ЕПІГЕНЕТИКА

для здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії  
галузь знань 09 «Біологія»

спеціальність 091 «Біологія»

профілі підготовки «Біотехнологія», «Молекулярна генетика»,  
«Цитологія, клітинна біологія, гістологія»

КИЇВ – 2022

Робоча програма навчальної дисципліни «Епігенетика» для здобувачів вищої освіти ступеня доктор філософії *галузі знань* 09 «Біологія» за *спеціальністю* 091 «Біологія» за *профілями підготовки* «Біотехнологія», «Молекулярна генетика», «Цитологія, клітинна біологія, гістологія».

«28» квітня 2022 року – 16 с.

**Розробник:**

**Ісаєнков С.В.**, д.б.н., с.н.с.

Робоча програма дисципліни «Епігенетика» схвалена на засіданні вченої ради ДУ «ІХБГ НАН України» (протокол № 6 від «28» квітня 2022 року).

Робоча програма дисципліни «Епігенетика» розглянута на засіданні випускового відділу геноміки та молекулярної біотехнології ДУ «ІХБГ НАН України».

Завідувач відділу академік НАН України

Ярослав БЛЮМ

27 квітня 2022

© Ісаєнков С.В., 2022 рік  
© \_\_\_\_\_, 20\_\_ рік  
© \_\_\_\_\_, 20\_\_ рік

## ВСТУП

Навчальна дисципліна «Епігенетика» є складовою освітньо-наукової програми підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктор філософії галузі знань 09 «Біологія» за спеціальністю 091 «Біологія» за профілями підготовки «Біотехнологія», «Молекулярна генетика», «Цитологія, клітинна біологія, гістологія».

Дана дисципліна є дисципліною за вибором аспірата за *спеціальністю* 091 «Біологія».

Викладається у 3 семестрі II курсу аспірантури **в обсязі – 90 год (3 кредити ECTS)** зокрема: *лекції – 16 год, практичні роботи – 14 год, самостійна робота – 60 год.* У курсі передбачено 2 *змістових модулі*. Завершується вивчення дисципліни **заліком**.

**Мета дисципліни** – засвоєння аспірантами основних молекулярних механізмів, що лежать в основі диференціальної експресії генів, та визначенні ролі метилювання ДНК, модифікації гістонів, а також вибіркового сайленсингу генів малими РНК в реалізації генетичної інформації організму.

### **Завдання:**

- поглиблення знань про епігенетичні механізми: ензиматичне метилювання ДНК, гістоновий код (різні модифікації гістонів - ацетилювання, метилювання, фосфорилування, убіквітинування і ін.) та замовчування генів малими РНК (miRNA, siRNA);
- розуміння різниці між генетичною та епігенетичною системами;
- вдосконалення навичок трактувати біологічну сутність механізмів регуляції експресії генів.

Згідно з вимогами освітньо-наукової програми шляхом формування Загальних та Спеціальних компетенцій аспірант повинен:

**ЗК01.** Знати та розуміти предметну область та розуміти професійну діяльність.

**ЗК02.** Бути здатним працювати в міжнародному контексті.

**ЗК03.** Бути здатним розробляти та управляти проектами.

**СК01.** Бути здатним планувати і здійснювати комплексні оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у біології та дотичних до неї міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у наукових виданнях з біології та суміжних галузей.

**СК02.** Бути здатним усно і письмово презентувати та обговорювати результати наукових досліджень та/або інноваційних розробок українською та англійською мовами, розуміти англомовні наукові тексти за напрямом досліджень.

**СК03.** Бути здатним застосовувати сучасні інформаційні технології, бази даних та інші електронні ресурси, спеціалізоване програмне забезпечення у науковій та навчальній діяльності.

**СК05.** Бути здатним виявляти, формулювати та вирішувати проблеми дослідницького характеру в галузі біології, оцінювати та забезпечувати якість досліджень, які проводять.

**СК07.** Бути здатним дотримуватись етики досліджень, а також правил академічної доброчесності в наукових дослідженнях та науково-педагогічній діяльності.

В результаті вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен:

**РН01.** Мати концептуальні та методологічні знання з біології і на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні світових досягнень з відповідного напрямку, отримання нових знань та/або здійснення інновацій.

**РН03.** Формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати аналізу джерел літератури, експериментальних досліджень (опитувань, спостережень, експерименту) і математичного та/або комп'ютерного **моделювання**.

**РН05.** Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження з біології та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасного інструментарію, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті всього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми.

**РН06.** Застосовувати сучасні інструменти і технології пошуку, оброблення та аналізу інформації, зокрема, статистичні методи аналізу даних великого обсягу та/або складної структури, спеціалізовані бази даних та інформаційні системи.

**РН08.** Глибоко розуміти загальні принципи та методи біологічних наук, а також методологію наукових досліджень, застосувати їх у власних дослідженнях у сфері біології та у викладацькій практиці.

**Місце дисципліни** (в структурно-логічній схемі підготовки фахівців відповідного напрямку підготовки).

Навчальна дисципліна «Епігенетика» є дисципліною за вибором аспіранта в системі підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктор філософії галузі знань 09 «Біологія» за спеціальністю 091 «Біологія» за профілями підготовки

«Біотехнологія», «Молекулярна генетика», «Цитологія, клітинна біологія, гістологія».

«Епігенетика» є дисципліною, що поглиблює базові уявлення про успадкування властивостей організмів, які не пов'язані зі зміною нуклеотидної послідовності ДНК, і можуть бути не прямо, а опосередковано закодовані в геномі.

### **Зв'язок з іншими дисциплінами.**

Основою для вивчення навчальної дисципліни «Епігенетика» є університетські дисципліни «Молекулярна біологія», «Клітинна біологія», «Генетика», «Гістологія», обов'язкові дисципліни «Геномна інженерія та синтетична біологія», «Архітектура цито- та нуклеоскелету та морфогенез клітин», «Структурна та функціональна геноміка».

Навчальна дисципліна «Епігенетика» є дисципліною за вибором аспіранта в системі підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктор філософії галузі знань 09 «Біологія» за спеціальністю 091 «Біологія» за профілями підготовки «Біотехнологія», «Молекулярна генетика», «Цитологія, клітинна біологія, гістологія».

## **ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**Змістовий модуль 1. Хроматин та його роль в регуляції активності генів діяльності**

### **Тема 1. Загальні уявлення про епігенетику. (6 год.)**

*Приклади епігенетичних явищ. Хроматин - високо організована система зберігання генетичної і епігенетичної інформації. Історія відкриття епігенетичних механізмів. Відкриття метилювання ДНК і методи його виявлення. Нові відкриття в області епігенетики, пов'язані з розробкою методів тотального секвенування ДНК, ДНК-чипів, тотального картування білків, з'ясування білок-білкових взаємодій, нових методів мікроскопічних досліджень. Поняття про багаторівневу регуляцію експресії генів еукаріот. Модельні об'єкти епігенетики.*

### **Тема 2. Рівні організації хроматину. (8 год.)**

*Структура нуклеосоми. Збірка нуклеосоми, гістонові шаперони. Структура корових пістонів. Ділянки взаємодії між нуклеосомою і ДНК. Обробка хроматину мікрококовими нуклеазами - метод картування нуклеусом. Фактори, що впливають на стабільність взаємодії між ДНК і нуклеосомою. Роль первинної структури ДНК. Структура і функціональна роль гістонових варіантів. Посттрансляційні модифікації гістонів: ацетилювання, метилювання, фосфорилування, убіквітування, полі-АДФ-рибозилування. Роль посттрансляційних модифікацій гістонів: зміна електростатичної взаємодії між пістонами Роль посттрансляційних модифікацій гістонів: модифікацій гістонів як молекулярні мітки. Модифікації гістонів і теорія «гістонового коду». Успадкування патерну метилювання ДНК. Механізми успадкування гістонового коду. Збірка нових нуклеосом в вилці реплікації. Гіпотеза*

напівконсервативності. Взаємодія між молекулярними мітками. Пізня реплікація в S-фазі - спосіб успадкування герохроматинового стану. Неепігенетичні мітки на прикладі транскрипції. АТФ-залежний ремоделінг (реорганізація) хроматину. Структура комплексів ремоделінгу. Класифікація АТФаз, що входять до складу комплексів ремоделінгу. Рівні організації хроматину. Ядерний матрикс, MAR. Інсулятори.

### **Тема 3. Роль хроматину в регуляції активності генів. Репресія і сайленсинг. (10 год.)**

Тимчасові локальні зміни хроматину в районі промотора при регуляції транскрипції на прикладі генів, що беруть участь в реплікації. Білки E2F і Rb, роль модифікаторів гістонів і комплексів ремоделінгу. Епігенетична репресія-активація на прикладі регуляції генів раннього розвитку, що забезпечується білковими комплексами Polycomb і Tritorax. Сайленсинг - епігенетична репресія довгих фрагментів хромосом (Формування гетерохроматину). Ефект положення гену - інструмент для виявлення і вивчення гетерохроматинових районів. Експериментальні моделі для дослідження МЕР (хромосомні eu-гетерохроматинові перебудови дрозофіли, вбудова репортерних генів у хромосоми дріжджів). Механізми ініціації збірки гетерохроматина. Роль білків, роль некодуючих РНК. Поширення по хромосомі (спрединг) гетерохроматинового стану. Каскадна взаємодія білків і модифікацій гістонів при формуванні гетерохроматина у *S. cerevisiae* і у вищих еукаріот. Організація хроматину гетерохроматинових районів на прикладі *S. cerevisiae*. Класифікація гетерохроматинових районів. Факультативний гетерохроматин - довгі райони, що містять гени в стані сайленсинг. Приклади районів факультативного гетерохроматину. Конститутивний гетерохроматин - генетично інертні, постійно «мовчазні» райони хромосом. Властивості конститутивного гетерохроматину. Розподіл конститутивного гетерохроматину в хромосомах. Роль прицентромерного гетерохроматину в підтримці функції центромери. Теломерний гетерохроматин і захист кінців хромосом від з'єднання. Роль упаковки повторень ДНК в гетерохроматинові білки - захист від рекомбінації. Роль гетерохроматину в організації інтерфазних ядра. Особливості ДНК конститутивного гетерохроматину. Повторні послідовності, гени гетерохроматина. Сучасні поправки в історично сформовані уявлення про гетерохроматин.

### **Тема 4. Механізми регуляції експресії генів у еухроматині. (14 год.)**

Варіанти патернів експресії генів в еухроматині. Неоднорідність еухроматину за здатністю впливати на експресію репортерного гену. Фактори, що визначають властивості хроматинового домену. Механізми посилення експресії, пов'язані зі змінами структури хроматину. Заміна гістона H3 на варіант H3.3. Механізм дозової компенсації в X-хромосомі *Drosophila melanogaster*. Білок Painting of the Fourth. Петльова організація ДНК, роль MAR, інсуляторів та енхансерів. Райони «відкритого» і «закритого» хроматину на прикладі локусів генів альфа-глобінів і бета-глобінів людини. Організація бета-глобінового кластера. Роль LCR в регуляції. Організація альфа-глобінового кластера. Порівняння регуляції експресії генів альфа- і бета-глобінів. Складні регуляторні елементи, що включають енхансери, інсулятори і сайленсери на прикладі регуляторної зони BX-C комплексу дрозофіли.

## **Змістовий модуль 2. Роль ДНК та РНК в регуляції**

### **Тема 5. Короткі некодуючі РНК і регуляція експресії генів еукаріотів. (18 год.)**

*РНК-інтерференція: принцип, основні властивості та механізми. Різноманітність ефектів малих регуляторних РНК на експресію генів і функції цих РНК. "Класична" РНК-інтерференція: загальна схема. Індуктори РНК-інтерференції - довгі дволанцюгові РНК: структура, джерела. РНК-інтерференція: перша стадія (dicing; друга стадія (slicing). "Вторинна" РНК-інтерференція. РНК-інтерференція: противірусний захист і стабільність генома. Білки Ago (argonaute): структура і роль на різних етапах РНК-інтерференції.*

*Ендогенні малі регуляторні РНК: гени, процесинг, механізми дії. Різноманітність типів малих регуляторних РНК у еукаріотів та їх функцій. Основні біологічні активності малих регуляторних РНК. Гени мікроРНК: будова, розподіл у геномі, особливості транскрипції. Загальні властивості мікроРНК. Різноманітність їх активності і варіантів взаємодії з мішенями. Інгібування трансляції за участю мікроРНК. Процесинг і експресія мікроРНК. "Некласичні" малі регуляторні РНК: piРНК, rasiРНК і ін. Особливості біогенезу мікроРНК і функціонування РНК-залежного сайленсінгу у рослин.*

*РНК-інтерференція, зв'язок з модифікаціями хроматину. Біологічні функції РНК-залежного сайленсінгу. Гени, що беруть участь в РНК-інтерференції у *C.elegans*. Способи виявлення та функції. Види РНК-залежних модифікацій хроматину. РНК-залежний сайленсінг: загальне і відмінності у рослин, комах, нематод і вищих хребетних. Транскрипційний сайленсінг за участю малих РНК у *S.pombe*. Компоненти комплексів RITS і RDRC, їх роль. РНК-залежне метилювання ДНК у рослин. Участь scpРНК в димінуції хроматину у *Tetrahymena*. Особливості систем РНК-залежного сайленсінгу у рослин, ссавців, комах, дріжджів і *C.elegans*. Регуляція експресії генів за участю некодуючих РНК-структур у бактерій. Можливі шляхи походження нових регуляторних РНК, задіяних в РНК-інтерференції.*

### **Тема 6. Епігенетичні модифікації ДНК та їх роль у регуляції експресії генів. (20 год.)**

*РНК-інтерференція, модифікація гістонів і метилювання ДНК: зв'язок між механізмами. Метилювання ДНК: відомі функції. Метилювання ДНК і реплікативний цикл. Активне і пасивне деметилювання ДНК. Метилювання ДНК: ферментативний апарат, інші чинники. Метилювання ДНК: біологічна специфічність, розподіл метильованої ДНК в геномах еукаріот. CpG острівці, їх властивості та функції. Прямий і опосередкований вплив метилювання на транскрипцію. MBD-білки. Метилювання ДНК і геномний імпринтинг. Зв'язок гіпо- та гіперметилювання ДНК з канцерогенезом і можливий зв'язок зі старінням. Зміна патернів метилювання ДНК в онтогенезі.*

### **Тема 7. РНК-інтерференція і метилювання ДНК – засоби аналізу та перспективи практичного застосування. (14 год.)**

*Виявлення малих регуляторних РНК і їх мішеней. Напрями та перспективи практичного використання РНК-інтерференції. Зв'язок порушень експресії мікроРНК із захворюваннями людини. Принципи дизайну малих інтерферуючих РНК і способи їх напрацювання. Способи транспортування siРНК в клітини еукаріотів та індукції РНК-інтерференції in vivo і in vitro. Проблеми та практичні обмеження прикладної РНК-інтерференції. Основні підходи, які використовуються для аналізу метилювання ДНК. Методи якісного аналізу метилювання ДНК. Методи кількісного аналізу метилювання ДНК.*

**СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ  
ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙ,  
ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ, САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ**

№ з/п	Назва лекції	Кількість годин		
		лекції	практичні	СРС
<b>Змістовий модуль 1</b> <i>Хроматин та його роль в регуляції активності генів</i>				
1	<b>Тема 1.</b> Загальні уявлення про епігенетику.	2	2	2
2	<b>Тема 2.</b> Рівні організації хроматину	2	2	4
3	<b>Тема 3.</b> Роль хроматину в регуляції активності генів. <i>Репресія і сайленсинг</i>	2	2	6
4	<b>Тема 4.</b> Механізми регуляції експресії генів у еухроматині.	2	2	10
<b>Разом за змістовим модулем 1</b>		<b>8</b>	<b>8</b>	<b>22</b>
<b>Змістовий модуль 2</b> <i>Роль ДНК та РНК в регуляції</i>				
5	<b>Тема 5.</b> Короткі некодуючі РНК і регуляція експресії генів еукаріотів.	2	2	14
6	<b>Тема 6.</b> Епігенетичні модифікації ДНК та їх роль у регуляції експресії генів.	4	2	14
7	<b>Тема 7.</b> РНК-інтерференція і метилювання ДНК – засоби аналізу та перспективи практичного застосування.	2	2	10
<b>Разом за змістовим модулем 2</b>		<b>8</b>	<b>6</b>	<b>38</b>
<b>ВСЬОГО</b>		<b>16</b>	<b>14</b>	<b>60</b>

Загальний обсяг – **90 год.**(3 кредити ECTS), у тому числі:

Лекцій – **16 год.**

Практичні заняття – **14 год.**

Самостійна робота – **60 год.**



## **ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1**

### *Хроматин та його роль в регуляції активності генів*

#### **ТЕМА 1. ЗАГАЛЬНІ УЯВЛЕННЯ ПРО ЕПІГЕНЕТИКУ (6 год.)**

##### **Лекція 1. ЗАГАЛЬНІ УЯВЛЕННЯ ПРО ЕПІГЕНЕТИКУ**

##### **Практичне заняття 1 (2 год)**

1. Історія розвитку епігенетики. Генетика і епігеетика.
2. Модельні об'єкти епігенетики.
3. Основні поняття епігенетики.

##### **Завдання для самостійної роботи (2 год.)**

*В чому криється епігенетичний контроль?*

*Основні проблеми в епігенетичних дослідженнях.*

##### **Контрольні запитання та завдання**

1. Гіпотеза гістонового коду.
2. Ядерна організація.
3. Пріони.
4. Роль хроматину.
5. Метилування ДНК.
6. Модельні об'єкти епігенетики.
7. Рівні організації хроматину.
8. Модифікації гістонів і генетичний код.
9. РНК і сайлейсинг.
10. Інактивація Х-хромосоми.
11. Репрограмування клітини.
12. Сутність епігенетичного контролю.

##### **Рекомендована література:**

[1-14]

#### **ТЕМА 2. РІВНІ ОРГАНІЗАЦІЇ ХРОМАТИНУ (8 год)**

##### **Лекція 2. РІВНІ ОРГАНІЗАЦІЇ ХРОМАТИНУ.**

##### **Практичне заняття 2 (2 год)**

1. Хроматин, Рівні організації.
2. Структура нуклеосом.
3. Посттрансляційні модифікації гістонів.
4. Модифікації гістонів і теорія «гістонового коду».
5. Неепігенетичні мітки.

##### **Завдання для самостійної роботи (4 год.)**

*Формування гетерохроматину і сайленсинг генів генів у різних організмів.*

*Молекулярні компоненти хроматину у рослин.  
Модифікації хроматину і ДНК у Arabidopsis thaliana, опосередкованих РНКі  
Консерватизм модифікацій хроматину. опосередкованих РНКі, у тварин.*

### **Контрольні запитання та завдання**

1. Структурні білки хроматину.
2. Корові гістони та гістонові комплекси.
3. Лінкерні гістони.
4. Варіанти гістонів.
5. Посттрансляційні модифікації гістонів.
6. Гістоновий код.
7. Білки НМГ.
8. Структура нуклеосоми.
9. Структурна динаміка нуклеосоми.
10. Наднуклеосомна організація інтерфазного хроматину
11. Структура та динаміка хроматинової фібрили.
12. Механізми позиціонування нуклеосом.
13. Позиціонування нуклеосом у геномах.
14. Роль гістона Н1 в структурній організації хроматину.
15. Структура хроматину в інтерфазному ядрі.

### **Рекомендована література:**

[1-15]

## **ТЕМА 3. РОЛЬ ХРОМАТИНУ В РЕГУЛЯЦІЇ АКТИВНОСТІ ГЕНІВ. РЕПРЕСІЯ І САЙЛЕНСИНГ (10 год)**

### **Лекція 3. РОЛЬ ХРОМАТИНУ В РЕГУЛЯЦІЇ АКТИВНОСТІ ГЕНІВ. РЕПРЕСІЯ І САЙЛЕНСИНГ.**

#### **Практичне заняття 3 (2 год)**

1. Епігенетична репресія-активація на прикладі регуляції генів раннього розвитку, що забезпечується білковими комплексами Polycomb і Tritorax.
2. Сайленсинг - епігенетична репресія протяжних фрагментів хромосом (Формування гетерохроматину).
3. Ефект положення гена - інструмент для виявлення і вивчення гетерохроматинових районів. Експериментальні моделі для дослідження МЕР (хромосомні eu-гетерохроматинових перебудов дрозофіли, вмонтовання репортерних генів в хромосоми дріжджів).
4. Механізми ініціації збірки гетерохроматина. Роль білків, роль некодуючих РНК.

#### **Завдання для самостійної роботи (6 год.)**

*Сучасні уявлення про гетерохроматин. Класифікація гетерохроматинових районів. Факультативний гетерохроматин - протяжні райони, що містять гени в стані сайленсингу. Приклади районів факультативного гетерохроматину. Конститутивний гетерохроматин - генетично інертні, постійно мовчазні райони хромосом.*

*Властивості конститутивного гетерохроматину. Розподіл конститутивного гетерохроматину в хромосомах.*

**Контрольні запитання та завдання**

1. Неповна пенетрантність CNV і пармутації.
2. Мейотичний сайлейсинг.
3. Мейотичний сайлейсинг CNV.
4. Успадкування і пенетрантність CNVs з врахуванням гіпотези мейотичного сайлейсингу CNV.
5. Поширення по хромосомі (спрединг) гетерохроматинового стану. Каскадна взаємодія білків і модифікацій гістонів при формуванні гетерохроматину у *S. cerevisiae* і у вищих еукаріот.
6. Організація хроматину гетерохроматинових районів на прикладі *S. cerevisiae*.
7. Роль прицентромерного гетерохроматину в підтримці функції центромери.
8. Теломерний гетерохроматин і захист кінців хромосом від злиття.
9. Роль упаковки ДНК в гетерохроматинові білки - захист від рекомбінації.
10. Роль гетерохроматину в організації інтерфазного ядра.
11. Особливості ДНК конститутивного гетерохроматину. Повторені послідовності, гени гетерохроматину.
12. Тимчасові локальні зміни хроматину в районі промотора та їхня роль в регуляції транскрипції
13. Білки E2F і Rb, роль модифікаторів гістонів і комплексів ремоделінгу.

**Рекомендована література:**

[1-15]

**Тема 4. МЕХАНІЗМИ РЕГУЛЯЦІЇ ЕКСПРЕСІЇ ГЕНІВ У ЕУХРОМАТИНІ (14 год.)**

**Лекція 4. МЕХАНІЗМИ РЕГУЛЯЦІЇ ЕКСПРЕСІЇ ГЕНІВ У ЕУХРОМАТИНІ.**

**Практичне заняття 4 (2 год)**

1. Варіанти патернів експресії генів в еухроматині. Неоднорідність еухроматину за здатністю впливати на експресію репортерного гену.
2. Фактори, що визначають властивості хроматинового домену.
3. Механізми посилення експресії, пов'язані зі змінами структури хроматину.

**Завдання для самостійної роботи (10 год.)**

*Петльова організація ДНК, роль MAR, інсуляторів і енхансерів.*

**Контрольні запитання та завдання**

1. Організація бета-глобінового кластера. Роль LCR в регуляції.
2. Організація альфа-глобінового кластера. порівняння регуляції експресії генів альфа-і бета-глобінів
3. Регуляторні елементи: енхансери, інсулятори і сайленсери на прикладі регуляторної зони ВХ-С комплексу дрозофіли.

4. Райони «відкритого» і «закритого» хроматину на прикладі локусів генів альфа-глобінів і бета-глобінів людини.

**Рекомендована література:**

[1-15]

**ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2  
РОЛЬ ДНК ТА РНК В РЕГУЛЯЦІЇ**

**Тема 5. КОРОТКІ НЕКОДУЮЧІ РНК І РЕГУЛЯЦІЯ ЕКСПРЕСІЇ ГЕНІВ ЕУКАРІОТІВ.  
(18 год.)**

**Лекція 5. КОРОТКІ НЕКОДУЮЧІ РНК І РЕГУЛЯЦІЯ ЕКСПРЕСІЇ ГЕНІВ  
ЕУКАРІОТІВ**

**Практичне заняття 5 (2 год)**

1. Типи малих регуляторних РНК у еукаріот.
2. РНК-інтерференція, зв'язок з модифікаціями хроматину.
3. Біологічні функції РНК-залежного сайленсінгу.

**Завдання для самостійної роботи (16 год.)**

1. Основні активності малих регуляторних РНК.
2. РНК-інтерференція - принцип, основні властивості та механізми.
3. МікроРНК: взаємодія з мішенями.

**Контрольні запитання та завдання**

1. Властивості РНК-інтерференції та їх можливі пояснення.
2. Індуктори РНК-інтерференції.
3. Способи доставки siРНК в клітини еукаріот.
4. РНК-інтерференція: способи індукції *in vivo*.
5. Загальна схема РНК-інтерференції.
6. Гени, що беруть участь в РНК-інтерференції у *C.elegans*.
7. Інгібування трансляції за участю малих РНК.
8. Компоненти комплексів RITS і RDRC.
9. Білки Ago (argonaute): організація і роль на різних етапах РНК-інтерференції.
10. Гени мікроРНК: будова, розподіл, особливості.
11. Роль генів *let-4* і *let-7* у *C.elegans*.
12. Процесинг і експресія мікроРНК, особливо у рослин і тварин.
13. Принципи дизайну малих інтерферуючих РНК.
14. Способи виявлення малих інтерферуючих РНК.
15. Транскрипційний сайленсінг за участю малих РНК у *S.pombe*.
16. Різноманітність ефектів малих регуляторних РНК в регуляції експресії генів.

**Рекомендована література:**

[1-15]

**ТЕМА 6. ЕПІГЕНЕТИЧНІ МОДИФІКАЦІЇ ДНК ТА ЇХ РОЛЬ У РЕГУЛЯЦІЇ ЕКСПРЕСІЇ ГЕНІВ (20 год.)**

**Лекція 6. ЕПІГЕНЕТИЧНІ МОДИФІКАЦІЇ ДНК ТА ЇХ РОЛЬ У РЕГУЛЯЦІЇ ЕКСПРЕСІЇ ГЕНІВ**

**Практичне заняття 6 (2 год)**

*Метилування ДНК: ферментативний апарат, інші чинники.*

**Завдання для самостійної роботи (16 год.)**

*Метилування ДНК: специфічність, особливості розподілу в геномі.*

**Контрольні запитання та завдання**

1. CpG острівці і їх властивості.
2. Методи дослідження метилування ДНК.
3. Прямий і опосередкований вплив метилування на транскрипцію.
4. Зв'язок метилування ДНК з канцерогенезом і можливий зв'язок зі старінням.
5. Спадкування патернів метилування ДНК.

**Рекомендована література:**

[5-10, 12-15]

**ТЕМА 7. РНК-ІНТЕРФЕРЕНЦІЯ І МЕТИЛЮВАННЯ ДНК – ЗАСОБИ АНАЛІЗУ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ (14 год.)**

**Лекція 7. РНК-ІНТЕРФЕРЕНЦІЯ І МЕТИЛЮВАННЯ ДНК – ЗАСОБИ АНАЛІЗУ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ**

**Практичне заняття 7 (2 год)**

1. Малі РНК і направлена регуляція експресії генів.
2. Доставка малих РНК в пухлинні клітини: хімічна модифікація та штучні носії.
3. Доставка малих РНК в пухлинні клітини: екзосоми
4. Екзосоми і малі РНК: перспективи клінічного застосування

**Завдання для самостійної роботи (10 год.)**

1. Біологічна основа ракових захворювань
2. Значення хроматину для ракових захворювань
3. Роль метилування ДНК при ракових захворюваннях
4. Гіперметилування промоторів генів при ракових захворюваннях

**Контрольні запитання та завдання**

1. Пошук нових генів, епігенетично сайленсованих при раку
2. Визначення функціональної важливості генів, гіперметильованих при ракових захворюваннях

3. Епігенетичний сайленсинг генів і його роль в еволюції раку - значення для ранніх стадій розвитку пухлини
4. Молекулярна анатомія епігенетично сайленсованих ракових генів
5. Виявлення раку за допомогою метилювання ДНК
6. Епігенетична терапія

**Рекомендована література:**

[8-10, 12-15]

**Контроль знань і розподіл балів, які отримують здобувачі**

Контроль здійснюється за модульно-рейтинговою системою.

У змістовий модуль 1 (ЗМ1) входять теми 1-4, у змістовий модуль 2 (ЗМ2) – теми 5-7.

Види контролю - поточний і підсумковий.

*Поточний контроль* здійснюється під час проведення навчальних занять і має на меті перевірку засвоєння студентами навчального матеріалу. Форма проведення поточного контролю під час навчальних занять: усне опитування, письмовий контроль, тестовий, самооцінювання, перевірка практичних навичок.

Обов'язковим для заліку є відпрацювання всіх практичних занять. У випадку відсутності студента, він може відпрацювати пропущене заняття у позааудиторний час (пропущених занять не може бути більше половини від загальної кількості занять).

*Оцінювання за формами поточного контролю:*

**Коефіцієнт 2,85**

	<b>ЗМ1</b>		<b>ЗМ2</b>	
	<i>Min. – 32 бали</i>	<i>Max. – 57 балів</i>	<i>Min. – 28 балів</i>	<i>Max. – 43 бали</i>
Усна відповідь	<i>„3” x 4 = 12</i>	<i>„5” x 4 = 20</i>	<i>„3” x 3 = 9</i>	<i>„5” x 3 = 15</i>
Доповнення	<i>0,5</i>	<i>1</i>	<i>0,5</i>	<i>1</i>
Виступ	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>
<p><i>„3” – мінімальна/максимальна оцінку, яку може отримати студент.</i>  <i>1 – мінімальна/максимальна залікова кількість робіт чи завдань.</i></p>				

Для студентів, які набрали сумарно меншу кількість балів ніж *критично-розрахунковий мінімум 60 балів*, для здачі заліку обов'язкове проходження додаткового тестування.

*Підсумковий контроль* проводиться на останньому практичному занятті і складається із суми балів усіх змістових модулів.

**При простому розрахунку отримаємо:**

**Коефіцієнт 2,85**

	Змістовий модуль 1	Змістовий модуль 2	Залік (підсумкова оцінка)
<b>Мінімум</b>	<b>32</b>	<b>28</b>	<b>60</b>
<b>Максимум</b>	<b>57</b>	<b>43</b>	<b>100</b>

**При цьому, кількість балів:**

- **1-34** відповідає оцінці «незадовільно» з обов'язковим повторним вивченням дисципліни;
- **35-39** відповідає оцінці «незадовільно» з можливістю повторного складання;

- **40-60** відповідає оцінці «задовільно» («достатньо»);
- **61-69** відповідає оцінці «задовільно»;
- **70 - 80** відповідає оцінці «добре»;
- **81 - 89** відповідає оцінці «добре» («дуже добре»);
- **90 - 100** відповідає оцінці «відмінно».

### Шкала оцінювання академічної успішності аспіранта

Рівень досягнень, % /Marks, (бали за освітню діяльність)	Оцінка ЄКТС/ECTS	Оцінка за національною шкалою (Nationalgrade)
90 – 100	<b>A</b>	<b>відмінно</b> (Excellent)
82 – 89	<b>B</b>	<b>добре</b> (Good)
74 – 81	<b>C</b>	
64 – 73	<b>D</b>	
60 – 63	<b>E</b>	<b>задовільно</b> (Satisfactory)
35 – 59	<b>FX</b>	<b>незадовільно</b> (Fail) з можливістю повторного складання
1 – 34	<b>F</b>	<b>незадовільно</b> (Fail) з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

### Методи навчання

Пояснювально-ілюстративні, частково-пошукові, проблемного викладання матеріалу, дослідницькі.

### Технічні засоби навчання

Проектор мультимедійний Epson EMP-S42; ноутбук.

### Матеріальне забезпечення дисципліни

Аудиторії, лабораторна база Державної установи «Інститут харчової біотехнології та геноміки НАН України»

### Рекомендована література

#### Основна

1. Sweatt S.D, Nestler E.J, Meaney M.J., Akbarian S. Chapter 1 - An Overview of the Molecular Basis of Epigenetics, *Epigenetic Regulation in the Nervous System*, Academic Press, 2013, P. 3-33, ISBN 9780123914941, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-391494-1.00001-X>.
2. Тищенко О.М., Дубровна О.В., Топчій Н.М. Метилування ДНК в онтогенезі рослин. – К: Логос, 2008. – 264 с.

3. Генетика: підручник / Сиволоб А. В., Рушковський С.Р., Кир'яченко С.С та ін.; за ред. А.В. Сиволоба. – К.: Вид.-поліграф. центр «Київський ун-т», 2008.– 320 с.
4. Разин С. В., Быстрицкий А. А. Хроматин: упакованный геном. - «Бином. Лаборатория знаний». 2009.– 172 с.
5. Hamilton J. P. (2011). Epigenetics: principles and practice. *Digestive diseases (Basel, Switzerland)*, 29(2), 130–135. <https://doi.org/10.1159/000323874>
6. *The Ghost in Our Genes: Legal and Ethical Implications of Epigenetics*. Rothstein, M., et al. 2009. <http://ssrn.com/abstract=1140443>
7. *Learn.Genetics™ from the University of Utah* (<http://learn.genetics.utah.edu/>)
8. Эллис С.Д, Дженювейн Т, Рейнберг Д. Эпигенетика. - М.: Техносфера, 2010. - 495 с.
9. Сиволоб А.В., Афанасьєва К.С. Молекулярна організація хромосом 329 с.
10. Н. А. Скрябин, С. А. Васильев, И. Н. Лебедев. Эпигенетический сайлейсинг структурных вариаций генома // *Генетика*, 2017, Т.53, № 10. - С. 1132–1140.
11. Duncan, EJ, Gluckman, PD, Dearden, PK. 2014. Epigenetics, plasticity and evolution: How do we link epigenetic change to phenotype? *J. Exp. Zool. (Mol. Dev. Evol.)* 322B: 208– 220.
12. С. В. Разин, А. А. Быстрицкий. Хроматин: упакованный геном. «Бином. Лаборатория знаний». 2009. С. 172
13. О.Е. Андреева, М.А. Красильников Феномен РНК-интерференции в онкологии: достижения, проблемы и перспективы // *Успехи молекулярной онкологии*, 2018, Т.3. - С. 8 – 15.
14. D. Allis, T. Jenuwein, D. Reinberg, M.-L. Caparros. *Epigenetics*. Cold Spring Harbor Laboratory Press. 2007. • 502 pp. ISBN-10: 0879698756
15. R. K. Gaur, J. J. Rossi (Eds) *Regulation of Gene Expression by Small RNAs* CRC Press; 2009. 440 pp.
16. N. Walter, S. A. Woodson, R.T. Batey (Eds) *Non-Protein Coding RNAs (Springer Series in Biophysics)* Springer; 2008. 398 pp.

**Додаткова:**

17. Weinhold B. *Epigenetics: the science of change*. *Environ Health Perspect.* 2006;114(3):A160-A167. doi:10.1289/ehp.114-a160
18. *The Ghost in Our Genes, a BBC Horizon documentary* <http://video.google.com/videoplay?docid=1128045835761675934#>)
19. Handy DE, Castro R, Loscalzo J. Epigenetic modifications: basic mechanisms and role in cardiovascular disease. *Circulation.* 2011;123(19):2145-2156. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.110.956839.
20. Becker C, Hagmann J, Müller J, Koenig D, Stegle O, Borgwardt K, Weigel D. Spontaneous epigenetic variation in the *Arabidopsis thaliana* methylome. *Nature*, September 20, 2011
21. Balaton BP, Brown C.J. Contribution of epigenetic changes to escape from X-chromosome inactivation *bioRxiv* 2021.03.03.433635; doi: <https://doi.org/10.1101/2021.03.03.433635>