

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Волинський національний університет імені Лесі Українки**  
**Факультет біології та лісового господарства**  
**Кафедра фізіології людини і тварин**

**СИЛАБУС**

**нормативного освітнього компонента**

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В БІОЛОГІЇ**

**підготовки магістра**

**спеціальності 09 «Біологія»**

**за спеціалізацією 091 Біологія**

**освітньо-професійної програми «Біологія»**

Луцьк–2022

**Силабус** освітнього компонента «Математичне моделювання в біології» підготовки магістра галузі знань 09 Біологія, спеціальності 091 «Біологія», за освітньо-професійною програмою «Біологія»

**Розробник:** Кузнецов Ілля Павлович, доцент кафедри фізіології людини і тварин, кандидат біологічних наук, доцент

**Погоджено**

Гарант освітньо-професійної програми: \_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_ (Сухомлін К.Б.)

**Силабус освітнього компонента затверджено на засіданні кафедри фізіології людини і тварин**  
протокол № 1 від 31 серпня 2022 р.

Завідувач кафедри:



(Качинська Т.В.)

## I. Опис освітнього компонента

Таблиця 1

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, освітня програма, освітній рівень	Характеристика освітнього компонента	
Заочна форма навчання	Галузь знань <u>09 «Біологія»</u>	<b>Нормативна</b>  <b>Рік навчання</b> <u>2</u> <b>Семестр</b> <u>3-й</u> <b>Лекції</b> <u>12</u> год. <b>Лабораторні</b> <u>10</u> год. <b>Самостійна робота</b> <u>114</u> год. <b>Консультації</b> <u>14</u> год. <b>Форма контролю:</b> <u>екзамен</u>	
Кількість годин/кредитів <u>150/5</u>	<b>Спеціальність</b> <u>091 «Біологія»</u> <b>Освітньо-професійна програма</b> Біологія <b>Освітній рівень:</b> <u>другий (магістр)</u>		
ІНДЗ: <u>є</u>			
<b>Мова навчання</b>			<b>Українська</b>

## II. Інформація про викладачів

ППП Кузнецов Ілля Павлович

Науковий ступінь кандидат біологічних наук

Вчене звання доцент

Посада доцент кафедри фізіології людини і тварин

Контактна інформація: [Kuznetsov.Ilyya@vnu.edu.ua](mailto:Kuznetsov.Ilyya@vnu.edu.ua)

Дні занять <http://94.130.69.82/cgi-bin/timetable.cgi?n=700>

## III. Опис освітнього компонента

### 1. Анотація курсу

Активний розвиток і впровадження обчислювальної техніки і методів комп'ютерних наук у сферу біології та медицини вимагає як розуміння основних принципів комп'ютерних наук, так і специфіки їх використання у біології та медицині. Розвиток програмного забезпечення в області обробки кількісної інформації та автоматичного пошуку закономірностей у існуючих даних призвів до широкого впровадження методів математичного моделювання у медицині та біологічних науках. Сучасні програмні засоби математичного моделювання, популярні типи моделей та алгоритми машинного навчання, які застосовуються для ефективного аналізу великих даних – ці питання розглядаються в нашому курсі.

### 2. Пререквізити

Передумови вивчення курсу: для вивчення курсу студенти повинні попередньо прослухати курси «Інформатика», «Основи вищої математики та математичного аналізу», «Математичні методи в біології», «Молекулярна біологія», «Цитологія», «Гістологія», «Анатомія», «Фізіологія людини і тварин».

### 3. Мета і завдання освітнього компонента

**Метою** навчального курсу є формування у студентів комплексу знань і умінь щодо системного опису біологічних та медичних явищ, формування на його основі математичних моделей вказаних явищ.

#### Завдання:

Завдання курсу: запропонувати систему сучасних уявлень, принципів, закономірностей кібернетики та її методів – моделювання у біології, фізіології та нейрокібернетиці, які

допоможуть студентам систематизувати знання з проблем організації та функціонування живих систем, інформаційних процесів та управління у них.

#### **4. Результати навчання (компетентності)**

##### **Загальні компетентності (ЗК):**

**ЗК02.** Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології.

**ЗК03.** Здатність генерувати нові ідеї (креативність).

**ЗК05.** Здатність розробляти та керувати проектами.

**ЗК06.** Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.

##### **Спеціальні (фахові, предметні) компетентності (СК):**

**СК01.** Здатність користуватися новітніми досягненнями біології, необхідними для професійної, дослідницької та/або інноваційної діяльності.

**СК02.** Здатність формулювати задачі моделювання, створювати моделі об'єктів і процесів на прикладі різних рівнів організації живого із використанням математичних методів й інформаційних технологій.

**СК03.** Здатність користуватися сучасними інформаційними технологіями та аналізувати інформацію в галузі біології і на межі предметних галузей.

**СК05.** Здатність планувати і виконувати експериментальні роботи з використанням сучасних методів та обладнання.

**СК06.** Здатність прогнозувати напрямки розвитку сучасної біології на основі загального аналізу розвитку науки і технологій.

**СК08.** Здатність презентувати та обговорювати результати наукових і прикладних досліджень, готувати наукові публікації, брати участь у наукових конференціях та інших заходах.

**СК10.** Здатність використовувати результати наукового пошуку в практичній діяльності.

##### **Програмні результати навчання (ПРН):**

**ПРН4.** Розв'язувати складні задачі в галузі біології, генерувати та оцінювати ідеї.

**ПРН6.** Аналізувати біологічні явища та процеси на молекулярному, клітинному, організменному, популяційно-видовому та біосферному рівнях з точки зору фундаментальних загальнонаукових знань, а також за використання спеціальних сучасних методів досліджень.

**ПРН7.** Описувати й аналізувати принципи структурно-функціональної організації, механізмів регуляції та адаптації організмів до впливу різних чинників.

**ПРН11.** Проводити статистичну обробку, аналіз та узагальнення отриманих експериментальних даних із використанням програмних засобів та сучасних інформаційних технологій.

**ПРН12.** Використовувати інноваційні підходи для розв'язання складних задач біології за невизначених умов і вимог.

**ПРН15.** Критично осмислювати теорії, принципи, методи з різних галузей біології для вирішення практичних задач і проблем.

**Soft skills** (т. зв. «м'які навички», «соціальні навички», «універсальні навички» чи «навички успішності»): вміння працювати в команді; креативність; вміння прогнозувати, гнучкість, швидка адаптація до змін та ін.

#### **5. Структура освітнього компонента**

*Таблиця 2*

Назви змістових модулів і тем	Разом	Лк	Лб	Сам.	Конс.	Форма контролю/ Бали
<b>Змістовий модуль 1. Основні поняття та концепції математичного моделювання у біології та медицині</b>						

<b>Тема 1.</b> Вступ до математичного моделювання. Історія математичного моделювання в біології, зв'язок математичного моделювання із іншими науками.	11	1	2	8		УО, ЛБ, МКР / 4, 4, 15
<b>Тема 2.</b> Теорія систем. Поняття системи. Класифікація систем. Системний аналіз.	12			10	2	
<b>Тема 3.</b> Основні принципи математичного моделювання, поняття математичної моделі.	13	1		10	2	
<b>Разом за модулем 1</b>	<b>36</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>28</b>	<b>4</b>	<b>23</b>
<b>Змістовий модуль 2. Динамічні та емпіричні моделі біологічних і епідеміологічних явищ</b>						
<b>Тема 5.</b> Динамічні моделі	13	1	2	8	2	УО, ЛБ / 4, 4
<b>Тема 6.</b> Диференційне числення	14	1		12	1	
<b>Тема 7.</b> Звичайні диференційні рівняння	15	1		12	2	
<b>Тема 8.</b> Емпіричні моделі. Статистика.	16	1	2	12	1	УО, ЛБ, МКР / 4, 4, 15
<b>Разом за модулем 2</b>	<b>58</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>44</b>	<b>6</b>	<b>31</b>
<b>Змістовий модуль 3. Використання методів машинного навчання у моделюванні біологічних і медичних процесів</b>						
<b>Тема 9.</b> Машинне навчання, основні принципи. Баєсові моделі.	9	1		8		
<b>Тема 10.</b> Дискримінантний аналіз.	5	1		4		
<b>Тема 11.</b> Дерева прийняття рішень. Машини опорних векторів. Метод k-найближчих сусідів. Кластерний аналіз – метод k-середніх.	7	1		6		
<b>Тема 12.</b> Нейронні мережі.	13	1	2	8	2	УО, ЛБ, МКР / 4, 4, 15
<b>Разом за модулем 3</b>	<b>34</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>26</b>	<b>2</b>	<b>23</b>
<b>Змістовий модуль 4. Агент-орієнтовні моделі. Моделювання станів біологічних систем.</b>						
<b>Тема 13.</b> Агент-орієнтовні моделі. Клітинні автомати.	14	2	2	8	2	УО, ЛБ, МКР / 4, 4, 15
<b>Тема 14.</b> Випадкові блукання. Моделі біологічних явищ на основі випадкових блукань. Марківські ланцюги, їх використання у математичному моделюванні біологічних явищ.	8			8		

<b>Разом за модулем 3</b>	<b>22</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>16</b>	<b>2</b>	<b>23</b>
<b>Всього годин/Балів</b>	<b>150</b>	<b>12</b>	<b>16</b>	<b>114</b>	<b>14</b>	<b>100</b>

<b>Види підсумкових робіт</b>	<b>К-сть балів</b>
Модульна контрольна робота 1	T/15
Модульна контрольна робота 2	T/15
Модульна контрольна робота 3	T/15
Модульна контрольна робота 4	T/15

*Примітки: Moodle, Teams, Zoom – може застосовуватися одна з платформ або їхній симбіоз для здобувачів освіти з індивідуальним планом навчання та/або під час реалізації освітнього процесу в Університеті у дистанційному режимі, відповідно до Положення про електронний курс навчальної дисципліни у Волинському національному університеті імені Лесі Українки, Положення про дистанційне навчання у Волинському національному університеті імені Лесі Українки, наказів ректора*

*Методи та форми контролю: ЛБ – лабораторна робота, МКР/КР – модульна контрольна робота/ контрольна робота, УО – усне опитування тощо.*

## 6. Перелік тем лабораторних занять

<b>№ з/п</b>	<b>Тема</b>	<b>Кількість годин/балів</b>
1	Основні принципи побудови математичної моделі.	2/4
2	Епідеміологічна модель SIR	2/4
3	Створення статистичної моделі на основі існуючих даних	2/4
4	Побудова глибокої нейронної мережі для обробки даних в програмі RapidMiner	2/4
5	Мова NetLogo, робота існуючих моделей в середовищі NetLogo	2/4
	<b>Разом</b>	<b>10/20</b>

## 7. Завдання для самостійного опрацювання.

Таблиця 3.

<b>№</b>	<b>Теми</b>	<b>Кількість годин</b>
	<b>Змістовий модуль 1. Основні поняття та концепції математичного моделювання у біології та медицині</b>	
1.	<b>Тема 1. Основні етапи у розвитку математичного моделювання, видатні математики, що вплинули на застосування математичних моделей в біології –</b>	8

	Галілей, Сетон-Томсон, Т'юрінг, Пуанкаре, фон Нейман, Колмогоров, Шеннон, фон Берталанффі.	
2.	<b>Тема 2.</b> Структура зв'язків в системі. Прямі, зворотні позитивні, зворотні негативні зв'язки. Зв'язки горизонтальні та вертикальні. Оптимальний рівень функціонування систем.	10
3.	<b>Тема 3.</b> Позитивні та негативні наслідки узагальнення явища. Універсальність моделі, як наслідок високого рівня узагальнення.	10
<b>Змістовий модуль 2. Динамічні та емпіричні моделі біологічних і епідеміологічних явищ</b>		
5.	<b>Тема 5.</b> Визначення головних параметрів в моделі біологічного явища, які визначають розвиток моделі.	8
6.	<b>Тема 6.</b> Випадки і приклади біологічних процесів, де застосування динамічних моделей обмежене.	12
7.	<b>Тема 7.</b> Приклади застосування моделей SIR для прогнозування динаміки епідемії COVID-19.	12
8.	<b>Тема 8.</b> Поняття великих даних (Big Data).	12
<b>Змістовий модуль 3. Використання методів машинного навчання у моделюванні біологічних і медичних процесів</b>		
9.	<b>Тема 9.</b> Оцінка якості моделі. Розбиття набору даних на піднабори: для тренування, тестування, валідації. Крос-перевірка. Точність, відгук, площа під кривою.	8
10.	<b>Тема 10.</b> Область застосування дискримінантного аналізу в сфері біології та медицини.	4
	<b>Тема 11.</b> Визначення ефективної кількості кластерів на основі статистичних показників. Метод профілю, метод ліктя.	6
	<b>Тема 12.</b> Глибоке навчання, основні принципи. Основні архітектури згорткових нейронних мереж. Застосування згорткових нейронних мереж для аналізу медичних зображень.	8
<b>Змістовий модуль 4. Агент-орієнтовні моделі. Моделювання станів біологічних систем.</b>		
	<b>Тема 13.</b> Гра «Життя». Мова програмування агент-орієнтовних моделей NetLogo.	8
	<b>Тема 14.</b> Симуляція розвитку епідемій та динаміки популяції на основі марківських моделей.	8
	<b>Разом</b>	<b>114 год</b>

#### IV. Політика оцінювання

#### РОЗПОДІЛ БАЛІВ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

Поточний контроль знань	Сума
-------------------------	------

Усні відповіді	Контрольні роботи				Лабораторні роботи					100 100
20	60				20					
	T1	T2	T3	T4	Л1	Л2	Л3	Л4	Л5	
	15	15	15	15	4	4	4	4	4	

**Практичні навички (виконання лабораторної роботи) оцінюються** за результатами виконання лабораторних робіт. Відвідування занять є обов'язковим та дає можливість отримати задекларовані загальні та фахові компетентності, вчасно і якісно виконати завдання. За об'єктивних причин (наприклад, хвороба, міжнародне стажування) навчання може відбуватись індивідуально (в он-лайн формі за погодженням із деканом факультету). Лабораторна робота може бути оцінена на максимальну кількість балів, якщо студент вчасно виконав всі завдання, оформив роботу, зробив висновки. Лабораторні роботи здаються на наступному занятті після закінчення лабораторної роботи.

Перескладання модулів відбувається із дозволу лектора за наявності поважних причин (наприклад, лікарняний).

#### **Політика щодо академічної доброчесності**

Списування під час письмового опитування, контрольних робіт та МКР заборонені (в т.ч. із використанням мобільних девайсів). Реферати повинні мати коректні текстові посилання на використану літературу.

Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій роботі студента є підставою для її незарахування, незалежно від масштабів плагіату чи обману.

**Неформальна освіта при викладанні дисципліни.** Визнання результатів навчання, отриманих у неформальній освіті здійснюється відповідно до «Положення про визнання результатів навчання, отриманих у формальній, неформальній та/або інформальній освіті у Волинському національному університеті імені Лесі Українки» ([https://ed.vnu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/08/2022\\_Viznannya\\_rezultativ\\_VNU\\_im\\_L.U.\\_red.pdf](https://ed.vnu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/08/2022_Viznannya_rezultativ_VNU_im_L.U._red.pdf))

Рекомендовані платформи для проходження навчання у неформальній освіті:

Prometheus + <https://prometheus.org.ua/>

Всеосвіта <https://vseosvita.ua/webinar>

Coursera <https://coursera.org>

За умови підтвердження, що зміст майстер-класів (семінарів, курсів тощо) відповідає темам курсу, сертифікати участі в них (або інші підтверджуючі документи) будуть достатньою підставою для зарахування відповідних тем.

**Дуальна освіта при викладанні дисципліни.** За умови, якщо студент виконує навчальний план за дуальною формою здобуття професійної освіти, йому може бути зарахована тема або модуль відповідно до Положення про підготовку здобувачів освіти у Волинському національному університеті імені Лесі Українки з використанням елементів дуальної форми здобуття освіти ([https://ed.vnu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/08/2022\\_Polozhennya\\_pro\\_dualnu\\_oshvitu\\_red.pdf](https://ed.vnu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/08/2022_Polozhennya_pro_dualnu_oshvitu_red.pdf)).

**Політика щодо дедлайнів та перескладання:** роботи, які здаються із порушенням термінів без поважних причин, оцінюються на нижчу оцінку (з кожної теми віднімається 0,5 балів від отриманого).

## **V. Підсумковий контроль**



Підсумковий контроль – екзамен. Оцінювання знань студентів здійснюється за результатами поточного й модульного контролю. При цьому завдання із цих видів контролю оцінюються в діапазоні від 0 до 100 балів включно.

У випадку незадовільної підсумкової оцінки, або за бажання підвищити рейтинг, студент складає екзамен у письмовій формі. При цьому на екзамен вноситься 60 балів, а бали, набрані за результатами модульних контрольних робіт, анулюються. Для отримання оцінки потрібно набрати певну кількість балів згідно шкали оцінювання.

### **Орієнтовні питання до іспиту**

Предмет математичного моделювання. Основні поняття математичного моделювання в біології. Історія розвитку математичного моделювання. Сучасний стан методів математичного моделювання в біології. Програмні засоби математичного моделювання в біології. Визначення поняття системи. Властивості систем. Типи систем. Біологічні системи. Системний аналіз 1. Виділення компонентів системи. Системний аналіз 2. Зв'язки між компонентами системи. Системний аналіз 3. Зв'язки системи із зовнішнім середовищем. Визначення мети математичного моделювання. Основні вимоги до математичного моделювання. Особливості моделювання біологічних явищ. Поняття математичної моделі. Прямі та зворотні класи завдань, пов'язані із моделями. Класифікація математичних моделей. Етапи створення математичної моделі. Приклади моделей біологічних явищ.

Історія виникнення диференційного числення. Звичайні диференційні рівняння. Визначення динаміки системи. Рівноважні стани. Моделювання біохімічних процесів за допомогою диференційних рівнянь. Моделювання популяційних процесів за допомогою диференційних рівнянь. Типові динамічні моделі в біології. Модель Лоткі-Вольтерра. Поняття емпіричної моделі. Типи статистичних розподілів. Біологічні процеси, які характеризуються різними розподілами ймовірностей. Центральна гранична теорема, закон великих чисел. Поняття регресії. Лінійна регресія. Моделювання біологічних явищ за допомогою лінійної регресії. Нелінійна регресія. Моделювання біологічних явищ за допомогою нелінійної регресії. Програмні засоби для створення емпіричних моделей.

Поняття машинного навчання. Програмне забезпечення з машинного навчання. Лінійний дискримінантний аналіз – концепція, застосування. Штучні нейронні мережі, будова, класифікація. Концепція глибоких нейронних мереж. Теорема Байєса. Прості байєсові моделі. Складні байєсові моделі. Регресійний аналіз біологічних даних на основі нейронних сіток, лінійного дискримінантного аналізу, баєсових моделей. Класифікація біологічних та медичних даних на основі нейронних мереж, лінійного дискримінантного аналізу, баєсових моделей. Дерева прийняття рішень – концепція, застосування. Типи дерев прийняття рішень. Випадковий ліс. Застосування дерев прийняття рішень для завдань класифікації та регресійного аналізу біологічних даних. Концепція машин опорних векторів, застосування для завдань регресійного аналізу та класифікації біологічних даних. Метод k-найближчих сусідів у задачах класифікації біологічних даних. Метод k-середніх у задачах класифікації біологічних даних.

Історія розвитку теорії клітинних автоматів. Типи клітинних автоматів. Основні властивості. Поняття про агент-орієнтовні моделі. Програмне забезпечення для моделювання на основі клітинних автоматів. Моделювання морфогенезу та популяційних процесів за допомогою клітинних автоматів. Концепція випадкових блукань. Типи випадкових блукань, основні властивості. Випадкові блукання із запам'ятовуванням попереднього стану (еволюційні). Випадкові блукання без запам'ятовування попереднього стану. Використання випадкових блукань для моделювання біологічних явищ. Візуалізація даних, отриманих на основі випадкових блукань. Марківські ланцюги, основні поняття. Приховані марківські моделі. Марківські моделі та теорія інформації. Застосування марківських моделей у

біоінформації. Застосування марківських моделей у інших галузях біології. Програмне забезпечення для розробки марківських моделей

## VI. Шкала оцінювання

### Критерії оцінювання під час аудиторних занять

Кількість балів	Критерії оцінювання навчальних досягнень
4 бали	Оцінюється відповідь здобувача освіти, який у повному обсязі володіє навчальним матеріалом, вільно, самостійно та аргументовано його викладає, глибоко та всебічно розкриває зміст теоретичних запитань та практичних завдань, використовуючи при цьому обов'язкову та додаткову літературу, вільно послуговується науковою термінологією, наводить аргументи на підтвердження власних думок, здійснює аналіз та робить висновки.
3 бали	Оцінюється відповідь здобувача освіти, який достатньо повно володіє навчальним матеріалом, обґрунтовано його викладає, в основному розкриває зміст теоретичних запитань та практичних завдань, використовуючи при цьому обов'язкову літературу, послуговується науковою термінологією. Але при висвітленні деяких питань не вистачає достатньої глибини та аргументації, допускаються при цьому окремі неістотні неточності та незначні помилки.
2 бали	Оцінюється відповідь здобувача освіти, який відтворює значну частину навчального матеріалу, висвітлює його основний зміст, виявляє елементарні знання окремих положень. Не здатний до глибокого, всебічного аналізу, обґрунтування та аргументації, не користується необхідною літературою, допускає істотні неточності та помилки.
1 бал	Оцінюється відповідь здобувача освіти, який відтворює незначну частину навчального матеріалу, висвітлює деякі елементи основного змісту, виявляє елементарні знання окремих положень.
0 балів	Оцінюється відповідь здобувача освіти, який не володіє навчальним матеріалом та не в змозі його висвітлити, не розуміє змісту теоретичних питань та практичних завдань.

Таблиця 4

### Шкала оцінювання знань здобувачів освіти

Оцінка в балах	Лінгвістична оцінка	Оцінка за шкалою ECTS	
		оцінка	пояснення
90–100	Відмінно	A	відмінне виконання
82–89	Дуже добре	B	вище середнього рівня
75–81	Добре	C	загалом хороша робота
67–74	Задовільно	D	непогано

60–66	Достатньо	Е	виконання відповідає мінімальним критеріям
1–59	Незадовільно	Fx	необхідне перескладання

## VII. Рекомендована література та інтернет-ресурси

1. Бондаренко Т.І. Основи медичної інформатики. Практикум: навчальний посібник / Т.І. Бондаренко. — К. : ВСВ «Медицина», 2018. — 128 с.
2. Булах І.Є. Медична інформатика в модулях. К.: Медицина, 2009 р. — 208 с.
3. Горобець С.В., Горобець О.Ю., Хоменко Т.А. Основи біоінформатики. – Київ, НТУУ КПІ. – 2010. – 156 с. Режим відкритого доступу: <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/774/1/10-11-146.pdf>
4. Кузнецов І.П. Біокібернетика : практикум / уклад. І. Я. Коцан, І. П. Кузнецов ; Волинський національний університет імені Лесі Українки, біологічний факультет, кафедра фізіології людини і тварин. – Луцьк, 2011. – 32 с.
5. Кузнецов І. П., Качинська Т. В. Лабораторний практикум з нейроінформатики / Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки, медико-біологічний факультет, кафедра фізіології людини і тварин. – Луцьк, 2020. – 92 с.
6. Мислити моделями (укр. субтитри) <https://ru.coursera.org/learn/model-thinking>
7. Системне мислення в громадській охороні здоров'я (укр. субтитри) : <https://ru.coursera.org/learn/systems-thinking>
8. Wertelecki W. Incorporated levels of cesium-137 in pregnant women and prevalence rates of neural tube defects and microcephaly / W. W. W. Wertelecki, W., Yevtushok, L., Kuznietsov, I., Komov, O., Lapchenko, S., Akhmedzanova, D., & Ostaruchuk, L. // Reproductive Toxicology, 80, P. 33-35.
9. W. W. Wertelecki. Chornobyl, radiation, neural tube defects, and microcephaly / W. W. Wertelecki et al.// Eur J Med Genet. –2018. – Vol. 61, № 9. – P. 556-563.