

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Львівський національний університет імені Івана Франка  
Біологічний факультет  
Кафедра генетики та біотехнології

Затверджено  
на засіданні кафедри генетики та біотехнології  
протокол № 5 від 04 березня 2025 р.

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_  
проф. Віктор ФЕДОРЕНКО

Силабус з навчальної дисципліни  
**«Редагування геномів і медицина майбутнього»**  
що викладається в межах ОПП «Біотехнології та біоінженерія»  
другого (магістерського) рівня вищої освіти для здобувачів  
за предметною спеціальністю 162 Біотехнології та біоінженерія

Львів 2025

<b>Назва курсу</b>	Редагування геномів і медицина майбутнього
<b>Адреса викладання курсу</b>	вул. Грушевського 4, 79005 Львів
<b>Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна</b>	біологічний факультет, кафедра генетики і біотехнології
<b>Галузь знань, шифр та назва спеціальності</b>	16 Хімічна інженерія та біоінженерія 162 Біотехнології та біоінженерія
<b>Викладачі курсу</b>	Доцент кафедри генетики і біотехнології, к.б.н Наталія ГОЛУБ
<b>Контактна інформація викладачів</b>	<a href="mailto:natalieholub@gmail.com">natalieholub@gmail.com</a> ; <a href="mailto:nataliia.holub@lnu.edu.ua">nataliia.holub@lnu.edu.ua</a>
<b>Консультації по курсу відбуваються</b>	Консультації в день проведення лекцій та практичних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі он-лайн консультації на платформі ZOOM.
<b>Сторінка курсу</b>	
<b>Інформація про курс</b>	Дисципліна «Редагування геномів і медицина майбутнього» є вибірковою дисципліною для магістрів за спеціальністю 162 Біотехнології та біоінженерія, яка викладається в III семестрі в обсязі 4 кредити (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS), з яких 32 год. лекцій, 16 год. практичних занять та 72 години самостійної роботи. Форм контролю – залік.
<b>Коротка анотація курсу</b>	Людство вступило в безпрецедентну еру швидких технологічних змін, де розробки в таких сферах як інформатика, штучний інтелект (ШІ), гена інженерія, нейрогенетика, робототехніка керуватимуть майбутнім у медицині. Появилися перші компанії, які об'єднали можливості штучного інтелекту і біотехнології. Ці компанії націлені на розробку ліків з використанням новітніх ідей обох цих галузей, створюючи новітню базу для фармацевтичної промисловості. Об'єднання ШІ та біотехнології у нову науку матиме глибокий вплив на розвиток діагностики, медицини та нефармацевтичного втручання у лікуванні хронічних захворювань і ментального здоров'я. Дисципліна « <b>Редагування геномів і медицина майбутнього</b> присвячена вивченню сучасних методів редагування геномів, їхньому застосуванню в медичній практиці та перспективним напрямкам розвитку медицини майбутнього. Студенти отримають знання про принципи роботи таких ключових технологій, як CRISPR-Cas, TALEN та ZFN, їхню ефективність, безпеку та етичні аспекти. Особлива увага приділяється інтеграції цих технологій з

	штучним інтелектом для створення персоналізованих та високоефективних терапевтичних стратегій.
<b>Мета та цілі курсу</b>	Метою викладання навчальної дисципліни “Редагування геномів та медицина майбутнього” є формування у магістрів-біотехнологів глибоких теоретичних знань та практичних навичок у галузі геномного редагування та його застосування для лікування захворювань, а також розуміння ролі штучного інтелекту у біотехнологічних дослідженнях, фармацевтиці, діагностиці захворювань, редагуванні геномів.
<b>Література для вивчення дисципліни</b>	<p><b>Основна література:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Методи машинного навчання при проєктуванні автоматизованих систем керування [Електронний ресурс] : навч. посіб. для аспірантів спеціальності 151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» / Укладач: Т. Г. Баган; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Електронні текстові дані (1 файл: 313 кБайт). Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 28 с.</li> <li>2. Кононова К. Ю. Машинне навчання: методи та моделі: підручник для бакалаврів, магістрів та докторів філософії спеціальності 051 «Економіка». Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2020. 301 с.</li> <li>3. Штовба С.Д., Козачко О.М. Machine learning: стартовий курс : електронний навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2020. 81 с.</li> <li>4. Adami C. The Evolution of Biological Information. How evolution creates complexity, from viruses to brains. – Princeton University Press, 2024 - 585 p.</li> <li>5. Aljabali A., Tanani M., Tambuwala M. Principles of CRISPR-Cas9 technology: Advancements in genome editing and emerging trends in drug delivery // Journal of Drug Delivery Science and Technology. -2024. – Vol. 92. <a href="https://doi.org/10.1016/j.jddst.2024.105338">https://doi.org/10.1016/j.jddst.2024.105338</a></li> <li>6. Coley C.W., Barzilay R., Jaakkola T.S., Green W.H., Jensen K.F. Prediction of Organic Reaction Outcomes Using Machine Learning // ACS Cent. Sci. – 2017. - May 24;3(5). – P. 434–443.</li> <li>7. Ethical Issues in AI for Bioinformatics and Chemoinformatics / Ed. by Pathak Y., Saikia S., Pathak S., Patel J., Prajapati j. - CRC Press, Taylor &amp; Francis Group, LLC, 2024. – 224 p.</li> <li>8. Folding@home [Internet]. Available from: <a href="https://foldingathome.org/">https://foldingathome.org/</a></li> <li>9. Frenzel A., Schirrmann T., Hust M. Phage display-derived human antibodies in clinical development and therapy // MAbs. -2016. – Vol.14;8(7). – P.1177–1194.</li> <li>10. Hilbush B. In Silico Dreams. How Artificial Intelligence and Biotechnology Will Create the Medicines of the Future. - Hoboken, New Jersey: John Wiley &amp; Sons, Inc., 2021. – 350 p.</li> </ol>

11. Lowe D. AI and Drug Discovery: Attacking the Right Problems. In the Pipeline. 2021. Available from: <https://blogs.sciencemag.org/pipeline/archives/2021/03/19/ai-and-drug-discovery-attacking-the-right-problems>.

12. Narayanan H., Dingfelder F., Lorenzen N., Sokolov M., Arosio P. Machine Learning for Biologics: Opportunities for Protein Engineering, Developability, and Formulation // Trends Pharmacol. Sci. – 2021. - Mar;42(3). – P. 151–165.

13. Protein Data Bank [Internet]. Available from: <https://www.rcsb.org/3d-view/6VSB/1>

14. Schwessinger R, Gosden M, Downes D, Brown RC, Oudelaar AM, Telenius J, et al. DeepC: predicting 3D genome folding using megabase-scale transfer learning // Nature Methods. – 2020. - Nov;17(11). -P. 1118–1124.

15. Senior AW, Evans R, Jumper J, Kirkpatrick J, Sifre L, Green T, et al. Improved protein structure prediction using potentials from deep learning // Nature. - 2020 --/ Jan;577(7792). – P. 706–710.

#### **Додаткова література:**

1. Дудна Дж. Зламати ДНК. Редагування генома та контроль над еволюцією / пер. з англ. Литвиненко Г. / Дж. Дудна, С. Стернберг / - Київ: Наш формат, 2019. – 291 с.

2. Останні наукові статті з журналів Nature, Science, Cell, New England Journal of Medicine, The Lancet, Molecular Therapy, Nature Biotechnology, CRISPR Journal, Nature Methods, Nucleic Acids Researches. Nature Medicine.

3. The AlphaFold Team. AlphaFold: a solution to a 50-year-old grand challenge in biology. 2020. Available from: <https://deepmind.com/blog/article/alphafold-a-solution-to-a-50-year-old-grand-challenge-in-biology>

#### **Інформаційні ресурси**

1. <https://genomebiology.biomedcentral.com/>

2. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>

3. <https://www.frontiersin.org/journals/genome-editing>

4. <https://www.journals.elsevier.com/gene-and-genome-editing/>

5. <https://home.liebertpub.com/publications/genetic-engineering-and-biotechnology-news>

6. <https://home.liebertpub.com/publications/the-crispr-journal>

7. <http://specials.kunsht.com.ua/machinelearning1>

8. <http://specials.kunsht.com.ua/machinelearning2>

9. <https://evergreens.com.ua/ru/articles/machine-learning-overview.html>

10. <https://uk.education-wiki.com/4127994-machine-learning-methods#menu-1>

	11. <a href="https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/machine-learning">https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/machine-learning</a>
<b>Тривалість курсу</b>	8 тижнів
<b>Обсяг курсу</b>	120 годин, з яких 48 години аудиторних занять, з них 32 години лекцій, 16 годин практичних занять та 72 години самостійної роботи
<b>Очікувані результати навчання</b>	<p>Після завершення цього курсу студент буде :</p> <p><b>знати:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— різницю між штучним інтелектом (ШІ) і нейромережами, навчання нейромереж;</li> <li>— як використовувати нейромережі у біології та медицині;</li> <li>— сучасні інструменти та технології редагування геномів;</li> <li>— принципи розробки РНК та ДНК вакцин;</li> <li>— роль ШІ у діагностиці захворювань ;</li> <li>— значення віртуального скринінгу у створенні нових ліків;</li> <li>— етапи тестування потенційних лікарських препаратів;</li> <li>— значення ШІ у моделюванні процесів у мозку;</li> <li>— етичні проблеми застосування ШІ в охороні здоров'я;</li> <li>— напрямки і застосування медичної робототехніки.</li> </ul> <p><b>вміти:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— використовувати набуті знання на практиці.</li> </ul>
<b>Ключові слова</b>	Редагування геномів, штучний інтелект, нейромережа, CRISPR-cas система.
<b>Формат курсу</b>	Очний, дистанційний
	Проведення лекцій, семінарських занять та консультації для кращого розуміння тем
<b>Теми</b>	Наведено у табл.1
<b>Підсумковий контроль, форма</b>	залік
<b>Пререквізити</b>	Для вивчення курсу студенти потребують базових знань з генетики, вірусології, біотехнології, молекулярної біології, біоінформатики, достатніх для сприйняття категоріального апарату.
<b>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</b>	Лекції з використанням мультимедійних презентацій, пояснення, семінарські та практичні заняття, дискусії та дебати, аналіз наукових статей та оглядів, самостійна робота студентів (підготовка презентацій та доповідей).
<b>Необхідне обладнання</b>	Комп'ютер із необхідним програмним забезпеченням, доступ до Internet мережі, проектор.

<b>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</b>	Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням: <ul style="list-style-type: none"> <li>• практичні/самостійні тощо: 50% семестрової оцінки: підготовка презентації та виступ з доповіддю на задану тему - 26 балів; участь у роботі семінарів – 24 бали.</li> <li>• контрольні заміри (модуль): 50% семестрової оцінки: вирішення тестів – 25 тестів по 2 бали, максимальна кількість балів 50.</li> </ul> <b>Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</b>
<b>Питання для замірів знань</b>	Модульні завдання містять питання наступних тем: <ul style="list-style-type: none"> <li>— основи геномного редагування;</li> <li>— ера штучного інтелекту. Нейромережі;</li> <li>— редагування геномів у медицині майбутнього;</li> <li>— фармакогеоміка;</li> <li>— роль штучного інтелекту у медицині майбутнього та геномній медицині;</li> <li>— роль ШІ у розробці і впровадження нових ліків;</li> <li>— біотехнологія, ШІ і медицина майбутнього;</li> <li>— ШІ і етика: виклики і можливості.</li> </ul>
<b>Опитування</b>	

**Таблиця 1**

**Схема курсу «Редагування геномів і медицина майбутнього»**

Тиж-день	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Додаткова література / ресурс для виконання завдань (за потреби)	Термін виконання
1	<b>Основи геномного редагування.</b> Поява структурної біологія і геноміки. Секвенування геному людини і його використання. ОМІС технології. Огляд основних технологій геномного редагування: ZFN (Zinc Finger Nucleases) та TALEN (Transcription Activator-like Effector	Лекції – 4 год, практичні заняття – 2 год, самостійна робота – 8 год		1 тиждень

	<p>Nucleases) – принципи роботи та застосування.</p> <p>Біотехнологічні інструменти другого покоління: CRISPR-Cas9. Класифікація CRISPR-Cas систем. Загальний принцип дії CRISPR/Cas9 системи. Проблеми та обмеження технологій CRISPR-Cas9.</p>			
2	<p><b>Ера штучного інтелекту. Нейромережі.</b></p> <p>Поняття «штучного інтелекту». Від нейронів до нейромереж. Архітектура нейромереж. Поняття «машинного навчання». Глибинне навчання у ШІ. Обмеження ШІ. Приклади використання нейромереж..</p>	<p>Лекції – 4 год, практичні заняття – 2 год, самостійна робота – 8 год</p>		1 тиждень
3	<p><b>Фармакогеноміка.</b></p> <p>Ліки і війна – нові медичні препарати у 21 столітті. Модель фармацевтичного бізнесу у 21 ст. Джерела фармацевтичних інновацій. Фази клінічних випробувань. Клінічні випробування редагування геному людини.</p>	<p>Лекції – 4 год, практ. заняття – 2 год, самостійна робота – 8 год</p>		1 тиждень
4	<p><b>Редагування геномів у медицині майбутнього.</b></p> <p>Геномне редагування в лікуванні генетичних захворювань (муковісцидоз, хвороба Гентінгтона тощо), в онкології (CAR-T терапія, редагування пухлинних клітин), для боротьби з інфекційними захворюваннями (ВІЛ, герпес).</p> <p>Персоналізована медицина та фармакогеноміка: як</p>	<p>Лекції – 4 год, практ. заняття – 2 год, самостійна робота – 12 год</p>		1 тиждень

	<p>геномне редагування формує індивідуальні підходи до лікування.</p> <p>Геномне редагування для покращення людини (human enhancement): концепції та дискусії.</p>			
5	<p><b>Роль штучного інтелекту у медицині майбутнього та геномній медицині.</b> ШІ як інструмент для дизайну оптимальних гідових РНК та Cas-систем.</p> <p>ШІ у прогнозуванні off-target ефектів та підвищенні точності геномного редагування.</p> <p>Використання ШІ для аналізу великих обсягів геномних даних та виявлення потенційних терапевтичних мішеней.</p> <p>ШІ у розробці індивідуальних планів лікування та персоналізованої медицини.</p> <p>Автоматизація експериментів та аналізу результатів за допомогою ШІ у лабораторіях геномного редагування.</p> <p>Прогнозування ефективності та безпеки нових терапій на основі геномного редагування за допомогою ШІ.</p> <p>Етичні питання використання ШІ у прийнятті медичних рішень.</p>	<p>Лекції – 4 год,          практ. заняття – 2 год,          самостійна робота – 12 год</p>		<p>1          тиждень</p>
6	<p><b>Роль ШІ у розробці і впровадження нових ліків.</b></p> <p><i>In silico</i> методи у віртуальному скринінгу за</p>	<p>Лекції – 4 год,          практ. заняття – 2 год,          самостійна робота – 8 год</p>		<p>1          тиждень</p>

	<p>допомогою хемоінформатики. QSAR, QSPR і SAR аналізи. Роль ШІ у комп'ютерному дизайні ліків. Віртуальні бібліотеки сполук. Інструменти віртуального скринінгу на основі ШІ. Моделі для de novo дизайну ліків.</p>			
7	<p><b>Біотехнологія, ШІ і медицина майбутнього.</b> Інструменти для розшифрування молекулярних структур і біологічних систем. AlphaFold: прогнозування структури білків. Прогнозування 3D організації геному і регуляторних елементів. Підходи у ШІ для пов'язування генетичних змін і захворювань.</p>	<p>Лекції – 4 год, практ. заняття – 2 год, самостійна робота – 8 год</p>		<p>1 тиждень</p>
8	<p><b>ШІ і етика: виклики і можливості.</b> Етичні дилеми геномного редагування: редагування статевих клітин, редагування зародкової лінії. Регуляторні рамки та законодавство у галузі геномного редагування в різних країнах.</p>	<p>Лекції – 4 год, практ. заняття – 2 год, самостійна робота – 8 год</p>		<p>1 тиждень</p>

### Питання для обговорення на семінарах:

1. Порівняйте та протиставте можливості та обмеження технологій ZFN та TALEN у порівнянні з CRISPR-Cas. Чому саме CRISPR-Cas викликав таку революцію в біотехнології? Розгляньте гіпотетичний випадок генетичного захворювання. Які кроки потрібно зробити для визначення потенційної мішені для геномного редагування? Чи виправдане використання геномного редагування для лікування рідкісних, але невиліковних захворювань, якщо існують ризики неочікуваних побічних ефектів?

2. Які основні виклики пов'язані з доставкою CRISPR-Cas систем до різних типів клітин і тканин *in vivo*? Які підходи є найперспективнішими? Як ви вважаєте, які модифікації CRISPR-Cas систем (наприклад, Base Editors, Prime Editors) мають найбільший потенціал для клінічного застосування і чому? Чи повинні вчені мати можливість патентувати CRISPR-Cas технології? Обговоріть аргументи "за" та "проти" з погляду інновацій, доступності та етики.

3. Як геномне редагування, у поєднанні з іншими "оміксними" даними, може повністю змінити підхід до лікування раку або аутоімунних захворювань? Наведіть конкретні приклади. Яким чином доступність технологій геномного редагування може вплинути на соціальну рівність та доступ до медичних послуг? Чи є ризик поглиблення "генетичної" нерівності? Уявіть 2100 рік. Які хвороби, на вашу думку, будуть лікуватися за допомогою геномного редагування? Чи будуть і які "покращення" людини (human enhancement) доступні?

4. На вашу думку, чи є фундаментальна різниця між редагуванням соматичних клітин та редагуванням зародкової лінії/ембріона? Якщо так, то де проходить межа дозволеного? Штучний інтелект може допомогти у виборі найкращих стратегій геномного редагування. Але чи повинні ми довіряти ШІ прийняття остаточних рішень щодо генетичних втручань у людину? Які етичні ризики існують? Як потенційні упередження (bias) у великих даних, що використовуються для навчання ШІ, можуть впливати на його рекомендації щодо геномного редагування, і як цього можна уникнути.

5. У майбутньому ШІ може стати активним учасником наукових відкриттів у галузі геномного редагування. Як це змінить ландшафт досліджень, патентування та авторства?

Автор

Наталія ГОЛУБ

"Погоджено"

Голова методичної ради  
біологічного факультету

Віталій ГОНЧАРЕНКО

"10" лютого 2025 р.

Гарант ОПП «Біотехнології та біоінженерія»  
Богдан ОСТАШ

"29" VIII 2025 р.