

Національна академія наук України
Інститут молекулярної біології і генетики
Українське товариство генетиків і селекціонерів
ім. М.І. Вавилова

ФАКТОРИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ ЕВОЛЮЦІЇ ОРГАНІЗМІВ

FACTORS IN EXPERIMENTAL EVOLUTION OF ORGANISMS

Збірник наукових праць

Видається з 2003 р.

ТОМ 36

Присвячено

120-річчю від дня народження Ервіна Чаргаффа

Київ – 2025

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головний редактор **В.А. Кунах** (Київ)
Заступник головного редактора **Н.М. Дробик** (Тернопіль)

І.В. Азізов (Баку, Азербайджан)	Д. Грауда (Рига, Латвія)	І.І. Панчук (Чернівці)
І.О. Андрєєв (Київ)	Г.В. Єльська (Київ)	І.Д. Рашаль (Рига, Латвія)
А. Атанасов (Софія, Болгарія)	А.І. Ємець (Київ)	Т.М. Сатарова (Дніпро)
Я.Б. Блюм (Київ)	І.С. Карпова (Київ)	А.В. Сиволоб (Київ)
Д.Г. Буткаускас (Вільнюс, Литва)	С.І. Ковтун (Київська обл.)	В.А. Сідоров (Україна, США)
Ю.В. Вагін (Київ)	В.А. Кордюм (Київ)	М.А. Тукало (Київ)
Ю.Ю. Глеба (Україна, ФРН)	Л.А. Лівшиць (Київ)	Г. Федак (Оттава, Канада)
А.В. Голубенко (Київ)	Л.Л. Лукаш (Київ)	М. Шандор (Мошонмадяровар, Угорщина)
		Р.А. Якимчук (Черкаська обл.)

Відповідальний секретар **М.З. Прокоп'як**

Адреса редакції:

Інститут молекулярної біології і генетики НАНУ, вул. Акад. Заболотного, 150, Київ, 03680
e-mail: kunakh@imbg.org.ua, <http://www.utgis.org.ua>

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief **V.A Kunakh** (Kyiv)
Deputy editor **N.M. Drobyk** (Ternopil)

I.O. Andreev (Kyiv)	D. Grauda (Riga, Latvia)	I.D. Rashal (Riga, Latvia)
A. Atanasov (Sofia, Bulgaria)	A.V. Holubenko (Kyiv)	M. Sándor (Mosonmagyaróvár, Hungary)
I.V. Azizov (Baku, Azerbaijan)	I.S. Karpova (Kyiv)	T.M. Satarova (Dnipro)
Ya.B. Blume (Kyiv)	V.A. Kordium (Kyiv)	V.A. Sidorov (Ukraine, USA)
D.G. Butkauskas (Vilnius, Lithuania)	S.I. Kovtun (Kyiv region)	A.V. Syvolob (Kyiv)
A.V. El'ska (Kyiv)	L.A. Livshyts' (Kyiv)	M.A. Tukalo (Kyiv)
G. Fedak (Ottawa, Canada)	L.L. Lukash (Kyiv)	Yu.V. Vagin (Kyiv)
Yu.Yu. Gleba (Ukraine, FRG)	I.I. Panchuk (Chernivtsi)	R.A. Yakymchuk (Cherkasy region)
		A.I. Yemets (Kyiv)

Responsible secretary **M.Z. Prokopiak**

Editorial office address:

Institute of Molecular Biology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine,
150, Zabolotnogo St., Kyiv, 03680
e-mail: kunakh@imbg.org.ua, <http://www.utgis.org.ua>

Збірник наукових праць включено до переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук у галузі біологічних наук (біологічні спеціальності – 091, Категорія «Б», Наказ Міністерства освіти і науки України № 409 від 17.03.2020)

Свідectво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
серія KB № 20936-10736ПР від 29.08.2014

Ф 18 **Фактори експериментальної еволюції організмів:** зб. наук. пр. / Національна академія наук України, Інститут молекулярної біології і генетики, Укр. т-во генетиків і селекціонерів ім. М.І. Вавилова; редкол.: В.А. Кунах (голов. ред.) [та ін.]. – К.: Укр. т-во генетиків і селекціонерів ім. М.І. Вавилова, 2025. Т. 36. 210 с. ISSN 2415-3826 (Online), ISSN 2219-3782 (Print)

УДК 575.8+631.52+60](082)

©Українське товариство генетиків
і селекціонерів ім. М.І. Вавилова

ФАКТОРИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ ЕВОЛЮЦІЇ ОРГАНІЗМІВ

ТОМ 36
2025

FACTORS IN EXPERIMENTAL EVOLUTION OF ORGANISMS

ЗМІСТ

CONTENTS

Від головного редактора

7 *From the chief editor's desk*

Кунах В. А. З нагоди проведення XX Міжнародної наукової конференції «Фактори експериментальної еволюції організмів», асоційованої із XI з'їздом Українського товариства генетиків і селекціонерів імені М. І. Вавилова

Kunakh V. A. On the occasion of the joint XX International Scientific Conference "Factors in experimental evolution of organisms" and XI congress of the Vavilov Society of Geneticists and Breeders of Ukraine

Чень І. Б., Гуменюк Г. Б. Видатний науковець Ервін Чаргафф (до 120-річчя від дня народження)

13 *Chen I. B., Humeniuk H. B. Outstanding scientist Erwin Chargaff (dedicated to the 120th birth anniversary)*

ЗАГАЛЬНА І ПОПУЛЯЦІЙНА ГЕНЕТИКА

GENERAL AND POPULATION GENETICS

Пацюк М. К., Севастьянова І. Ю. Фенотиповий поліморфізм конюшини повзучої (*Trifolium repens* L.)

17 *Patsyuk M. K., Sevastyanova I. Yu. Phenotypic polymorphism of *Trifolium repens* L.*

Торяник В. М. Популяційна структура *Harmonia axiridis* (Pallas, 1773) за кольором надкрил у південно-західній частині Сумської області

23 *Torianyk V. M. Structure of population *Harmonia axiridis* (Pallas, 1773) by the southwestern part of the Sumy region*

Шуба В. В., Горпинченко М. Ю., Атраментова Л. О. Характеристика популяцій Київської області за даними прізвищ

28 *Shuba V. V., Gorpynchenko M. Yu., Atramentova L. O. Characterization of populations in the Kyiv region based on surname data*

МОЛЕКУЛЯРНА ГЕНЕТИКА ТА ГЕНОМІКА

MOLECULAR GENETICS AND GENOMICS

Андрєєв І. О., Мельник В. М., Кунах В. А. Повногеномний аналіз генів 5S рибосомних РНК *Gentiana macrophylla* Pall.

33 *Andreev I. O., Mel'nyk V. M., Kunakh V. A. Genome wide analysis of 5S ribosomal RNA genes in *Gentiana macrophylla* Pall.*

ЧЕНЬ І. Б., ГУМЕНЮК Г. Б. ✉

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка,
Україна, 46027, м. Тернопіль, вул. М. Кривоноса, 2, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8208-2000>;
<https://orcid.org/0000-0002-7423-9968>

✉ gumenjuk@chem-bio.com.ua

ВИДАТНИЙ НАУКОВЕЦЬ ЕРВІН ЧАРГАФФ (ДО 120-РІЧЧЯ ВІД ДНЯ НАРОДЖЕННЯ)

Стаття присвячена всебічному аналізу життя, наукової діяльності та інтелектуальної спадщини Ервіна Чаргаффа (1905–2002 рр.) — одного з найвпливовіших біохіміків XX століття, уродженця міста Чернівці. У роботі представлено детальну біографічну довідку, що охоплює ранні роки життя в Австро-Угорщині, освіту у Віденському університеті, еміграцію до США та подальшу наукову кар'єру в Європі та Америці. Особливу увагу приділено відкриттю Е. Чаргаффом кількісних закономірностей у структурі ДНК (відомих як правило Чаргаффа), які стали ключовим внеском у розвиток молекулярної біології та передували відкриттю подвійної спіралі ДНК. Розглянуто наукові підходи, методики та експериментальні дослідження вченого, зокрема його роботу в Колумбійському університеті та внесок у розвиток біохімії нуклеїнових кислот. Описано також громадянську позицію Ервіна Чаргаффа, його критичне ставлення до надмірної технократизації науки, генетичної інженерії та етичних ризиків біомедицини. У статті наголошено на широкому міжнародному визнанні науковця: членстві в академіях наук різних країн, престижних нагородах, почесних званнях та вшануванні його пам'яті в Україні й за кордоном. Підкреслено зв'язок Чаргаффа з Україною та його духовне повернення на батьківщину в останні роки життя. Подано інформацію про встановлення меморіальної дошки на будинку в Чернівцях, де він народився, а також про його листування з науковцями України у період її незалежності. Стаття має на меті вшанування пам'яті вченого та популяризацію його спадщини.

Ключові слова: ДНК, аденін, тимін, цитозин, гуанін, гідроліз, хроматографія, нуклеїнові кислоти.

Ервін Чаргафф народився 11 серпня 1905 року в Чернівцях (тоді Австро-Угорщина) у заможній єврейській родині Германа Чаргаффа

(власника невеликого банку) та Рози Сільберштейн. Він закінчив середню школу в Максиміліанській гімназії у м. Відень та вступив до Віденського університету у 1923 році [1]. В університеті Е. Чаргафф вирішив вивчати хімію, хоча ніколи раніше не мав справи з цим предметом. Тим не менш, з цієї науки він здобув докторський ступінь у 1928 році. Його дисертація, написана під керівництвом Фріца Файгля, стосувалася дослідження комплексів срібла.

Через брак дослідницьких посад в Австрії Е. Чаргафф у 1928 році вирушив до США як дослідницький стипендіат Мілтона Кемпбелла в Єльському університеті. Проте Америка йому сподобалася, і він залишився там на два роки, працюючи з Р. Дж. Андерсоном над дослідженням туберкульозної палички та іншими кислотостійкими мікроорганізмами.

Улітку 1930 року Е. Чаргафф повернувся до Європи та був призначений асистентом у бактеріологічному відділі Берлінського університету. Його дослідження охоплювали різні теми, зокрема ліпіди палички Кальметта–Герена та детальне вивчення жирових і фосфатидних фракцій дифтерійних бактерій. Однак із приходом в Німеччині Гітлера до влади Е. Чаргафф вирішив покинути країну. У 1933 році він переїхав до Інституту Пастера в Парижі, де працював над бактеріальними пігментами та полісахаридами.

У 1935 році він знову переїхав до США, де став асистентом професора кафедри біохімії в Колумбійському університеті. Через сімнадцять років він став професором, а з 1970 до 1974 року очолював кафедру біохімії. Після цього отримав звання почесного професора.

У 1944 році Е. Чаргафф прочитав звіт Освальда Евері, в якому йшлося про те, що генетичні одиниці – гени – складаються з ДНК [2]. Це справило на нього величезне враження. Він згадував: «Ейвері дав нам перший текст нової мови або, радше, показав, де його шукати. Я

© ЧЕНЬ І. Б., ГУМЕНЮК Г. Б.

вирішив знайти цей текст. Тож ми або завершили наші попередні дослідження, або повністю припинили їх» [3]. Так розпочалася наукова робота Е. Чаргаффа над хімією нуклеїнових кислот. Він почав із припущення, що якщо ДНК різних видів виявляє різну біологічну активність, то мають існувати також хімічно визначувані відмінності між цими ДНК. Першим завданням було розробити метод аналізу азотистих основ і цукрів у складі ДНК різних видів. Оскільки добути великі кількості ДНК було складно, метод мав бути ефективним навіть для незначних кількостей зразків. Формування цієї методики тривало два роки і стало можливим завдяки кільком технологічним новаціям, зокрема впровадженню паперової хроматографії для розділення й ідентифікації мікроскопічних кількостей органічних речовин і застосуванню фотоелектричного ультрафіолетового спектрофотометра.

Стаття, в якій описується аналітичний метод Чаргаффа, була перевидана як класична публікація в журналі *Journal of Biological Chemistry (JBC)*. Його методика складалася з трьох етапів. Спочатку ДНК-суміш розділяли на окремі компоненти за допомогою паперової хроматографії. Потім розділені сполуки перетворювали на солі ртуті. І нарешті, пурини й піримідини ідентифікували за їхніми спектрами поглинання в ультрафіолетовому діапазоні. Е. Чаргафф протестував цей метод на кількох сумішах пуринів і піримідинів і опублікував обнадійливі результати у своїй класичній праці. В окремій статті, він використав свій метод для аналізу складу ДНК дріжджів і підшлункової залози [4].

Через місяць Е. Чаргафф подав ще дві статті до *JBC*, присвячені повному якісному аналізу кількох зразків ДНК. Перша була присвячена пуринам і піримідинам у ДНК тимусу теляти та селезінки великої рогатої худоби [5], друга – ДНК туберкульозної палички та дріжджів [6]. Хоча ці роботи згодом стали безцінними внесками у наше розуміння структури ДНК і генетичного коду, вони ледь не залишилися неопублікованими. «Варто згадати одну цікаву обставину, пов'язану з публікацією цих статей, адже вона яскраво свідчить про рівень невігластва щодо нуклеїнових кислот серед наукової еліти того часу», – писав Е. Чаргафф. «На той момент я вже опублікував близько 75 статей у журналі *Journal of Biological Chemistry*, і жодну з них мені не повертали редактори з проханням

про уточнення чи доопрацювання. Однак статті про склад ДНК повернули з досить абсурдним зауваженням.

Згодом Е. Чаргафф удосконалив свою початкову методику кількісного аналізу, запровадивши гідроліз мурашиною кислотою для одночасного вивільнення всіх азотистих сполук і використання УФ-лампи для візуалізації зон поглинання на фільтрувальному папері. Ці вдосконалення дали змогу швидко аналізувати ДНК зразки з різних біологічних видів. У підсумку Е. Чаргафф узагальнив свої висновки про хімію нуклеїнових кислот у великому огляді 1950 року [7].

Його дві ключові знахідки: у дволанцюговій ДНК кількість гуаніну дорівнює кількості цитозину, а кількість аденіну – кількості тиміну; склад ДНК відрізняється у різних видів – стали основою для подальшого розкриття структури ДНК та генетичного коду.

Ці результати стали відомими як правило Чаргаффа. Вони надали вагомі докази, необхідні для спростування панівної на той час тетрануклеотидної гіпотези. Ця гіпотеза, яку вперше висунув автор класичних публікацій *JBC* Фібус Левін (Phoebus Levene) [8], стверджувала, що ДНК складається з великої кількості повторюваних тетрамерів GACT, що, як виявилось, не відповідає дійсності. Дослідження Е. Чаргаффа також заклали наукове підґрунтя для відкриття подвійної спіралі ДНК Джеймсом Уотсоном і Френсісом Кріком [9].

Ервін Чаргафф, окрім свого вагомого внеску в біохімію, був глибоко мислячим гуманістом, який послідовно висловлював свою громадянську позицію щодо місця науки в суспільстві. У численних інтерв'ю та публіцистичних творах він критикував надмірну технократизацію науки, що, на його переконання, відривала дослідження від моральних засад та гуманістичних орієнтирів. Особливо гостро Е. Чаргафф ставився до розвитку генної інженерії, яка стрімко набирала обертів у 1970–1980-х роках. Він застерігав від необачного втручання людини в основи життя, підкреслюючи, що наукові відкриття, які не супроводжуються глибоким етичним осмисленням, можуть стати джерелом серйозної загрози для людства. У своїй праці «Heraclitean Fire: Sketches from a Life Before Nature» (1978) Е. Чаргафф емоційно і з глибокою тривогою писав про небезпеку втрати людської міри та відповідальності в науці.

Попри численні наукові здобутки та міжнародне визнання, Ервін Чаргафф так і не став лауреатом Нобелівської премії. Деякі дослідники вважають, що це пов'язано з його різкою зміною позиції – від плідного науковця до відвертого критика розвитку сучасної науки. Сам Е. Чаргафф не акцентував на цій версії, однак неодноразово підкреслював, що атомне бомбардування м. Хіросіма та м. Нагасакі (Японія) стало для нього глибоким моральним потрясінням. Саме це, за його словами, змусило його переосмислити роль науки в суспільстві та стати одним із перших, хто відкрито застерігав людство від можливих руйнівних наслідків науково-технічного прогресу, зокрема в галузі біомедицини та генної інженерії. Він стверджував, що наука повинна залишатися скромною у своїх прагненнях, не намагаючись панувати над природою. Його слова про те, що «наука без совісті є руйною душі» стали моральним дороговказом для багатьох дослідників.

В останні роки життя Е. Чаргафф неодноразово виступав проти комерціалізації науки та біотехнологій, закликаючи до збереження етичних меж у дослідженнях, пов'язаних із життям, спадковістю, репродуктивними технологіями та медичними експериментами.

Науково-публіцистичні здобутки Ервіна Чаргаффа отримали високу оцінку з боку провідних наукових установ світу та видатних представників наукової спільноти. Він був обраний почесним ректором університетів м. Базель, м. Бонн та Колумбійського університету, а також став дійсним членом Американської академії мистецтв і наук, Паризької академії наук, Королівської академії наук Нідерландів і Німецької академії природознавців «Леопольдіна». У 1979–1985 роках обіймав посаду керівника Інституту біохімії при Колумбійському університеті.

За свої наукові досягнення Ервін Чаргафф був удостоєний численних престижних нагород, серед яких Золота медаль імені Луї Пастера Французького біохімічного товариства (1949), медаль імені Найберга Американського товариства хіміків і фармацевтів (1958), Національна наукова медаль США (1975). Окрім наукових відзнак, він отримав літературну премію імені Йоганна Генріха Мерка «За літературну практику» (1958), Австрійську почесну відзнаку «За науку і мистецтво» (1999), а також Премію міста Відня «За публіцистику» (1994).

Варто зазначити, що в радянський період ім'я Е. Чаргаффа було фактично вилучене з ака-

демічного дискурсу. Його досягнення не згадуються у «Українській радянській енциклопедії» (1964) чи у «Біологічному словнику» (1986).

Із здобуттям незалежності Україною ім'я Е. Чаргаффа поступово повертається у вітчизняний науковий контекст. Він підтримував зв'язки з Чернівецьким національним університетом імені Юрія Федьковича, зокрема з ректором, професором Степаном Костишиним [10]. При біологічному факультеті цього університету була заснована громадська організація «Чаргафф-фонд». Через стан здоров'я Е. Чаргафф не зміг особисто взяти участь у VIII Українському біохімічному з'їзді (м. Чернівці) та надіслав делегатам листа, в якому зазначив: «Ця прекрасна наука займала велике місце в моєму житті близько 60 років і допомогла мені вирости. Хай довго живе ця наука».

Ервін Чаргафф помер 22 червня 2002 року в Нью-Йорку на 97-му році життя. В останні роки він неодноразово висловлював у листуванні бажання ще раз відвідати рідні Чернівці, проте стан здоров'я не дозволив здійснити цю подорож. Незважаючи на це, символічне повернення вченого до батьківщини таки відбулося – у місті його народження, на будинку по вулиці 28 Червня, було встановлено меморіальну дошку на честь видатного біохіміка, чия наукова спадщина стала частиною світового наукового надбання [10].

Великому вченому Ервіну Чаргоффу належать вирази, що актуальні і в теперішній важкий час для України: «Рівень розвитку держави визначається 3-ма складовими: ставленням до дерев, ставленням до дітей та ставленням до рідної мови». Він також вважав, що мова формує не лише стиль мислення, а й глибину моральної відповідальності вченого: «Мова – це не просто засіб комунікації, вона визначає спосіб нашого мислення. З втратою мови ми втрачаємо частину себе». Ці висловлювання відображають гуманістичні переконання Ервіна Чаргаффа, його відданість культурним і духовним витокам, а також глибоку тривогу за дегуманізацію науки в технократичному світі.

Ервіна Чаргаффа пам'ятатимуть як науковця світового рівня, блискучого публіциста та яскраву, багатогранну особистість. Його внесок у розвиток біохімії, зокрема у відкриття фундаментальних закономірностей будови ДНК, став основою для революції у молекулярній біології. Ім'я цього геніального дослідника назавжди вписано золотими літерами в історію світової науки.

References

1. Chargaff E. A fever of reason: the early way. *Annual Review of Biochemistry*. 1975. Vol. 44. P. 1–18.
2. Avery O. T., MacLeod C. M., McCarty M. Studies on the chemical nature of the substance inducing transformation of pneumococcal types. Induction of transformation by a desoxyribonucleic acid fraction isolated from pneumococcus type III. *Journal of Experimental Medicine*. 1944. Vol. 79. P. 137–158.
3. Chargaff E. Preface to a grammar of biology. *Science*. 1971. Vol. 172. P. 637–642.
4. Vischer E., Chargaff E. The composition of the pentose nucleic acids of yeast and pancreas. *Journal of Biological Chemistry*. 1948. Vol. 176. P. 715–734.
5. Chargaff E., Vischer E., Doniger R., Green C., Misani F. The composition of the desoxypentose nucleic acids of thymus and spleen. *Journal of Biological Chemistry*. 1949. Vol. 177. P. 405–416.
6. Vischer E., Zamenhof S., Chargaff E. Microbial nucleic acids: the desoxypentose nucleic acids of avian tubercle bacilli and yeast. *Journal of Biological Chemistry*. 1949. Vol. 177. P. 429–438.
7. Chargaff E. Chemical specificity of nucleic acids and mechanism of their enzymatic degradation. *Experientia*. 1950. Vol. 6. P. 201–209.
8. Levene P. A. The structure of yeast nucleic acid. *Journal of Biological Chemistry*. 1919. Vol. 40. P. 415–424. Retrieved from: <http://www.jbc.org/cgi/content/full/277/22/e11>.
9. Chargaff's Rules: the Work of Erwin Chargaff. *Journal of Biological Chemistry*. 2005. Vol. 280, No. 24. P. e21. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(20\)61522-8](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(20)61522-8).
10. Volkov R. A., Rudenko S. S. War and World of Erwin Chargaff (Dedicated to 110th Anniversary of Birth). *Cytology and Genetics*. 2016. Vol. 50 (1). P. 72–78. <https://doi.org/10.3103/S0095452716010102>

CHEN I. B., HUMENIUK H. B.

V. Hnatiuk Ternopil National Pedagogical University,
Ukraine, 46027, Ternopil, M. Kryvonosa str., 2

OUTSTANDING SCIENTIST ERWIN CHARGAFF (DEDICATED TO THE 120TH BIRTH ANNIVERSARY)

The article provides a comprehensive analysis of the life, scientific activity, and intellectual legacy of Erwin Chargaff (1905–2002). He was one of the most influential biochemists of the 20th century and a native of Chernivtsi. It offers a detailed biographical overview, covering his early life in Austria-Hungary, education at the University of Vienna, emigration to the United States, and subsequent scientific career in Europe and America. Special attention is given to Chargaff's discovery of quantitative regularities in the structure of DNA (known as Chargaff's rules), which constituted a key contribution to the development of molecular biology and preceded the discovery of the DNA double helix. The article examines his scientific approaches, research methodologies, and experimental work, particularly his activities at Columbia University and his role in advancing the biochemistry of nucleic acids. The author also highlights Erwin Chargaff's civic stance, his critical view of the excessive technocratization of science, genetic engineering, and the ethical risks associated with biomedicine. The article emphasizes the scientist's broad international recognition: membership in academies of sciences in various countries, prestigious awards, honorary titles, and the commemoration of his legacy both in Ukraine and abroad. Chargaff's connection to Ukraine and his symbolic return to his homeland in his final years are also explored. The article mentions the installation of a memorial plaque on the house in Chernivtsi where he was born, as well as his correspondence with Ukrainian scientists during the country's period of independence. The article aims to honor the memory of the scientist and promote his enduring legacy.

Keywords: DNA, adenine, thymine, cytosine, guanine, hydrolysis, chromatography, nucleic acids.