

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
НАУК УКРАЇНИ

Сніжана
МАЗУРЕНКО

**ЛЮДИ
НАУКИ**

РОЗМОВИ
З УКРАЇНСЬКИМИ
УЧЕНИМИ

Київ
АКАДЕМПЕРІОДИКА
2025

Рецензенти:

МІЩУК Олег Миколайович, д-р фіз.-мат. наук, доцент,
керівник Сектору зведеного планування Науково-організаційного відділу
Президії НАН України
В. о. завідувача відділу проблем діяльності і стратегії розвитку НАН України.
Державна установа «Інститут досліджень науково-технічного потенціалу
та історії науки ім. Г. М. Доброва НАН України»

РИЖКО Лариса Володимирівна, д-р філос. наук, професор,
провідний наук. співроб.
Державна установа «Інститут досліджень науково-технічного потенціалу
та історії науки ім. Г. М. Доброва НАН України»

ВИНОГРАДОВА Оксана Миколаївна, чл.-кор. НАН України
заступник директора з наукової роботи.
Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України

*Рекомендовано до друку Вченою радою Державної установи
«Інститут досліджень науково-технічного потенціалу
та історії науки ім. Г. М. Доброва НАН України»
(протокол від 07.07.2025 № 12)*

Мазуренко С.

М13 Люди науки. Розмови з українськими ученими / Сніжана Мазуренко; НАН України. — Київ: Академперіодика, 2025. — 224 с.: іл.

ISBN 978-966-360-568-5

Пропонована увазі читачів книга Сніжани Мазуренко про людей науки — це захопливі бесіди з науковцями НАН України, які працюють у різних галузях знань. Біологи, хіміки, астрономи, математики, фізики та інші фахівці розповідають про свій шлях, життєві здобутки, злети й падіння. У виданні акцентовано на важливості актуальних мультидисциплінарних досліджень в Академії і співпраці з провідними ученими світу у контексті повоєнної розбудови України.

Книга буде цікавою широкому колу читачів.

УДК 001-051(477)(047.53)

ПЕРЕДНЄ СЛОВО

Книжка, яку ви тримаєте в руках (або, що ймовірніше, розгорнули як PDF-файл на своїх гаджетах), з'явилась завдяки збігу щасливих випадковостей. А головна з них – коли одного чудового дня близько 10 років тому одна абсолютно не посвячена у науку дилетантка переступила поріг науково-популярного лекторію. І пропала. А вже значно пізніше, підготувавши десятки текстових версій до розмов дослідників з іншими інтерв'юерами, ризикнула й сама прийти до науковців із запитаннями, і науковці їй не відмовили. Так вона зрозуміла, що методом спроб і помилок, вочевидь, нарешті «намацала» справу свого життя.

Я безмежно вдячна долі (а також Національній академії наук України) за можливість спілкуватись із найрозумнішими, найцікавішими, найіронічнішими людьми з-поміж усіх, кого мені доводилось зустрічати. Це досвід, який раз і назавжди змінює «оптику», крізь яку ти бачиш світ і себе в ньому.

Жодних слів не вистачить, щоб подякувати моїм батькам, які супроводжували і підтримували мене на кожному кроці цієї довгої подорожі, що триває. Вони завжди були першими слухачами (або читачами) представлених тут текстів, ідей, наукових фактів.

Окремої великої подяки варті мої чудові колеги з Апарату Президії НАН України (передусім із пресслужби Академії) і з Видавничого дому «Академперіодика» НАН України. Без їхньої повсякчасної допомоги та добрих порад мені не вдалося б і половини з того, що зроблено.

І, звісно, ця книжка ніколи б не вийшла, якби на варті нашого спокою і безпеки не стояли Сили оборони України.

Присвячую це видання всім науковцям і науковицям, популяризаторам і популяризаторкам науки, науковим журналістам і журналісткам, які стали на захист України.

Сніжана Мазуренко

**«НАУКА –
ЦЕ ТЕРИТОРІЯ КРЕАТИВУ,
СВОБОДИ І ДЕМОКРАТІЇ»**

**АНАТОЛІЙ
ЗАГОРОДНІЙ**



Я

якщо дозволите, Анатолію Глібовичу, я хотіла б почати з, як на мене, світоглядного запитання: у чому, на Вашу думку, головна цінність науки? І чим наука цінна особисто для Вас?

— Ваше запитання вже містить відповідь: наука — це світогляд, це картина світу. І у цьому полягає її головна цінність. У широкому сенсі наука — розуміння реальності, а відтак і свобода, це сміливість дивитися в очі реальності і бачити її такою, як вона є. Що, між іншим, буває болісним досвідом. Наука народжується з нашої «вбудованої опції» — природної допитливості — і намагається «зазирнути за лаштунки» світобудови на макро-, мезо- і мікрорівні. Але вона є інструментом не лише пізнання, а й перетворення світу. І у цьому її друга велика цінність. Одне слово, наука — це сфера діяльності людства, спрямована на пізнання законів розвитку природи і суспільства і використання її досягнень на користь людства. Її стан, як на мене, є головною ознакою дорослішання суспільства. Хоча, на жаль, часом виникають певні загрози, пов'язані з неналежним застосуванням нових знань і технологій. Але я намагаюся дивитись на такі прикрі випадки без зайвих емоцій і вірю, що рано чи пізно людство дозріє до того, щоб досягнення науки використовувалися лише на його благо. Принаймні досі все до цього йшло, хоч і не завжди прямою дорогою.

А особисто для мене наука завжди була цінна тим, що дає змогу наблизитись до пізнання основ світобудови і спробувати осягнути щось досі невідоме. Це дарує насолоду і незрівнянне відчуття причетності до здобуття нових знань.

— Хто був Вашими учителями у науці? На кого Ви взувалися і взуєтеся сьогодні? І чому? Які риси характеру важливо мати науковцеві і до чого слід готуватись, обираючи науку своїм фахом?

— Мені завжди щастило з наставниками. Пишаюся тим, що жив в один час із корифеями української та світової науки і мав за честь працювати з багатьма із них. Найпершим маю згадати академіка Віктора Петровича Шестопалова, який по-

сприяв моєму долученню до досліджень уже з другого курсу Харківського інституту радіоелектроніки. Тобто моя наукова траєкторія розпочалася доволі рано і, що вкрай важливо, під керуванням знаних фахівців, які до залучення молоді підходили зовсім не формально і підтримували зацікавлених студентів. А в науці старт має дуже велике значення.

На четвертому курсі я потрапив у надійні руки Івана Петровича Якименка, а згодом — завдяки Іванові Петровичу — до Олексія Григоровича Ситенка, який тоді, на початку 1970-х років, завідував відділом теорії ядра і ядерних реакцій у новоствореному Інституті теоретичної фізики. Так і вирішилась моя подальша доля. В Інституті вирувало наукове життя, завдяки високому рівню досліджень установа притягувала найкращих теоретиків — і на роботу, і на конференції дуже високого рівня. Для мене це стало великою життєвою та професійною школою. Тепер уже не уявляю, як би склалася моя доля, якби мені не випало щастя потрапити в Інститут теоретичної фізики.

А сам Інститут не можна уявити без академіка Миколи Миколайовича Боголюбова, його видатного фундатора і першого директора. І хоча він не був моїм безпосереднім учителем, та я вважаю себе причетним до його наукової школи. Це був, без перебільшення, геній, який змінив «ландшафт» цілих галузей науки і започаткував нові. Бути науковими спадкоємцями і продовжувачами справи таких великих людей — велика удача. Не захоплюватись Миколою Миколайовичем було неможливо. На його долю випали всі можливі лиха ХХ століття, але жодному з них не вдалося збити його з обраного ним шляху.

Не зупинятимусь на наукових здобутках академіка Боголюбова — про них написано чимало цікавої літератури. Але одне все ж для прикладу зазначу: його методи нелінійної механіки — це якраз та висока теорія, яка виявилася цілком прикладною і широко використовується на практиці. І це ще один штрих до питання, навіщо потрібна фундаментальна наука. Бо без надійної теорії, без розуміння того, як влаштований і функціонує світ, будь-який пошук технічних рішень може стати рухом наосліп.

До речі, Микола Миколайович ніколи не зупинявся і не вважав, що досяг досконалості і вичерпав проблему, бо розумів, що за будь-якого поступу питань завжди більше ніж відповідей. І з кожною новою відповіддю з'являється нове запитання.

Гадаю, академік Микола Боголюбов розумів також, що хоч науку і творять люди, а проте наука завжди більша за будь-яку, навіть найвеличнішу постать із найвидатнішим доробком. З одного розуміння логічно випливало інше: слід потурбуватись про те, хто робитиме науку завтра і післязавтра. Підготувати наступників. Щоб наука жила і

розвивалась, потрібна неперервність підтримки неодмінних умов — фінанси і кадри. Кошти і люди. І це чудово розумів Микола Миколайович, створюючи Інститут теоретичної фізики. Такі умови можуть видатись надто приземленими і геть позбавленими романтизму, але такі реалії. Я б хотів, щоб розуміння важливості науки і її підтримки супроводжувало кожну команду українських управлінців найвищого, державного рівня. Якщо вони насправді державники і вболівають за майбутнє України.

Ще один цікавий факт: академік Боголюбов був етнічним росіянином, але вважав себе українцем. Українцем записувався в усіх документах, що посвідчують особу. Це було дуже щире і дуже важливе для нього, але й не менш сміливе рішення. Особливо після сфабрикованого владою процесу СВУ. Українську мову він вважав рідною, а Україну — другою батьківщиною. Все це я б назвав актом громадянської мужності. Микола Миколайович захоплювався Шевченковою поезією, а з-поміж усіх міст найбільше любив Київ і порівнював його з Парижем. Погодьтеся, це вияв глибокої поваги до землі, яка стала його домом, і до людей, які на цій землі живуть. І повага Миколи Миколайовича була дуже дієвою. Він послідовно і неухильно працював над тим, щоб Київ став науковим центром світового рівня, щоб українські науковці були впізнаваними і мали авторитет не лише вдома і не лише в межах колишнього СРСР, а й у міжнародній спільноті. Можна тільки уявити, яких зусиль йому коштувало створити в Києві таку елітну наукову установу, як Інститут теоретичної фізики. І це в часи, коли Україні відводили роль ресурсної околиці, що мала постачати метрополії найсвітліші голови. Сьогодні Інститут продовжує традиції, започатковані академіком Боголюбовим, і розвиває напрями, які він вважав найактуальнішими. Вони лишаються на порядку денному і дотепер. Так чи так.

А щодо рис, конче потрібних для наукового фаху, то це передусім допитливість. Без внутрішнього поруху, без цікавості і прагнення зрозуміти світ наукова робота стає рутиною. Якщо ви обираєте науку справою свого життя, то, незалежно від галузі, будьте готові, що вчитися доведеться до кінця кар'єри. Дослідження не стоять на місці, немає раз і назавжди даної, незмінної істини. Наука — це шлях, а не пункт призначення. Наука багато дає, але й багато вимагає. Наполегливості, великої працездатності, терплячості, польоту фантазії, самокритичності й десь навіть самоіронії. Більшість справжніх науковців — люди зовсім непафосні й дотримуються доволі скромної думки про свої успіхи, навіть ті, що відзначені високими преміями. А успіх часто приходить до тих, хто попри невдалі спроби й невиправдані гіпотези не зневірюється, а продовжує пошук істини. Будьте готові,

що визнання не прийде відразу. Надто, коли ваші роботи, як кажуть, випереджають свій час. Словом, наука – це марафон. Іноді марафон тривалістю в життя. Для правдивого науковця вона зазвичай не вписується в традиційні рамки від 9-ї до 18-ї. Нові ідеї супроводжуватимуть вас поза роботою і заставатимуть у будь-яку хвилину. Ви не зможете просто покласти роздуми про свої наукові пошуки в одну із шухлядок пам'яті й замкнути їх там. Саме тому в науку краще йти за покликанням, а не під впливом обставин. Отже, наука – це справа для захоплених і послідовних у своїй захопленості людей, толерантних до критики (часом конструктивної, часом – не дуже). А в Україні – ще й подвижницьких. Таких, що не чекають кращих часів, а продовжують творити.

– Чільним напрямом Ваших досліджень від початку була фізика плазми. Поясніть, будь ласка, популярно, що таке плазма і чим вона особлива. Чому цей напрям досліджень вартує уваги і на які фундаментальні питання світобудови може відповісти? І що з фізики плазми важливо знати кожному?

– Якщо зовсім коротко і дуже популярно, то плазма – це речовина в іонізованому стані, наприклад, це може бути іонізований газ. Що це означає? А це значить, що атоми і молекули, з яких складається речовина, з тих чи інших причин втратили по одному, або більше електронів, і стали зарядженими іонами, а електрони, що відокремились від атомів і молекул, перебувають у вільному стані. Іншими словами, плазма – це речовина, що містить у своєму складі заряджені частинки у вільному стані (тобто такі, що не зв'язані в атоми, чи молекули). У випадку так званої частково іонізованої плазми до її складу входять також нейтральні атоми і молекули. Наявність вільних заряджених частинок, які взаємодіють через далекосяжне електромагнетне поле (на відміну від взаємодії частинок у нейтральному газі, яка відбувається лише при зіткненнях частинок на відстанях, сумірних з розмірами атомів, чи молекул), обумовлює одну з найважливіших властивостей плазми – її колективну динаміку. Ця обставина є визначальною для ряду фундаментальних властивостей плазми, які і роблять її відмінною від систем, що складаються з нейтральних частинок. Саме завдяки далекосяжній кулонівській взаємодії у плазмі можуть існувати багато типів коливань і хвиль та відбуватися їх взаємодія, в результаті чого змінюються частоти цих хвиль, суттєво ефективніше здійснюється перенесення частинок і тепла, змінюються умови для поширення електромагнетних хвиль, зокрема існують частотні діапазони, в яких неможливе поширення радіохвиль (тобто плазма може стати непрозорою для електромагнетного сигналу певної частоти), що суттєво впливає на радіозв'язок.



Причин виникнення плазмового стану речовини є декілька. Зокрема, газ можна іонізувати нагрівши його до високої температури. Температура іонізації залежить від тиску і в залежності від типу газу може змінюватись від кількох тисяч до сотень тисяч градусів: і чим вища температура, тим вища ступінь іонізації (тобто кількість електронів, відокремлених від атомів, чи молекул). Речовину можна іонізувати також сильними постійними, або змінними електричними полями (як це відбувається, наприклад, у газорозрядних лампах денного світла). Потужні високочастотні електромагнетні поля, зокрема лазерне проміння, теж можуть бути ефективними джерелами іонізації.

Плазма широко представлена в природі і лабораторії. Це міжзоряний електронний газ, сонячний вітер (поблизу Землі), магнітосфера і іоносфера планет (у тому числі Землі), зірки (зокрема, Сонце), комети, різні джерела космічного проміння. Плазма присутня також в хвостах комет і кільцях Сатурна. Цей перелік можна було би продовжити. Якщо ж говорити про плазму в лабораторних умовах, то це різноманітні газові розряди, плазма в установках для керованого термоядерного синтезу та приладах фізичної електроніки, плазма в технологічних установках для очищення і оброблення поверхонь (зокрема, при виготовленні комп'ютерних мікросхем), плазмового зварювання і плазмового напилення тощо. В побуті – це плазмові дисплеї, газорозрядні лампи, озонатори.

Одним із найважливіших застосувань плазми є її використання для здійснення керованого термоядерного синтезу. Йдеться про створення за допомогою плазми ядерної реакції з виділенням додаткової енергії, подібно до того, як при хімічних реакціях горіння відбувається виділення тепла. Різниця лише в тім, що реакція відбувається не за участі молекул, а атомних ядер (наприклад ізотопів водню – дейтерію і тритію). Спроби використати плазму з метою отримання енергії за рахунок реакцій синтезу розпочалися ще наприкінці 40-х років минулого століття. Відтоді дослідження в цьому напрямі розгорнулись у багатьох країнах світу. Для реалізації умов реакції було запропоновано і створено установки з магнітним утриманням плазми – токамаки і стеларатори. Це тороїдальні установки, в яких плазма утримується сильними магнетними полями спеціальної конфігурації, які і запобігають контактам високотемпературної плазми (з температурою в мільйони градусів) зі стінками реактора.

Однією з основних завад на шляху реалізації керованого термоядерного синтезу стали плазмові нестійкості (явище, що характеризується наростанням в часі амплітуди хвильових збурень внаслідок передачі енергії коливанням і хвилям при нагріванні плазми). Такий стан називається турбулентним і характеризується аномально інтенсивною дифузією частинок та перенесенням тепла, що і не дає можливості ефективно утримувати і нагрівати плазму. До речі, дослідження таких процесів на основі послідовної статистичної теорії і були одним з напрямів моєї наукової діяльності як фізика-теоретика.

На сьогодні більшість як технічних, так і фундаментальних проблем керованого термоядерного синтезу з магнітним утриманням плазми вважаються вирішеними, чи знаходяться у стадії вирішення і міжнародна спільнота розпочала реалізацію проекту ITER, метою якого є створення і введення в дію демонстраційного ядерного реактора, що матиме позитивний вихід енергії, тобто енергія, отримана в результаті термоядерної реакції, буде більшою за енергію, що витрачається на підтримку роботи реактора. Будівництво здійснюється в ядерному центрі Кадараш (Франція). Термін завершення будівництва заплановано на 2035 рік.

Звісно, керований термоядерний синтез є не єдиним питанням фізики плазми, хоча й, напевно, найпопулярнішим і найзрозумілішим для широкої аудиторії. Без фізики плазми не пояснити, як еволюціонує Всесвіт (зокрема, згідно з сучасними уявленнями в його історії була «плазмова ера»). Не пояснити й магнетних бур, які безпосередньо впливають на нашу планету.

– Бути Президентом вищої наукової організації держави, та ще й під час війни, – це великий виклик і випробування. Чи вда-



ється Вам знаходити час і для досліджень? Якщо так – що саме вивчаєте?

– Висока посада – це завжди честь і відповідальність, а не привілей. Тим більше у часи війни. Академія має майже півтори сотні наукових установ, де більш як двадцять тисяч людей провадять дослідження. Вони працюють у надзвичайно важких умовах: під обстрілами, без опалення, з постійними знеструмленнями, у тривозі за своє життя, за своїх близьких, за нашу країну. Тому, безумовно, ні я, як Президент Академії, ні Президія – ми не маємо права на слабкість і на відпочинок, бо за нами колективи самовідданих незламних людей, які довірили нам керувати вищою науковою організацією України.

Відверто кажучи, адміністративна робота забирає ліву частку мого часу, і власне на дослідження його лишається не так багато, як хотілося б, і не так багато, як на початку моєї наукової кар'єри. Але я твердо вірю, що навіть на керівній посаді... ба більше, передусім на керівній посаді у науковій сфері людина не повинна втрачати контакту з реальною наукою. Для мене це принципово. Крім того, важливо цікавитися новинами в суміжних (та й не лише суміжних) галузях. Це допомагає бачити ширшу картину бодай у загальних рисах, вловлювати тенденції, фіксувати нові можливості й перспективи. А вони з'являються чи не щодня. Тож – так, намагаюсь не випадати з наукового процесу.

А тепер ближче до конкретики. Останнім часом, як і раніше, я працюю над фундаментальними питаннями статистичної фізики і кінетичної теорії багаточастинкових систем, а також нелінійної динаміки частинок. Мене цікавлять насамперед нерівноважні процеси, флуктуації та статистичні закономірності, що спостерігаються у різних фізичних середовищах – від плазми до конденсованої речовини. При цьому я намагаюся описати властивості фізичних систем виходячи з перших принципів, тобто на основі базових законів фізики.

Одна з проблем, над якою я працюю, – розвиток статистичної теорії, що може описувати неідеальні й нерівноважні системи. Для цього може виявитись корисним підхід для описування нерівноважних систем в енергетичному просторі, що є розширенням підходу Гібса для макроскопічних систем за нерівноважних умов.

Статистичний підхід корисний і для прикладних задач у вивченні конкретних фізичних середовищ, зокрема плазми. Серед іншого, мене цікавило, як тепло та частинки переносяться у термоядерній та запорошеній плазмі. У співпраці з іноземними колегами ми, наприклад, обґрунтували рідинну модель, яка дає правильне масштабування часу утримання плазми від нагрівальної потужності. Чи має це практичне значення? Сподіваюсь, що так. Оскільки ця модель враховує особливості транспортних процесів у турбулентній плазмі, вона може стати у пригоді для інтерпретації експериментів і подальшого розвитку вже згаданого термоядерного синтезу

Окремий напрям моєї наукової роботи пов'язаний з нелінійною та релятивістською динамікою заряджених частинок у сильних електромагнетних полях. Ми показали, що за певних умов енергія та імпульс частинок змінюються стрибкоподібно, утворюючи ступінчасту структуру. Ці результати дають змогу пояснити ефекти, які раніше спостерігались у числових моделюваннях, і водночас виявити нові механізми прискорення частинок. Зокрема, отримані результати вказують на принципову можливість прискорювати електрони попереочними електромагнетними хвилями у вакуумі, як за наявності, так і без зовнішнього магнетного поля.

Усі ці дослідження тривають і, сподіваюся, триватимуть далі.

– Яким Ви бачите майбутнє науки загалом і зокрема у Вашій галузі? І як науці вижити у світі постправди?

– Яким майбутнє науки не буде напевно, то це простим та безхмарним. З іншого боку, науці і в науці ніколи не було просто. Нові часи – це лише нові виклики, і постправда – один із них. Беззаперечно, я вірю в те, що наука залишатиметься головним інструментом розвитку цивілізації. Кращого в нас немає і, гадаю, не буде. Саме на-

ука століттями демонструвала свою ефективність і допомогла людству досягти приголомшливого рівня поступу.

На науку точно чекатиме посилення тенденцій останнього часу – міждисциплінарності, інтернаціоналізації, роз поширення технологій штучного інтелекту. Україна теж має всі шанси посісти гідне місце у світовому науковому поділі праці, назвімо це так. Нам є що запропонувати іноземним партнерам, зокрема й у математиці, механіці, фізиці і астрономії, науках про Землю, матеріалознавстві, хімії, молекулярній біології та багатьох інших галузях.

Що ж стосується перспектив конкретно фізики плазми, то вона, як на мене, має велике майбутнє. Ці дослідження, як уже згадувалось, здатні змінити енергетику, прогнозувати космічну погоду, запропонувати нові матеріали з унікальними властивостями, для синтезування й оброблення яких застосовуватимуть плазму.

Якою має бути наука XXI і наступних століть? Насамперед близькою до суспільства і максимально відкритою. Комунікувати з громадськістю і навіть залучати її до досліджень, наскільки це можливо. Це найдієвіший спосіб розвіяти псевдонаукові міфи і позбутись пропагандистських штампів та ідеологічних нашарувань, які дістались нам у спадок від тоталітарної системи. Тому якісна освіта для всіх має бути в пріоритеті як у держави, так і у громадянського суспільства. Наука насправді дуже демократична. Наука – це територія креативу, свободи і демократії. Вона допомагає нам зрозуміти світ, зорієнтуватись у ньому, а отже робить нас вільними, мобільними, ініціативними, толерантними і відкритими до інших поглядів. Тому освіта і популяризація науки – це наше рятівне коло для буремних часів. І, безумовно, наука має бути авторитетною, у ній, як можливо ніде інде, має діяти інститут репутації. Науці довірятимуть, якщо академічна доброчесність не лишатиметься порожніми словами. Сподіваюся, нещодавно ухвалений нашим Парламентом і підписаний Президентом України Закон «Про академічну доброчесність» прислужиться цій важливій справі.

Треба усвідомити, що наука – не річ у собі, вона не живе і не може жити окремо від суспільства. Тому те, яке майбутнє на неї чекає, залежить від кожного з нас, від того, чи зрозуміємо ми її силу та значущість, і чи, зрозумівши, підтримаємо її. А вона, без сумніву, варта підтримки.

**«ІНСТИТУТ ФІЗІОЛОГІЇ ІМЕНІ
О.О. БОГОМОЛЬЦЯ НАН УКРАЇНИ –
УНІКАЛЬНА НАУКОВА УСТАНОВА, НА ЯКІЙ
ТРИМАЄТЬСЯ ВСЯ УКРАЇНСЬКА ФІЗІОЛОГІЯ»**

**БІЖАН
ЩАРОПОВ**



Б

ПРО ПРОБЛЕМИ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЇ І КЛІНІЧНОЇ ФІЗІОЛОГІЇ

Біжан Шаропов був талановитим молодим науковцем і патріотом України. Досліджував проблеми фізіології та біофізики іонних каналів клітинних мембран. Він – співавтор багатьох статей у міжнародних наукових журналах. Очолював Раду молодих вчених Інституту фізіології ім. О.О. Богомольця НАН України. Активно популяризував науку. Захищав Україну від російської військової агресії. Добровольцем воював у лавах Збройних Сил України – і під час АТО, і після початку повномасштабного російського вторгнення. Брав участь у звільненні Київщини. У жовтні 2022 року загинув у боях з окупантами на Харківщині. Похований на Алеї Слави Лук'янівського кладовища у Києві. У вересні 2023 року Біжанові посмертно було присвоєно звання Героя України.

Інститут фізіології імені О.О. Богомольця НАН України – одна з найстаріших і найкращих українських наукових установ, яка давно зажила собі слави на міжнародному рівні. Особлива вона ще й тим, що на третину складається з молодих учених.

В ексклюзивному інтерв'ю пресслужбі НАН України голова Ради молодих учених Інституту фізіології імені О.О. Богомольця НАН України, науковий співробітник відділу нервово-м'язової фізіології цього Інституту кандидат біологічних наук Біжан Шаропов розповів про діяльність Ради, про попередні результати останніх дослідницьких проєктів, у яких бере участь сам, і про те, яку роль Інститут віграє для всієї української науки.



Про наукову діяльність:

«Наш Інститут займається широким спектром проблем як фундаментальної, так і клінічної фізіології, для чого у ньому існує декілька відділів і лабораторій, що покривають своїми дослідженнями всі основні системи організму, причому на різних рівнях – від молекулярного до поведінкового. Все не перелічити, але про актуальність і перспективність цих досліджень ви можете судити хоча б із тих прикладів, до яких я маю безпосередній стосунок. Наприклад, у нашому відділі нервово-м'язової фізіології ми зараз розвиваємо новаторський проєкт, який дозволить більш прицільно і з меншим рівнем побічних дій доправляти біологічно активні сполуки (ті ж ліки) у потрібне місце організму. Ідея належить завідувачеві нашого відділу члену-кореспонденту НАН України Ярославу Михайловичу Шубі. Як відомо, системна фармакотерапія, намагаючись подіяти на якісь конкретні типи клітин або органи, одночасно може спричиняти небажані побічні ефекти. Ярослав Михайлович запропонував підхід (і отримав на нього американський патент), який дозволить застосовувати фармакологічний препарат локально, у тому місці і у той час, де і коли це потрібно. Принцип такий: ми вводимо фармпрепарат системно, але не в активній формі, а в інертній – завдяки його інкапсуляції у захисну оболонку, яка не дає йому працювати, допоки він циркулює системою кровообігу. Важливо, що ця оболонка може руйнуватися під дією рентгенівського випромінювання, яке, як відомо, здатне проникати глибоко всередину тіла. Під впливом вузького пучка рентгенівського випромінювання препарат вивільнюється із захисної оболонки і діє локально – строго в тій області, до якої буде прикладено рентгенівський промінь. Звичайно, створення такої системи доставки становить комплексну проблему, яка потребує залучення, крім фізіологів, також фізиків, хіміків, матеріалознавців. Але ми рухаємось у цьому напрямі. Поки що тривають суто наукові дослідження, але ми щиро віримо, що у перспективі отримані результати знайдуть своє застосування у клінічній практиці.

Велика увага у нашому відділі приділяється дослідженню білкових молекул – сенсорів фізико-хімічних впливів, зокрема таких, як температура і механічне напруження. Ці молекулярні сенсори знаходяться у мембрані багатьох типів клітин, хоча відкриті вони були зовсім недавно. Їхнє значення полягає у здатності сприймати зміни зовнішньої температури або механічного напруження (у вигляді тиску, дотику, деформації) і перетворювати їх у електрохімічну форму, придатну для подальшої обробки різними клітинами і системами нашого організму. Саме завдяки їх роботі ми відчуваємо холодне, пеку-

че, гостре, тупе тощо. Ми досліджуємо ці сенсори за двома напрямками: їхню роль у регуляції механочутливості сечового міхура (всім на власному досвіді відомо, наскільки сечовий міхур чутливий до розтягнення) і температурну регуляцію скротума – шкірної сумки, в якій розміщені чоловічі статеві залози – сім'яники. Перший напрям прямо стосується такої дуже неприємної клінічної проблеми, як нетримання сечі, що є частим ускладненням багатьох хронічних захворювань людини, включно з таким розповсюдженим, як діабет 2-го типу. Визнанням важливості цієї проблеми є те, що на дослідження змін у молекулярних механізмах механочутливості сечового міхура при діабеті 2-го типу наш відділ отримав грант від Національного фонду досліджень України (НФДУ).

Другий напрям – температурна регуляція скротума – безпосередньо стосується проблеми збереження чоловічого репродуктивного здоров'я. Як відомо, сперматогенез у сім'яниках найефективніше проходить за сталої температури, яка на 2-3 °C нижча за температуру тіла. Саме скротум, який здатен зморщуватися за пониження зовнішньої температури і розтягуватися за її підвищення, тим самим наближаючи або віддаляючи сім'яники (тестикули) до/від тіла, значною мірою забезпечує потрібну сталість температури. Порушення такої терморегуляції може бути одним із чинників погіршення сперматогенезу (утворення чоловічих статевих клітин) і втрати фертильності у чоловіків. Ми встановили, що частково роль молекулярного сенсора охолодження у скротумі виконує білок TRPM8 (слід зауважити, що дуже багато білків у сучасній біології мають назву-аббревіатуру), присутній у м'язах, що оточують сім'яники. Під впливом низьких температур та дії ментолу, який, як відомо, є хімічним аналогом охолодження, TRPM8 заставляє ці м'язи скорочуватись, тоді як нагрівання приводить до їх розслаблення. Ми також показали, що кількість наявного білка TRPM8 залежить від чоловічих гормонів (андрогенів): у щурів, до яких застосовувалася фармакологічна блокада андрогенових рецепторів (фактично, хімічна кастрація), кількість цього білка зменшується, а викликане холодом скорочення м'язу істотно послаблюється. Ми припускаємо, що зниження рівня андрогенів у чоловіків похилого віку може давати такий же ефект, а отже, бути однією з причин затухання репродуктивної функції».

2024 року в одному із найстаріших і найпрестижніших журналів фізіологічного профілю *“Journal of Physiology”* (Лондон, Велика Британія) вийшла з друку стаття *“Contribution of transient receptor potential vanilloid 1 (TRPV1) channel to cholinergic contraction of rat bladder smooth muscles”* за авторства колективу науковців Інституту фізіології, де перший автор – Герой України Біжан Шаропов.

У статті йдеться про «неканонічну» роль термічного рецептора TRPV1, за відкриття якого, зокрема, було присуджено Нобелівську премію з фізіології або медицини 2021 року. Результати досліджень українських науковців свідчать про наявність анізотропії деформації стінки сечового міхура під час М-холінергічного скорочення завдяки присутності TRPV1 у різних гладком'язових шарах. Вони також вказують на можливість використання TRPV1 як терапевтичної мішені для лікування нетримання сечі, пов'язаного з гіперактивністю сечового міхура, для чого нині існує фактично єдиний клас препаратів – М-холіноблокатори.

«Не оминули ми своєю увагою і проблеми, пов'язані з COVID-19. Спільно з групою вчених під керівництвом провідного наукового співробітника відділу загальної та молекулярної патофізіології нашого Інституту доктора біологічних наук, професора Руслана Струтинського ми досліджуємо внутрішні (ендогенні) механізми, які можуть брати участь у захисній реакції проти інфекції. До речі, цей проект теж підтримується грантом від НФДУ. Про що йдеться? Пацієнти з коронавірусною інфекцією часто гинуть не так безпосередньо від асфіксії, тобто задухи, як від вторинних наслідків захворювання – наприклад, відмови серця, нирок, печінки внаслідок хронічного падіння рівня оксигенації (насиченості крові киснем). Ми намагаємося з'ясувати, чи можна послабити ці негативні наслідки – передусім зменшити ризик розвитку серцевої недостатності у хворих на COVID-19, додатково мобілізуючи внутрішні захисні механізми організму, насамперед наявний у серці білок під назвою АТФ-чутливий калієвий канал, який виконує природню кардіопротекторну функцію. Уже наявні фармакологічні препарати дають змогу активувати цей білок і в такий спосіб поліпшити стан серця завдяки заощадженню ним енергії та зменшенню загибелі кардіоміцитів (клітин серцевого м'яза)».

Про наукову молодь:

«Молодих учених в Інституті фізіології – майже третина від усіх співробітників, тобто близько 100 осіб, що є надзвичайно високим показником в українській академічній науці, – завдяки тому, що наш Інститут постійно веде популяризаційну роботу серед посполитого люду та викладацьку діяльність в університетах. Колеги агітують студентів приходити до наших лабораторій і виконувати тут дипломні роботи, а потім і вступати до аспірантури. Наприклад, юні біологи, які навчаються у моїй рідній Могилянці (Національному університеті «Києво-Могилянська академія») або Київському національному університеті імені Тараса Шевченка, добре знають, що є такий чудовий

інститут, і багато з них, урешті-решт, зостаються у нас. На жаль, чимало наукових установ вимирають через катастрофічний брак молодих кадрів, але в Інституті фізіології активний рух не припиняється.

Рада молодих учених є органом самоврядування наукової молоді. Звісно, ми не маємо великих повноважень і власного фінансового ресурсу, але намагаємося виявляти активність, опікуємося справами, які можна зробити волонтерськими силами. Наприклад, із нашої ініціативи та за нашої участі відбуваються вже доволі відомі науково-популярні заходи – як-от Тиждень мозку в Україні, Дні науки або Наукові пікніки. Рада виконує ще одну дуже важливу функцію – бере участь у розподілі фінансування (стипендій, премій, грантів), яке додатково надається молодим ученим – на дослідження або просто як надбавка до зарплатні. Щоб зробити цей процес прозорим і об'єктивним, ми розробили «human-free» формулу (бо вона виключає вплив людського чинника), яка дає змогу оцінити, хто з молодих учених опублікував більше статей у фахових рецензованих виданнях і взяв участь у престижних наукових конференціях. Саме цю формулу віднедавна застосовує Вчена рада нашого Інституту. А ще ми займаємося громадською діяльністю, зокрема беремо участь у щорічному Марші за науку».

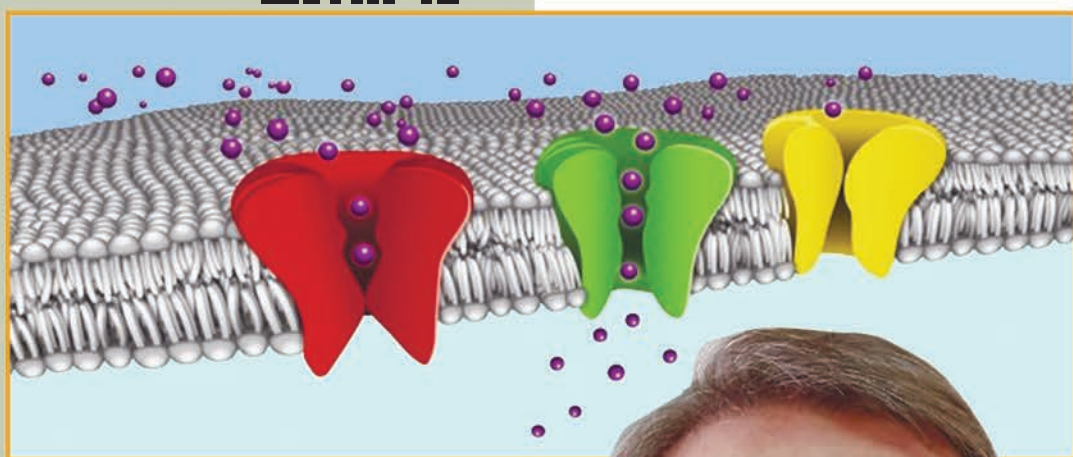
Про незамінність Інституту фізіології:

«Подібних до Інституту фізіології установ у нашій країні немає. У нас узагалі наука невелика, і кожен інститут є унікальним. Наприклад, закриття нашого Інституту означало би втрату всієї української фізіології. Те саме стосується й Інституту молекулярної біології і генетики, й Інституту зоології, і інших. Інститут фізіології – структуротвірний елемент, на якому все тримається. Чіпати його не можна, бо його просто нічим замінити».

**«ФУНДАМЕНТАЛЬНІ
ДОСЛІДЖЕННЯ ПОСТАЧАЮТЬ
ЗНАННЯ ДЛЯ МАЙБУТНІХ
ПРИКЛАДНИХ РОБІТ»**



**ЯРОСЛАВ
ШУБА**





РОЗМОВА ПРО ІОННІ КАНАЛИ

Про іонні канали, дослідження, які виконуються у відділі нервово-м'язової фізіології Інституту фізіології імені О.О. Богомольця НАН України, важливість фундаментальних наукових результатів для подальших впроваджень у практику і роль цієї академічної установи в українській і світовій науці розповів в ексклюзивному інтерв'ю пресслужбі НАН України завідувач відділу – член-кореспондент НАН України Ярослав Шуба.

– Ярославе Михайловичу, якими фундаментальними і прикладними дослідженнями займаються співробітники Вашого відділу? Які вагомі результати вже отримано?

– Предметом наукового інтересу нашого відділу є іонні канали та їхня участь у фізіологічних і патологічних процесах. Оскільки не для всіх термін «іонні канали» може бути знайомим, то спочатку максимально доступно поясню, що за ним стоїть. Усі добре знають, що окремі клітини нашого організму оточені оболонкою, яка зветься мембраною. Наявність мембрани, з одного боку, забезпечує цілісність клітини, а з другого – уможливорює відмінність хімічного складу її вмісту (тобто цитоплазми) від того, що знаходиться у позаклітинному просторі. Клітинна мембрана утворена із жироподібних молекул – ліпідів – і є непроникною для водорозчинних компонентів внутрішньо- й зовнішньоклітинного середовища. Та оскільки обмін такими компонентами для клітини є вкрай важливим, для його забезпечення матінка Природа «вкрасила» у клітинну мембрану багато різноманітних білків, які так і називають – «мембранними». Вони виконують найрізноманітніші транспортні та комунікаційні функції. Біологічні рідини є водними розчинами, в яких солі розпадаються на кислотні залишки – аніони і поєднані з ними катіони (наприклад NaCl, тобто звичайна кухонна сіль, у воді існує у вигляді катіону Na^+ і аніону Cl^-), а тому серед цих білків є й такі, що утворюють пори (отвори) через усю товщу мембрани, крізь які іони, що входять до складу біологічних рідин (тобто Na^+ , K^+ , Ca^{2+} або Cl^- : для всім зрозумілої асоціації – хімічний склад

зовнішньоклітинної рідини подібний до морської води), можуть через мембрану проходити. Оці мембранні білки і називають іонними каналами. Причому ці білки не прості, а є справжніми «розумними» наномашинами (якщо білок каналу уявити у вигляді циліндра, то його діаметр становить приблизно 10 нанометрів, а висота – 15 нанометрів), спроможними відкривати і закривати свою пору під впливом певних хімічних (гормонів, нейромедіаторів, біологічно активних речовин, лікарських препаратів, кислотності та тонічності середовища) або фізичних (світла, тепла, холоду, механічного подразнення) чинників (стимулів) і при цьому пропускати не всі, а тільки вибрані іони. У різних клітинах нашого організму присутні дуже багато типів іонних каналів, які розрізняються за тим, на які стимули вони реагують і які іони селективно пропускають.

Чому іонні канали надзвичайно важливі? Тому що кожна клітина нашого організму – це ніби малесенька електрична батарейка: всередині клітини електричний потенціал на 40–80 мілівольт (залежно від типу клітин) більш негативний, ніж назовні. Оскільки цей потенціал утворюється на мембрані клітини, то його називають мембранним потенціалом. Будь-яку батарейку, щоб вона працювала, потрібно заряджати. Якщо батарея смартфона чи автомобіля заряджається через зарядний пристрій шляхом під'єднання до електромережі, то у нашому організмі на таку зарядку кожної (!) його клітинки витрачається в середньому 50 % всієї енергії, яку ми споживаємо з їжею. Ця зарядка полягає у створенні за рахунок спожитої енергії асиметричної концентрації Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^- по обидва боки клітинної мембрани (наприклад, назовні багато Na^+ , Ca^{2+} , Cl^- , а всередині їх мало, зате багато K^+). А тепер уявімо собі, що якийсь тип іонного каналу під впливом якогось фізико-хімічного стимулу відкрився. Це приведе до того, що певний іон з того боку мембрани, де його багато, почне перетікати туди, де його мало, створивши трансмембранний електричний іонний струм і змінивши мембранний потенціал. А це означає, що фізико-хімічний стимул перетворився на електричний сигнал, який вже може, далі передаючись із клітини на клітину (знову таки завдяки роботі іонних каналів, але уже інших типів), «подорожувати» нашим організмом. Якщо іоном, який створює струм, є Ca^{2+} , то зовнішній стимул може викликати специфічну реакцію клітин (наприклад, скорочення, секрецію якоїсь речовини, таксис, поділ або смерть), адже природа вибрала саме іони Ca^{2+} універсальним посередником в активації найрізноманітніших клітинних функцій. Отже, іонні канали – це ключові мембранні сигнальні білки, які в нашому організмі забезпечують перетворення найрізноманітніших стимулів у електрохімічну форму, придатну для подальшого розповсюдження й обробки різними кліти-

нами і системами. Оскільки робота іонних каналів пов'язана із протіканням мембранних струмів і змінами мембранного потенціалу, то зареєструвати її на окремих клітинах можна методами електрофізіології. Щоб підкреслити, наскільки ці методи повинні бути чутливі і досконалі, скажу, що струм, який протікає через усю мембрану клітини, у середньому становить усього одну мільярдну частину ампера, а через один канал – одну трильйонну частину ампера.

Як і білки загалом, іонні канали кодуються генами, які науці вже всі відомі. Клітина сама регулює, які «канальні гени» увімкнути, щоб напрацювати (або, як кажуть науковці, «експресувати») потрібні їй канали. А тому кожен вид клітин нашого організму характеризується своїм, притаманним лиш йому «каналомом», тобто набором типів іонних каналів, які знаходяться в його мембрані та забезпечують унікальні сигнальні функції цих клітин. Термін «каналом» було введено за аналогією із більш широко відомими «геном», «протеом», «метаболом», аби підкреслити важливість цих білків. Порушення у функціонуванні клітинного каналому призводять до ураження клітинних функцій і, відповідно, до захворювань, які прийнято називати каналопатіями. До класичних каналопатій відносять, наприклад, серцеві аритмії, епілепсію, муковісцидоз. Більше того, перебіг багатьох розповсюджених, соціально значущих неінфекційних захворювань (включно з такими, як-от рак, діабет, гіпертонія, ішемічна хвороба серця) також може залежати від порушень каналому або супроводжуватися такими порушеннями.

Якщо конкретизувати, ми вивчаємо у нашому відділі каналами різних клітин – нейронів, кардіоміоцитів (клітин серця), епітеліальних, гладком'язових (м'язових клітин, що утворюють стінки внутрішніх порожнинних органів) – і зміни у них за таких захворювань, як епілепсія, рак, діабет, інфаркт міокарда. Для всіх цих захворювань розроблено тваринні моделі (на щурах), які їх добре відтворюють, що значною мірою знімає проблему дефіциту експериментального матеріалу. Метою досліджень є виявлення іонних каналів, експресія чи функція яких змінюється при цих захворюваннях, з'ясування того, як ці зміни позначаються на патогенетичних ознаках захворюваннях і, зрештою, чи можна ці канали використовувати як мішені для терапії. Наші дослідження є суто фундаментальними – ми фактично постаємо знання для майбутніх прикладних робіт зі створення таких терапій.

Щодо «вагомих результатів», то, як би мені цього не хотілося, але я не можу гучно заявити, що ми вирішили проблеми раку, діабету або ішемічної хвороби серця. Адже вирішення кожної з цих проблем можна порівняти зі спорудженням величезної будівлі, храму, яке ще

далеке від завершення, а кожен конкретний досягнутий нами результат може розглядатись тільки як одна цеглинка, додана у зведення стін. Але я певен, що ці наші цеглинки вкрай важливі з точки зору з'ясування участі іонних каналів, бо публікуємо ми свої результати в англomовній міжнародній науковій літературі, а туди із малозначущими, не вагомими результатами не візьмуть.

— Але ж, можливо, у Вас особисто і Ваших колег є здобутки, які вже успішно використовуються на практиці або мають перспективи такого використання в майбутньому?

— Як я вже зазначав, наші дослідження є суто фундаментальними, а тому, коли мене питають про практичне застосування їх результатів, завжди доводиться ніби виправдовуватися, бо розумію, що на емоційному рівні люди очікують конкретної відповіді, скоріш за все, у вигляді якихось таблеток чи мікстур. У цьому контексті я завжди наводжу приклади з історії. У 60–70-х роках минулого сторіччя у США працювали дві групи дослідників, одна з яких зацікавилася, чому деякі мухи (мова йде про плодових мушок — дрозофіл) після їхньої іммобілізації ефіром лежать нерухомо, а в інших кінцівки і крильця продовжують тремтіти; друга — чому частина мух від спалаху світла втрачає зір, тоді як із іншими нічого такого не стається. Якби цих дослідників тоді спитали, які вони бачать практичні виходи зі своїх досліджень, то їм, напевно, теж довелось б якось виправдовуватися, бо з точки зору пересічного громадянина, цікавитись і витратити кошти на з'ясування того, чому муха тремтить або сліпне — це нонсенс. На щастя, таких питань згаданим дослідникам не ставили, інакше через 20 років після того наука все ще не знала би про молекулярну організацію двох великих класів іонних каналів — калієвих і транзиторного потенціалу, а ще через 20 — не було б з'ясовано, в яких захворюваннях людини ці канали беруть участь.

Ще один приклад, актуальний для сьогодення. Тепер у зв'язку з пандемією COVID-19 уже, напевно, і діти дошкільного віку знають, що таке ПЛР (полімеразна ланцюгова реакція). Але не всім, можливо, відомо, що ПЛР було запропоновано у 1983 році, а до того впродовж 30 років (тобто з часу встановлення структури ДНК) зусиллями різних груп науковців тривали малопомітні, але не менш важливі, дослідження з виявлення всіх компонентів і умов, необхідних для проведення такої реакції. До речі, американського вченого Кері Бенкса Мулліса, який усі ці компоненти склав до купи і провів перші ПЛР, у 1993 році удостоїли за це Нобелівської премії в галузі хімії. Тому фундаментальні дослідження і результати є самоцінними, а їх практичне застосування рано чи пізно знайде своє втілення. Причому затримка може становити десятки років.

Але це не означає, що науковці не повинні прагнути, аби їхні дослідження мали практичні перспективи вже на стадії постановки мети. Мішенями багатьох фармакологічних препаратів (наприклад, анальгетиків, місцевих і загальних анестетиків, антиаритміків, деяких антигіпертензивних засобів, цукрознижувальних антидіабетиків, кардіопротекторів, антиепілептиків), які застосовуються у сучасній практичній медицині вже тепер, є іонні канали. Цікаво, що деякі з цих препаратів почали вживати у клініці ще до того, як було з'ясовано, що їх мішенями є іонні канали. Але ще більше таких препаратів – експериментальні, дозволені для використання тільки у дослідницькій роботі, бо вони або не достатньо специфічні, або канали – мішені їхньої дії широко розповсюджені у різних системах організму, через що вони можуть викликати значні небажані побічні ефекти. Тому ми зараз розвиваємо новаторський проєкт, який би дозволив використовувати такі препарати дуже локально, тільки у тому місці організму, де це потрібно, і тільки тоді, коли це потрібно. Для цього препарат планується інактивувати шляхом його приєднання до захисного наноконструксу, що може вивільнювати активну форму препарату лише під дією вузького пучка рентгенівського випромінювання (яке є високопроникним), спрямованого в ту область організму, де це потрібно зробити. У структурі наноконструксу препарат буде неактивним, тому не викличе небажаних побічних дій.

Ми співпрацюємо у створенні такої системи з фізиками і хіміками та сподіваємося, що в перспективі отримані результати знайдуть своє застосування у клінічній практиці. На нашу думку, такий підхід може бути корисним, зокрема, у протираковій терапії. Адже ракові клітини істотно змінюють свій каналом, і якщо певні типи каналів, які експресуються у ракових клітинах, повністю «відкрити», щоб іони могли через них вільно рухатись (іншими словами, закортити «батарею» ракової клітини, щоб її повністю розрядити), то це призведе до втрати мембранного потенціалу і летальних пертурбацій цитоплазматичного середовища, які ці клітини вб'ють.

– Чи співпрацюєте з іноземними колегами? Якщо так – із якими установами й за якими проєктами?

– Співпраця з іноземними колегами завжди корисна, оскільки створює умови для професійного взаємозбагачення, пришвидшує реалізацію ідей та уможлиблює використання кращої експериментальної бази – закордонної. У різний час ми взаємодіяли з багатьма з них, особливо плідною є співпраця з науковцями Лілльського університету (Франція) зі з'ясування змін каналому ракових клітин при їх злоякісному переродженні. Проведені дослідження показали, що ці зміни сприяють набуттю характеристичних ознак злоякісного пере-

родження – як-от зростання проліферативної активності (тобто розмноження) клітин, підвищення їхньої стійкості до апоптозу (тобто природної загибелі клітин), посилення міграції та метастазування. Ми дійшли висновку, що набуття кожної з характеристичних ознак раку настільки залежить від того, які канали з'являються (експресуються) у мембрані ракових клітин і як вони працюють, що їх можна класифікувати як особливий тип каналопатій, а саме – онкоканалопатії. Тому фармакологічний вплив на канали потенційно дає інструмент контролю над небажаною поведінкою ракових клітин. Роботи у цьому напрямі інтенсивно ведуться, і вже є обнадійливі результати, але передбачити, коли вони перейдуть у широку клінічну практику, важко.

– Чим особисто для Вас є Інститут фізіології?

– Коли 1980 року я вперше прийшов до Інституту аспірантом працювати (підкреслюю, працювати, бо до цього я в Інституті неодноразово бував, адже мій батько у ньому теж «виріс» – від аспіранта до академіка), то одразу відчув, що у стінах цієї установи відбувається щось особливе. Це був час, коли на повну використовувалися переваги нововинайденої в Інституті електрофізіологічної методики, яка дозволяла вимірювати мембранні струми і потенціали ізольованих нервових клітин в умовах, коли експериментатор міг довільно змінювати і контролювати хімічний склад не тільки зовнішнього, а й внутрішнього середовища нейрона (пропоную уявити, як це – зробити отвір у нейроні мікронних розмірів, вилучити через нього природню цитоплазматичну рідину, замість неї увести штучну і щоб нейрон при цьому продовжував жити і генерувати електричні сигнали, а дослідник мав можливість їх вимірювати). Це надавало небажені доти експериментальні можливості. Тому співробітники працювали з величезним піднесенням, не шкодуючи ні часу, ні зусиль, щоб якомога швидше назбирати якнайбільше нових даних, ці дані обробити, обговорити і «запустити» у друк. А диригував усім цим злагодженим «науковим оркестром» Платон Григорович Костюк. Це дало можливість Інституту в умовах радянської «залізної завіси» прогрімити на увесь світ і стати Меккою для західних науковців (мрію, щоб нинішні і майбутні здобутки Інституту сприяли відновленню цієї традиції). Ясно, що я, як «новачок», просто не міг не відповідати тій атмосфері, з усією пристрастю у неї занурився і досі ніяк не можу виринути. Тому мене особисто дуже обурюють деякі з «новоприбулих» у науку, які реально не знають і не усвідомлюють, як вона насправді робиться і якої віддачі потребує, а сприймають її як якийсь хобі і здебільшого займаються не експериментальною роботою, а навколонауковою демагогією.

У той час в Інституті було описано кальцієві канали нервової клітини, відкрито рецептори протонів, рецептори аденозинтрифосфорної кислоти (іонні канали, які відкриваються хімічними речовинами, ще називають рецепторами), так званий низькопороговий різновид кальцієвих каналів тощо. На Заході підхопили і розвинули всі ці відкриття, але пріоритет назавжди залишився за нами. Це я говорю тільки про близьку мені тематику з іонних каналів. Але Інститут успішно розвивав і розвиває й інші напрями фундаментальної та клінічної фізіології і патофізіології. Причому попри всі негаразди пострадянського періоду і всупереч їм Інститут продовжує плідно працювати, залишаючись в Україні лідером не тільки фізіологічної науки, а й науки загалом, завдяки якому значною мірою цю науку в світі і знають. Це унікальна установа, яку сміливо можна назвати національним науковим надбанням.

З ПАСІКИ У ЛАБОРАТОРІЮ



ОЛЕСЯ
ГАВРИЛЮК



«Я ВІДЧУВАЮ ДРАЙВ ВІД НАУКИ»

В

ажко знайти усміхненішу, оптимістичнішу й позитивнішу людину, ніж вона. Хоча її шлях не був устелений трояндовими пелюстками. Ентузіастка академічної мобільності, міжнародної та міжінституційної співпраці, молода, надзвичайно активна і продуктивна науковиця – все це про Олесю Гаврилюк, доктора філософії у галузі біології, наукову співробітницю відділу біології екстремофільних мікроорганізмів Інституту мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України і голову Ради молодих вчених цього Інституту. 2024 року вона разом зі ще двома науковицями Національної академії наук України отримала спеціальну відзнаку від журі української премії L'ORÉAL – ЮНЕСКО «Для жінок у науці» – за визначні успіхи у науковій кар'єрі. Про можливості переробки органічних відходів за допомогою бактерій, а також про особливості досліджень в Україні й за кордоном Олеся Гаврилюк охоче розповіла в інтерв'ю пресслужбі НАН України.



– Пані Олесю, розпочну з традиційного запитання: як Ви стали науковицею і хто Вас до цього спонукав, надихнув?

– Усе почалось у дитинстві. Ще зовсім маленькою я хотіла стати ветеринарним лікарем. Потім – журналістом. А тоді мені випало взяти участь у кількох біологічних олімпіадах і конкурсах.

Я з Вінницької області, але щовихідних їздила до Вінниці у Малу академію юних натуралістів (це було відгалуження Малої академії наук). По суботах цікаві викладачі читали нам лекції з біології. Мені це дуже подобалося, досі згадую ті приємні часи. А раз на рік там відбувалися конкурси серед школярів. На один такий конкурс якимось відрядили і мене. Але треба було вибрати тему і підготувати ґрунтовний виступ. Першими мені на думку спали бджоли. Бджіл тримав мій дідусь, а коли він помер (мені було тоді п'ять років), комахами заопікувався мій тато. Це не було його хобі – він хотів зберегти бджіл у пам'ять про дідуся. Коли я підросла, залучав до цієї справи і мене. Я допомагала закладати вошину до вуликів, качала мед і навіть їздила продавати його на базарі. Тобто про бджіл я вже дещо знала, тому вирішила написати доповідь саме про них. Звісно, це важко назвати масштабною науковою роботою, бо школярі не виконують досліджень у повному розумінні цього слова. Але я була відмінниця і дуже старалася підготуватися добре. Написала 40 сторінок тексту включно з переліком літератури, підготувала презентацію. І виграла конкурс.

Потім мене відправили на ще один. Цього разу я взяла іншу тему. Моє рідне село Сестринівка на Вінниччині було родинним гніздом Грушевських. Михайло Грушевський згадував його з великою теплою, писав, що це чудова місцина. Й оскільки він кілька разів бував у Сестринівці, то тамтешні музей і парк носять його ім'я. Тому свою доповідь на другий біологічний конкурс я присвятила цьому парку і деревам, які там росли.

Словом, мені так сподобалося готувати конкурсні проекти з біології та екології, вивчати джерела, долучатися до науки, бувати на різних заходах, знайомитися і спілкуватися з людьми, дізнаватися про їхні дослідження, що в десятому класі я вже знала, куди вступати. Моєю мрією лишалася медицина, але я не дуже високо оцінювала свої шанси вступити на бюджет за цією спеціальністю. Крім того, ми з мамою тоді були вже вдвох – тато помер невдовзі по тому, як я виграла конкурс із доповіддю про бджіл, яку, до речі, він допомагав мені готувати. Але біологію кидати не хотілося, тому я вибрала те, що з нею пов'язане і що мені до душі, – біотехнологію. І вступила на факультет екологічної безпеки, інженерії та технологій Національного авіаційного університету на кафедру біотехнологій.

— А як Ви потрапили до Інституту мікробіології і вірусології?

— Перший курс університету виявився переважно теоретичним, а мені подобалася практична наукова робота. Ми вивчали психологію, філософію, а от біології, мікробіології не вистачало. У перші місяці здавалося, що навіть у школі я виконувала більше досліджень. Викладач мікробіології Лариса Сергіївна Ястремська познайомила нас з Олександром Борисовичем Таширевим (завідувач відділу біології екстремофільних мікроорганізмів Інституту мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України, доктор технічних наук, професор). Йому тоді потрібні були перспективні студенти, які хочуть



займатися наукою. І от 18-річною, по закінченні першого курсу, я вперше прийшла до Інституту, в лабораторію Олександра Борисовича. Він запитав, яка тема мене цікавить і чи серйозний мій інтерес. Я його запевнила, що приходитиму працювати після занять, робитиму все, що треба, тільки щоб навчитися. Бо в нашому університеті, звісно ж, теж були і лабораторії, і обладнання, але з дослідницькими можливостями Інституту їх не порівняти. Навіть попри те, що деяке інститутське обладнання було не найновіше. Олександр Борисович дозволив працювати у нього — під керівництвом моєї колеги Віри Михайлівни Говорухи. Вона саме закінчувала дисертацію про залізо-відновлювальні мікроорганізми (це такі металорезистентні бактерії, які в доквіллі можуть трансформувати сполуки металів із токсичних у нетоксичні). Я ознайомилася з цією темою і почала працювати в команді з Вірою Михайлівною. Невдовзі ми вже опублікували першу спільну статтю. Бажання долучитися до справжньої науки було таким сильним, що я приходила в Інститут практично за будь-якої погоди. Пригадую, сніжить, морозно, на вулиці ожеледиця, а я після четвертої пари, яка закінчувалась о 15:30, їхала з Борщагівки у Феофанію. Добиратися було важко, та нас із подружкою-однокурсницею це не лякало. Мерзли, але їхали.

— Наука вимагає жертв, так?

— Тоді було таке велике натхнення до роботи. Зараз думаю, що, можливо, це трохи занадто і варто ставитися до всього спокійніше.



Олеся Гаврилюк і Олександр Таширев (2017)

— Це приходить з віком.

— Так. Іноді ж можна було присвятити трохи більше часу собі. Але я відчувала такий драйв, що йому не можна було опиратися. Хотілося постійно щось робити, рухатися вперед, дізнаватися нове. Ми з Олександром Борисовичем дуже часто працювали у лабораторії до пізнього вечора, майже до ночі. Наприклад, створювали дуже низький редокс-потенціал з металами (зокрема з ванадієм), тобто такий, за якого бактерії не можуть існувати, але у них виходило адаптуватись і до таких умов. Потім ми разом ішли на тролейбус. Думаю, оце натхнення до науки було великою мірою результатом впливу Олександра Борисовича, бо він і сам любить науку, й інших уміє зацікавити.

Якось ми з Олександром Борисовичем і ще однією нашою колегою Марією Лободою, яка тоді була аспіранткою, а також зі знайомими спелеологами Олександра Борисовича спускались у глибини карстової печери Атлантида на Хмельниччині, відбирали зразки старовинних природних мікробних угруповань, які тисячоліттями розвивалися там, де не ступала людська нога (Олександр Борисович називав це біорозвідкою). Потім привозили ці зразки у лабораторію і досліджували їх: виділяли й ідентифікували нові штами, перевіряли їхню здатність детоксикувати метали. Оскільки мій тато помер, коли мені було лише 15 років, фігура наставника на тому етапі стала для мене надзвичайно важливою. Коли у 18 я вперше почала працювати у відділі Олександра Борисовича, він у багатьох аспектах замінив

мені батька. Він завжди знаходив час, щоб дати пораду, підтримати або просто вислухати. Саме від нього мені передалося невгамовне бажання досліджувати, відкривати щось нове, залізи вглиб невідомого – як у прямому сенсі, під час спелеоекспедицій, так і в науковому пошуку. Він на своєму прикладі навчив мене не боятися складних викликів і завжди йти далі, шукаючи відповідей.

В Олександра Борисовича взагалі багато знайомств і зв'язків по всьому світу. Він і в Антарктиді був. А якось 2019 року його запросили на конференцію в Литву, у Каунас, організатори оплатили квитки на літак. Але в таких випадках він ніколи не їздив сам, а намагався залучати всіх, хто активно працював разом з ним, щоб вони теж могли розповісти про свої дослідження. Того разу, наприклад, поїхали Віра Михайлівна і я.

Грошей на науку завжди бракувало, тому Олександр Борисович постійно шукав додаткові можливості, які підтримали б працівників відділу. Подавав заявки на гранти. Скажімо, у 2018–2019 і 2020–2021 роках наш відділ виконував дослідження за грантами від CRDF Global (Фонду цивільних досліджень та розвитку США), до яких залучили і мене. Під час виконання проекту за першим грантом я ще була 20-річною студенткою, а вже брала участь у такій серйозній роботі. Бо зазвичай брали старших науковців, щонайменше аспірантів, а студентів рідше. Але тоді я цього не усвідомлювала – зрозуміла тільки пізніше.

Виконання проекту в межах другого гранту припало вже на мою аспірантуру. Наш відділ об'єднав цей грант зі ще одним – тревел-грантом від BioUkraine – і 2020 року ми з Вірою Михайлівною вирушили до США здобувати новий досвід. П'ять тижнів перебували в Університеті Південного Міссісіпі, працювали там з екологічно перспективними бактеріями – зі штамми роду *Bacillus* і з клостридіями, які здатні зброджувати великі обсяги органічних відходів. По-перше, відходів під час ферментації меншає. По-друге, в процесі мікробного зброджування виділяється біогаз. У цьому університеті ми познайомилися з новими людьми – й аспірантами, і вже досвідченішими дослідниками (з багатьма досі підтримуємо контакт, намагаємося співпрацювати), а ще – опанували сучасні методи лабораторних досліджень.

Наступні майже два тижні ми провели в Університеті штату Оклахома (факультет мікробіології та молекулярної біології), у лабораторії Маріанни Патраучан (доктор, професор). Вона теж з України і теж досліджує мікроорганізми, але псевдомонади (*Pseudomonas*), до яких належить, зокрема, синьогнійна паличка. Бактерії цієї групи впливають на регуляцію вмісту кальцію в клітинах інфікованого ними

організму. В цьому Університеті для нас провели потужний вишкіл з молекулярної біології та біоінформатики, ознайомили з новітнім обладнанням – ампліфікаторами, апаратами для форефу (пізніше наш відділ придбав такі прилади за грантові кошти).

Ми були в такому захваті, повернулися з великим натхненням. І вдома теж почали застосовувати ці мікробіологічні й біохімічні методи, яких нас навчили американські колеги. Поєднали їх з молекулярною біологією. Такий підхід дає змогу виконувати дослідження на високому рівні і відкриває дорогу до опублікування у найкращих журналах.

– А що Ви досліджуєте саме зараз?

– Мої поточні наукові інтереси охоплюють екологічну та біомедичну мікробіологію. Останні два роки працюю в Іспанії і в Україні. Торік я працювала запрошеною дослідницею (visiting researcher) в Політехнічному університеті Каталонії за програмою іспанського уряду щодо підтримки українських науковців в Іспанії. Кілька місяців була там, потім поверталася на місяць додому. На початку 2025 року в мене було короткотермінове чотиримісячне стажування за тревел-грантом від FEBS (Федерації європейських біохімічних товариств). До середини травня я активно працювала над оптимізацією методів наноінкапсуляції біопестицидів для боротьби з фітопатогенними мікроорганізмами. Від 1 червня цього року я офіційно почала реалізувати власний науковий проєкт як постдокторська дослідниця в межах програми «Дії Марії Склодовської-Кюрі». Він триватиме два роки. Я подала заявку ще рік тому й щиро не очікувала, що отримаю фінансування, адже було подано понад 550 заявок, із яких тільки 49 здобули підтримку. У галузі природничих наук пройшло не більше десяти проєктів, тому для мене це стало справжнім досягненням і великою честю. Моїм ментором став професор Цанко Цанов, керівник групи молекулярної та промислової біотехнології у відділі хімічної інженерії Політехнічного університету Каталонії. Він болгарин за походженням, але вже 20 років працює в Іспанії. Разом з ним ми будемо розробляти наноструктури нового покоління для таргетного ураження респіраторних патогенів, зокрема *Streptococcus pneumoniae*. Оригінальна назва проєкту: «AntiMDR-NANO – Next-generation antimicrobial nanostructures to target multi-drug resistant respiratory pathogens» (HORIZON-1245103). Унікальність стипендії за програмою «Дії Марії Склодовської-Кюрі» полягає не лише у фінансуванні наукових досліджень, а й у всебічній підтримці кар'єрного розвитку дослідника. Програма передбачає вдосконалення лідерських навичок, участь у професійних тренінгах, курсах, воркшопах, опанування новітніх методик, а також вивчення мов. Такий підхід сприяє форму-

ванню незалежних науковців із потужним міжнародним досвідом. Можливо, саме завдяки акценту програми на розвиток академічної автономії та лідерства професор Цанко Цанов довірив мені важливу роль – бути офіційним співкерівником дисертаційного дослідження аспірантки з Сербії Йовани Богдановіч. Це надзвичайно відповідальний і водночас надихаючий крок у моїй кар'єрі, адже раніше я мала досвід керівництва студентами бакалаврського та магістерського рівнів, але вперше виступаю у ролі співкерівника PhD-дисертації в іспанському університеті.

Я глибоко вдячна своєму науковому керівникові за цю довіру, що відкриває нові горизонти для мого зростання як незалежного науковця. Для мене професор Цанов є прикладом справжнього, відданого своїй справі наставника та керівника, який поєднує серйозну наукову вимогливість із людяністю та щирою підтримкою.

Раніше я їздила у закордонні лабораторії також у межах грантів від FEMS (Федерації європейських мікробіологічних товариств) та FEBS (Федерації європейських біохімічних товариств). До речі, ці два товариства надають чимало хороших грантів, але ними чомусь не всі користуються. Хоча українці зараз мають шанси виграти кошти на стажування, як, можливо, ніколи раніше, особливо молодь. До початку повномасштабної війни ці гранти теж надавались, але 2022 року FEBS і FEMS започаткували окремі грантові програми спеціально для українців. І деякі з цих програм існують досі. Є й інші гранти, за які можуть змагатися громадяни різних країн, зокрема й українці. Це, наприклад, тревел-гранти від Американського мікробіологічного товариства (American Society for Microbiology, ASM), Міжнародного комітету харчової мікробіології і гігієни (International Committee on Food Microbiology and Hygiene, ICFMH). Деякі колеги за кордоном ніби жартома кажуть, що Україна зараз має перевагу, бо у нас триває війна, і тому нас підтримують більше, цілеспрямовано. Я відповідаю: краще б цих переваг не було, але щоб не було і війни. До речі, ми і до великої війни успішно вигравали додаткове фінансування, в рівних умовах із науковцями з інших країн. Хоча, звісно, від 2022 року можливостей суттєво побільшало. У перший рік повномасштабного вторгнення підтримка взагалі була шалена. І багато грантів призначалися для вчених, які залишалися працювати в Україні. Один із них отримала і я – від польської Фундації імені Кшиштофа Скубішевського. Це був невеликий грант, але завдяки ньому можна було придбати реактиви і закінчити дослідження. Або дописати дисертацію чи наукову статтю.

Я не вважаю себе мотиваційним коучем, але хочу дати головну пораду молодим науковцям: поки ви молоді, маєте сили, натхнення і

бажання – беріть участь у різних конкурсах, змагайтеся за гранти, зокрема за тревел-гранти, які допоможуть вам поїхати за кордон на стажування чи на конференцію. І для цього не конче кидати Україну та свою родину. Але академічна мобільність надзвичайно важлива: ви побачите світ, познайомитеся з новими людьми, лабораторіями, методиками, обладнанням, здобудете досвід, обмінюєтесь ідеями. Це стимулює працювати краще. Потім усі ці знання й навички ви привезете додому, навчите студентів, які прийдуть до вас на практику.

Грантодавці дуже часто оприлюднюють переліки з сотень лабораторій (з усіма контактами), які готові приймати аспірантів, студентів, навіть докторантів, постдоків. Для стажування можна обрати будь-яку з них – залежно від ваших зацікавлень і напряму досліджень. Навіть якщо ви не знайомі з керівниками і працівниками цих лабораторій – не бійтеся, пишіть їм листи. Інформація про більшість науковців, включно з відгуками, є в інтернеті. Розповідайте про себе, просіть листа підтримки, бо це обов'язкова умова для стажування: він засвідчує, що вас готові прийняти (забігаючи наперед, скажу, що по завершенні вам знадобиться лист-підтвердження про пройдене стажування). Будьте наполегливі, стукайте в усі двері. Хтось неодмінно відповість. Найбільше можливостей – до 35 років. Це роки навчання в аспірантурі і кілька років після захисту дисертації.

Так, у невідомість іти страшно. І важко, бо ситуація в країні депресивна. Легко не буде, мабуть, ніколи. Але це, навпаки, означає, що треба рухатися. Переборіть себе, намагайтеся перетнути те, що вважаєте межею своїх можливостей.

Отже, перша моя порада – пробувати себе. А друга – працювати в команді. Я помітила, що серед науковців є конкуренція. Не лише в Україні, а й за кордоном.

Ніхто ніколи мені не казав: «Кидай назавжди свій Інститут в Україні і переїжджай до нас». Кожен має вибір, ніхто нікого ні до чого не змушує. Зрештою, не обов'язково кидати щось одне, щоб починати щось інше. Можна працювати і тут, і там. Торік працювала в Іспанії як запрошений дослідник, тобто мала подвійну афіліацію – українську й іспанську. Запрошення до співпраці з-за кордону траплялись – у формі як проєктів, так і короткотермінових позицій. Зараз важливо зберігати наукові зв'язки з Україною, особливо в складні часи. Я бачу велику цінність у міжнародних партнерствах, але також вважаю за необхідне підтримувати українську науку, тому комбіную участь у міжнародних дослідженнях із роботою в українській інституції. У моєму українському Інституті керівництво дає змогу працювати на дві країни. Крім того, це вигідно, бо допомагає налагоджувати міжнародні зв'язки, про що я вже сказала, а також

підвищує рейтинг нашої установи завдяки спільним дослідженням і публікаціям (хоча зважають не тільки на це, а й на практичні впровадження). А від рейтингу залежить фінансування. Звісно, є й інші варіанти: дехто звільняється, емігрує, обриває контакти. Але, мені здається, в українських науковців, які тимчасово або постійно живуть і працюють за кордоном, має бути місія – максимально мобілізуватись і підтримати своїх колег в Україні.

– До речі, про впровадження. Й Олександр Борисович, і Віра Михайлівна дуже цікаво розповідали про розробки Вашого відділу. Чи доходять ці результати до практики? Або чи є бодай перспективи для їх широкого використання?

– Перспективи є. Вони завжди є. Але, звісно, впровадити розробку значно важче, ніж опублікувати статтю. Все залежить ще й від того, про яку країну йдеться: від фінансових можливостей, від попиту на ринку, від національного законодавства. Нещодавно Олександр Борисович і Віра Михайлівна разом із колегами з Інституту газу НАН України отримали Національну премію України імені Бориса Патона – саме за прикладні результати (з формулюванням «за роботу «Комплекси утилізації органічних відходів як елемент розподіленої генерації у воєнний час»»). Це були багаторічні дослідження, пов'язані з біогазом. Створені установки-ферментери для переробки відходів успішно випробувано і на полігонах, і у приватних садибах, зокрема котеджних господарствах. Тобто розробка справді працює – і це підтверджено не просто в лабораторії, а на великих сміттєзвалищах. Але до масштабного промислового виробництва справа поки що не дійшла.

Наскільки мені відомо, загалом у практику потрапляють лише кілька відсотків дослідницьких результатів. Тобто є прогалина між наукою і промисловістю. Не лише в Україні – скрізь. І це проблема. За кордоном постійно відбуваються якісь форуми, де науковці і підприємці збираються, щоб познайомитись і обговорити можливу співпрацю. Такі заходи проводять, щоб стимулювати впровадження розробок.

Розрив між наукою і виробництвом із боку науки має ще один нюанс: головне завдання науковця – виконувати дослідження. На Заході до цього додається ще й обов'язок викладати, бо лабораторії діють переважно в університетах. Типова наукова кар'єра там виглядає так: здобув освіту, захистив дисертацію, провів кілька років у постдокторальних дослідженнях, а далі маєш готувати наступні покоління вчених. Ну, і, звісно, продовжувати дослідження і публікувати статті. Поєднувати це все ще зі впровадженням розробок на виробництві практично неможливо.

Усіх науковців спонукають: публікуйтесь, публікуйтесь, публікуйтесь. І стимулюють публікаційну активність. Наприклад, Пряшівський університет отримує від держави суттєве додаткове фінансування за кожну статтю, опубліковану у рейтинговому фаховому журналі першого квартилю. Причому ці кошти дають змогу покривати робочі витрати не лише самого автора статті, а й інших працівників університету. Що більше таких статей, то більше фінансування. І всі тільки виграють від цього. Це дуже мотивує.

– Частина ваших із колегами досліджень, як Ви вже розповідали, стосуються переробки відходів. Здавалося б, це дуже актуальна і болюча тема, бо людство продукує сміття такими обсягами, що ризикує в ньому потонути. Але, схоже, до цієї проблеми замахало уваги і більшість із нас усе ще не сортують відходи.

– Так, на жаль, небагато людей займається сортуванням відходів. І ще менше – використовують сучасні технології для їх утилізації. Насамперед мова йде про органічні, харчові відходи: їх можна змішати та піддати мікробному зброджуванню – і вже за 2–3 дні на виході отримати біогаз і ферментований рідкий залишок, адже органіка є джерелом вуглецю. Крім того, під дією ферментативних систем бактерій деякі полімери трансформуються до мономерів, наприклад глюкози, яку мікроорганізми надалі використовують як джерело енергії.

Неорганічні матеріали загалом складніше піддаються біодеградації. Наприклад, металеві пакувальні контейнери (жерстяні банки) можуть зберігатися в довкіллі десятиліттями, суттєво не розкладаючись. Хоча поліетилен і пластик певні бактеріальні штами вже здатні частково руйнувати, цей процес є повільним і неефективним у природних умовах. Пластик – це, безумовно, екологічна проблема. Хоча правильніше сказати, що проблема полягає не стільки в самому матеріалі, скільки в людському чиннику – у неналежній утилізації. Адже пластик від початку був задуманий як багаторазовий матеріал, що мав замінити пакувальні вироби, які при біорозкладі на сміттєзвалищах забруднювали довкілля.

– Яка іронія! А тепер усі знову переходять на торби. Екоторби, як їх називають.

– Так. Бо замість того, щоб ощадливо використовувати пластик, його масово викидають. Ще одна величезна проблема, похідна від цієї, – мікро- і нанопластик. Це мікрочастинки пластику. Зараз уже немає такого середовища, в якому їх не було б. Вони токсичні, накопичуються в рослинах, у воді і впливають на наше здоров'я. З цим важко щось вдіяти. Потрібно бодай почати відокремлювати органічні відходи від неорганічних і переробляти їх. Олександр Борисович проектував наші ферментери з думкою про приватні господарства, котеджі,

які могли б забезпечувати себе біогазом самі. І деякі користувачі випробували цю розробку, але масштабувати її поки що не вдається.

– **А ви з колегами її якось рекламуєте?**

– В Олександра Борисовича є YouTube-канал, де він викладає сюжети про розробки нашого відділу. Публікує інформацію в соцмережах, зокрема у своєму Facebook-профілі. 2020 року разом з Олександром Борисовичем і Вірою Михайлівною ми брали участь у навчальній програмі GIST Innovates Ukraine. Це щось на зразок курсів для стартаперів-початківців. Нас навчали, як аналізувати ринок і як правильно просувати розробки.

– **Як мотивувати людей сортувати сміття і користуватися спеціальними установками для переробки того, що можна переробити вдома?**

– Це складне питання. Важко мотивувати людей самими поясненнями, що сортувати і переробляти сміття важливо для збереження довкілля. Потрібні серйозніші аргументи. І до того ж – на державному рівні.

Напевно, мають бути законодавчі стимули. Якщо люди можуть не витрачати на щось кошти, то вони зазвичай так і роблять. Тому, скажімо, слід закладати у вартість пластикового пакета витрати на його переробку. Можливо, пропонувати якусь вигоду, заохочення, зручність. Збільшувати кількість пунктів, які збирають специфічні відходи, наприклад батарейки. Бо зараз це роблять переважно великі торговельні мережі.

Крім того, треба інформувати, навчати. Пояснювати, що, наприклад, пластик, забруднений органікою, до переробки не надається, тому перш ніж викинути стаканчик з-під йогурта, його потрібно помити і висушити. У моєму оточенні більшість людей сортує відходи. Але, звісно, є люди, яких ніяк не змотивуєш, – тільки штрафами. Тобто варіанти можуть бути різні.

– **Пані Олесю, а розкажіть, будь ласка, про свої найцікавіші наукові результати. І про те, що Ви хотіли б досліджувати надалі.**

– Я обожнюю свою тему – екологічну мікробіологію. Працюю з мікроорганізмами роду *Pseudomonas*, уже маю чимало результатів щодо бактерій, здатних трансформувати метали. Застосовуючи методи біоінформатики, аналізую геноми і потенціал цих бактерій. Це велика теоретична робота.

Ще один напрям – прикладний – екологічна біотехнологія. Наприклад, у проєкті за грантом Національної академії наук України для молодіжних дослідницьких лабораторій і груп (ним керує моя колега і подруга Марія Лобода, наукова співробітниця відділу загальної та ґрунтової мікробіології Інституту мікробіології і вірусології

ім. Д.К. Заболотного НАН України) я працюю над створенням мікробного препарату (ми називаємо його мікробним фітосорбентом) для очищення і поліпшення якості ґрунтів, пошкоджених військовими діями, зокрема забруднених металами. Україна потребуватиме цієї розробки ще десятками років. Війна триває, але коли вона закінчиться, мусимо вже мати дієві технології.

– В Інституті мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України Ви від 2023 року очолюєте Раду молодих вчених. Що вже зроблено? Що плануєте? Які пріоритети?

– Наша найперша функція зараз – інформувати колег про конкурсні програми і наукові заходи. Наприклад, торік у Мілані відбувся черговий конгрес Федератії європейських біохімічних товариств. І там надзвичайно багато говорили про нові можливості, особливо для молоді. Всім, що бачу, ділюся з колегами. Радію, що багатьом ця інформація стає в пригоді.

По-друге, щороку наша Рада проводить інститутську молодіжну наукову конференцію. Торік захід відбувся у листопаді, організацією опікувалася Марічка Златогурська (кандидат біологічних наук, наукова співробітниця *bigg*ілу молекулярної генетики бактеріофагів). Вона, до речі, теж нещодавно отримала грант від програми «Дії Марії Склодовської-Кюрі» – на стажування в Чехії. Близько 80 % учасників конференції – науковці нашого ж Інституту, але плануємо розширюватись і залучати більше студентів і аспірантів та молодих науковців з інших установ. Можливо, об'єднаємо зусилля зі ще одним інститутом Академії. Головна наша мета – створити простір для знайомства, обміну думками і налагодження зв'язків між молодими дослідниками. Ми не проводимо конференцію заради самої конференції – у підсумку має виникати нова співпраця. Крім того, ми сподіваємося, що учасники-студенти, ознайомившись із нашим Інститутом, вступлять до нас в аспірантуру, бо молодих науковців завжди бракує – як в Україні, так і за кордоном. Ми намагаємося залучати інших молодих колег у наші наукові проекти. А крім того, якщо хтось із членів Ради перебуває на стажуванні за кордоном, то він чи вона завжди готові допомогти зорієнтуватися на місці тим, хто здобув тревел-грант на наукову подорож до тієї ж країни. Тобто головна роль нашої Ради – інформаційно-організаційна.

– Пані Олесю, у розмові ми вже частково торкнулися цього питання: що можете порадити дітям, які тільки-но починають свій шлях у науку? Розкажіть, будь ласка, також про свій досвід у Малій академії наук.

– Я щиро рада, що колись не послухала порад піти працювати у фармацевтичну компанію чи на підприємство одразу після закінчен-

ня університету, хоча це й могло б означати стабільніший дохід і, можливо, вищу зарплату. Мені не раз казали, що «наука – це для бідних», що краще шукати «нормальну» роботу, навіть деякі близькі мені люди наполягали на цьому. Але я обрала інший шлях і жодного разу не пошкодувала. Моя порада – не слухати нікого, хто сумнівається у ваших мріях. Вирішувати варто серцем, бо тільки тоді ви будете по-справжньому щасливі у тому, що робите.

Щодо Малої академії наук: так, це класний початок, якщо дитина всерйоз зацікавлена. Зазвичай у МАН обирали одну секцію, але я відвідувала одночасно дві – біологічну й історичну. Було багато цікавих подій. А зараз з'явилося ще більше можливостей для школярів, зокрема поїздки на олімпіади і навіть на конференції за кордон.

Головна моя порада – не здаватися, коли щось не виходить з першого разу. Ким би ви не були – школярем, студентом, аспірантом, молодим науковцем. Не кожен, хто бере участь у змаганні, виграє, проте це не значить, що змагання зовсім не варте вашої участі. Це стосується як шкільних олімпіад, так і грантових конкурсів. Буває, подаєш п'ять заявок – і отримуєш п'ять відмов. Звісно, це засмучує і пригнічує. Іноді люди здаються, перестають боротися. В таких ситуаціях нагадуйте собі, що якщо ви здастесь, то краще точно не стане. Але коли ви змагаєтесь, то шанс на успіх завжди є. У будь-якому разі здобудете корисний досвід. Те саме, до речі, і з науковими статтями: не все гладенько, не кожен текст беруть у друк із першої спроби. Науковцем взагалі бути важко. Але і надзвичайно захопливо.

– Чи важко бути науковицею в Україні? А за кордоном?

– Особисто я, на щастя, не стикалася з дискримінацією, чи аб'юзом, чи будь-яким неналежним ставленням через те, що я жінка. У нашому відділі в Інституті мікробіології і вірусології взагалі абсолютна більшість працівників – це жінки. Я помітила, що на Заході жінки у природничих науках і математиці – у меншості. Очевидно, жінкам у науці справді доводиться складніше. Але я б не сказала, що ситуація критична. Багато залежить від самої людини, її рішучості й віри у власну справу. Треба просто робити те, що любиш. Взагалі підтримка жінок – особливий складник сучасної наукової політики. Жінкам-науковицям допомагають розвиватись і залишатись у науці. Наприклад, у межах багатьох міжнародних програм («Горизонт Європа», «Дії Марії Склодовської-Кюрі») передбачено індикатори гендерної рівності та пріоритет жінок на рівних умовах.

Особисто мене дуже надихнула відзнака від журі премії «Для жінок у науці». І, звісно, було надзвичайно приємно бути присутньою на церемонії нагородження. Це додає впевненості й віри в те, що твоя праця не залишається непоміченою і справді має значення. Хоч

я і не стала головною лауреаткою, бути відзначеною серед такої кількості талановитих жінок — це велика честь. Після заходу з'явилося ще більше мотивації працювати далі та ділитися досвідом із молодшими колегами. Ми, жінки в науці, маємо підтримувати одна одну, об'єднуватися, створювати мережі співпраці.

— Як війна вплинула на Ваше життя та діяльність?

— Повномасштабне російське вторгнення поділило моє життя і роботу на «до» і «після». У перші місяці наукова діяльність опинилася під прямим тиском війни: постійні повітряні тривоги, емоційне виснаження, робота під звуки обстрілів, тривалі знеструмлення, перебої з інтернетом і обмежений доступ до лабораторій. Експерименти зривалися через блекаути, дані доводилося рятувати на кількох носіях, а рукописи готувати в укриттях чи при світлі від генератора. Це був період хаосу, невизначеності та відчуття, що професійне життя завмерло між обстрілами.

Попри все, у листопаді 2022 року я захистила дисертацію — під сирени, зі зникненням зв'язку й електрики. Один з опонентів зміг долучитися лише телефоном, адже в Одесі саме зранку тривав обстріл і не було ні світла, ні інтернету. Однак захист завершився успішно. Це стало свідченням того, як українська наукова спільнота намагалася тримати роботу навіть у темряві й нестабільності. Після захисту знову довелося відбудовувати робочий ритм: планування велось між відключеннями, а частину завдань переносили у дистанційний формат.

Приблизно за рік після початку війни настала вимушена адаптація. Хай як це дивно прозвучить, з'явилася здатність працювати в нових умовах: заздалегідь готувати резервні графіки, оптимізувати процедури, переносити роботу на ті години, коли була електрика. Наукова активність поступово відновилась: я почала подавати заявки на гранти, проходити короткотермінові стажування, продовжила участь у наукових проєктах. Велику роль відіграла підтримка міжнародних спільнот, зокрема програм FEBS, FEMS та інших ініціатив, що допомагали українським дослідникам зберегти доступ до обладнання, відвідувати наукові події та не випадати з глобального наукового середовища. З'явилися спеціальні гранти, спрямовані саме на підтримку українських науковців, і можливостей значно побільшало, що додатково мотивувало активно використовувати їх. Саме так я отримала перший контракт за кордоном — як запрошена дослідниця в межах університетської програми прихистку в Іспанії (це ініціатива Міністерства університетів Іспанії спільно з CRUE (Конференцією ректорів іспанських університетів), у межах якої університети нада-

вали тимчасові позиції та підтримку українським науковцям під час війни). Згодом я стала частиною наукової групи, про що ми вже говорили.

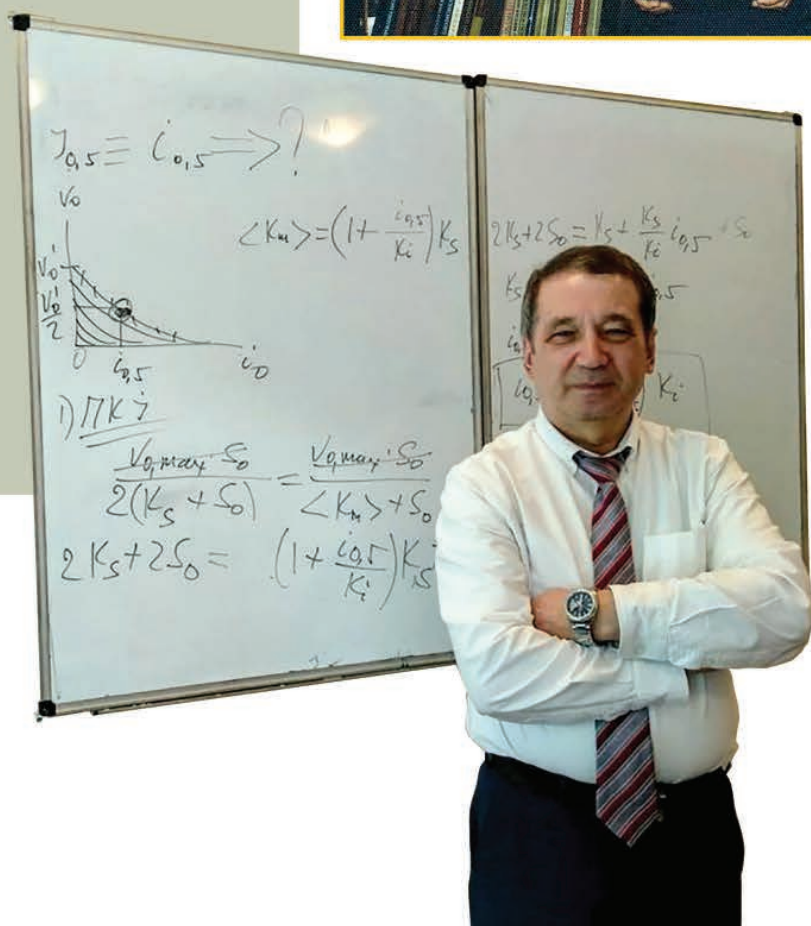
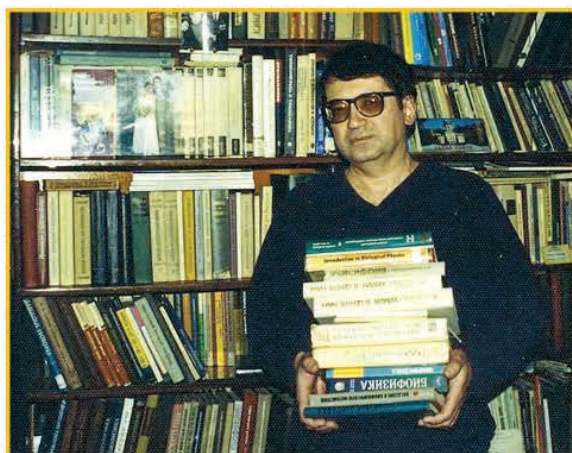
Утім, війна й досі має свою ціну. Виконуючи науковий проєкт за кордоном, я не можу часто бачити близьких: поїздки додому виснажливі емоційно та фізично, супроводжуються тривогою і постійним відчуттям нестабільності. Балансування між двома країнами – робочою та рідною – додає додаткового психологічного навантаження. Попри це наукова траєкторія не перервалась: участь у спільних дослідженнях, подання грантових заявок, поїздки на конференції та конгреси разом із колегами, розвиток міжнародної співпраці й збереження української наукової присутності стали відповіддю на виклики війни.

Війна залишається трагедією, що впливає на кожен аспект життя. Але водночас вона загострила розуміння важливості науки, її стійкості та здатності вистояти навіть у найскладніших умовах. Ми живемо й працюємо настільки добре, наскільки дозволяє реальність, і поступово вибудовуємо професійний шлях, який веде до відновлення не лише власної кар'єри, а й країни загалом.



ПЕРЕХРЕСНІ СТЕЖКИ НАУКИ

СЕРГІЙ КОСТЕРІН



Я

ТРЕНД МІЖДИСЦИПЛІНАРНОСТІ

Як стати науковцем і чого цей фах вимагає від тих, хто його обрав? Чому тренд міждисциплінарності у науці є природним? Яке значення у живому організмі відіграють гладенькі м'язи, до чого призводять порушення в їхній роботі і що може допомогти усунути такі патології? Про це в інтерв'ю пресслужбі НАН України розповів академік НАН України, професор Сергій Костерін, заступник директора з наукової роботи Інституту біохімії ім. О.В. Палладіна НАН України, завідувач відділу біохімії м'язів цього Інституту.

— Сергію Олексійовичу, як Ви потрапили у науку? Що відіграло вирішальну роль: книги, кіно, чиясь порада чи..? Розкажіть, будь ласка.

— Своїм науковим фахом я завдячую низці щасливих збігів. Взагалі вважаю, що фундаментальне значення для майбутнього будь-якої людини має своєрідна вертикаль «сім'я — школа — вищий навчальний заклад». На жаль, мій тато Олексій Григорович рано пішов із життя — мені тоді не було ще й шести років. Але мама Тамара Олексіївна, попри матеріальні труднощі, робила все, щоб у нас зі старшою сестрою були цікаві книжки, конструктори, різні саморобки. Наприклад, «Дитяча енциклопедія», десятитомник із помаранчевими палітурками, кожен том якого присвячувався певній галузі: математиці, фізиці, хімії, географії та іншим. Саме звідти я у десять років дізнався, що таке радіоактивність, альфа-, бета-, гамма-частинки, як відбуваються хімічні реакції. І мене зацікавило: як влаштований Всесвіт. Мої тітоньки, рідні сестри тата, після його смерті намагалися підтримувати нашу родину, і якось одна з них подарувала мені 5 карбованців, як вона сказала, «на морозиво». А я пішов у відому двоповерхову книжкову крамницю на Хрещатику (на другому поверсі там продавалася наукова і науково-популярна література) і на ці гроші купив собі книгу «Проблеми атомної фізики». З неї я дізнався, хто такі Поль Дірак, Маррі Гелл-Ман, Ричард Фейнман, Георгій Гамов та інші. Цікаво, що Гамов, видатний фізик українського походження, запропонував... концепцію генетичного коду.



Академік НАН України Сергій Костерін отримує від Президента НАН України академіка НАН України Анатолія Загороднього диплом лауреата Премії імені П.Г. Костюка НАН України за серію праць «Властивості, механізми функціонування та регуляція систем енергозалежного транспорту іонів Са у гладеньком'язових клітинах» (2024)

У четвертому класі мама записала мене до бібліотеки будівельного відомства – великої книгозбірні неподалік нашого будинку на вулиці Мечникова, з якої мене неможливо було витягти. Я ходив туди з двома авоськами і набирав стоси книжок. Мабуть, бібліотекарі звернули на це увагу і дуже добре до мене ставилися, бачили, що багато читаю, тому дозволяли брати навчальну і науково-популярну літературу з окремого фонду.

Зі школою теж пощастило. Спершу я навчався у київській середній школі № 131 на вулиці Шота Руставелі. Це була звичайна, неспеціалізована школа-восьмирічка, але нам викладали чудові вчителі. У 5–6 класах моїми улюбленими предметами були література, історія та географія. Я готував вікторини з історії та літератури для однокласників – запитання за шкільною та позашкільною програмами, – а призами слугували «мікроподарунки» (олівці, кулькові ручки і таке інше), які я купував для переможців за якісь копійчані гроші. Під керівництвом Кітти Михайлівни Корачунської, яка дуже цікаво викладала нам історію, ми також проводили екскурсії у Національному музеї історії України і Національному музеї мистецтв імені Богдана та Варвари Ханенків. Тобто, як бачите, гуманітарними науками я не нехтував.

– А потім у Вас стався «природничий поворот»?

– Можна сказати і так. Своєрідним Рубіконом став сьомий клас – приблизно тоді я відчув, що мене тягне до природничих наук. Змалку люблю квіти і тварин, на канікулах збирав ботанічні колекції. І вважаю, що людина, яка досліджує проблеми фізико-хімічної біології, має любити і цінувати природу.

Без перебільшення, видатну роль у моєму житті відіграли вчителі, зокрема заслужений учитель України Григорій Михайлович Дубо-

вик, який викладав нам фізику. Він тоді вже був у літах, але знав підхід до учнів і вмів зацікавити своїм предметом. Я відвідував шкільний гурток фізики, яким він керував. Прекрасні спогади лишилися і про нашу вчительку хімії Валентину Григорівну Рудаковську.

Ще один збіг – школа № 145 просто навпроти нашої восьмирічки. Зараз це відомий київський фізико-математичний лицей, з якого вийшло багато українських науковців, а тоді у 145-й школі, крім звичайних класів, що становили більшість, діяла фізико-математична «вертикаль» – класи 9-А і 10-А. Тому, закінчивши вісім класів, я вирішив вступати саме до цієї школи. Вступних іспитів як таких не було – лише співбесіди. Їх проводили викладачі фізичного факультету Київського університету. Білети ми не витягували, але потрібно було відповісти на запитання з фізики і математики, розв'язати задачі. Отак я потрапив у фізико-математичний клас. І тут почалося щось неймовірне! Рівень викладання точних наук вражав. Скажімо, курс вищої математики нам, 15-річним, читав, уявіть собі, завідувач кафедри теоретичної фізики Київського університету професор, а згодом член-кореспондент НАН України, Кирило Борисович Толпиго. Це був визначний вчений і досвідчений педагог, який наочно демонстрував, як можна застосовувати математику для опису фізичних явищ. Тоді я чи не вперше почав відчувати, що наука є єдиною. Фізику теж викладали знані науковці, а лабораторні роботи з фізики ми виконували на фізфаці у червоному корпусі Університету. Навчатися було важко, вихідних, по суті, не було – по суботах і неділях я сидів і розв'язував задачі, які задавали додому. І саме тоді збагнув, що таке справжнє навчання і що потрібно постійно, систематично і багато читати. Зате потім мені було легко навчатися в університеті.

Знаєте, коли ми навчаємося, то маємо відчуття, ніби в школі, у вищому навчальному закладі від нас постійно чогось вимагають – викликають до дошки, проводять нескінченні колоквиуми, контрольні, модулі, заліки, іспити. Лише значно пізніше я зрозумів, наскільки це було потрібно і як це нас формувало. Моїх учителів уже немає серед живих, але я їх усіх пам'ятаю, навіть тембр голосу кожного. Вони зробили велику шляхетну справу для кожного з нас, зокрема для мене, вони прищепили нам любов до книги, бажання вчитися, жагу до знань. У мене в душі залишилися безмежна вдячність їм... Можливо, саме тому я ніколи не відмовляю вчителям і школярам у зустрічах, коли вони відвідують наш Інститут.

Але це ще не всі щасливі випадковості. Якось після занять у 145-й школі я побачив оголошення... на паркані – про набір шкільної молоді до Палацу піонерів і школярів (тепер він називається Київським Палацом дітей та юнацтва), зокрема в гурток біоніки та біокибернети-



Після лекції з біофізичної хімії. Академік Сергій Костерін з учнями і викладачами рідного ліцею № 145 у Києві

ки. У тексті оголошення пояснювалося, що біоніка – це мікс біології, техніки, фізики та математики, а її мета – використання біологічних методів і структур для розроблення відповідних інженерних рішень і технологій. А я ж до того завжди думав, що біологія – це виключно якісна наука: квіти, дерева, жучки-павучки і все таке. Виявилось, що зовсім ні, до вивчення й наслідування живого можна і навіть потрібно використовувати підходи кількісних наук, зокрема математики. Пригадую, я стояв біля оголошення і міркував: «Хіба ж можливо залучити до вивчення й опису суто якісних біологічних явищ кількісні підходи – наприклад, диференційні рівняння?». І я записався в цей гурток, який вела ще одна чудова викладачка й досвідчений педагог Ірина Юхимівна Хоменко. Саме в Палаці, на конференції гуртківців я виголосив першу в своєму житті наукову доповідь – вона присвячувалася застосуванню елементів теорії ймовірності до розв'язання деяких проблем генетики.

Тобто десь у десятому класі я остаточно впевнився, що найцікавіші проблеми природничих наук – саме «на перехресті» біології, хімії, фізики та математики. З цим відчуттям і вступав до Київського університету. Спершу мене більше вабили питання електрофізіології: трансмембранні йонні струми, мембранні потенціали клітини, поширення нервового імпульсу. Це було так цікаво. А щоб займатися

електрофізіологією, потрібно мати знання у галузі цитології, біомембранології, фізичної хімії, зокрема електрохімії.

Проте на другому курсі я відчув, що більше тяжію до кінетики і термодинаміки біологічних процесів, тобто до біофізики, яка поєднує в собі біологію, фізику, хімію та математику (хоча, заради історичної справедливості, слід сказати, що, в певному наближенні, біофізика постала з електрофізіології). Отже, з третього курсу я вже навчався на кафедрі біофізики. Мої курсова й дипломна роботи присвячувалися скоротливим протеїнам, механокінетиці та термодинаміці такого вражаючого об'єкту, як м'язи. Фактично м'яз – це механохімічний двигун із доволі високим (на відміну від багатьох технічних пристроїв) коефіцієнтом корисної дії.

З дипломом біофізика я й закінчив Київський університет і вступив до аспірантури Інституту біохімії ім. О.В. Палладіна НАН України. Відтоді тут і працюю. Продовжую досліджувати м'язи, але мене також цікавлять і проблеми кількісної інтерпретації біологічних явищ у широкому розумінні – йдеться, зокрема, про кінетику ензиматичних і катіон-транспортувальних процесів. Маю роботи і у галузі теоретичної біофізики. Іншими словами, ті проблеми, які ми з колегами зараз вивчаємо, – це переважно проблеми біофізичної хімії.

– Сергію Олексійовичу, в довідниках і енциклопедіях вказано, що Ви започаткували власну наукову школу. Але ж і Ви, напевно, представляєте певну наукову традицію. Хто Ваші вчителі у науці, крім тих, про яких Ви вже розповіли?

– Знаєте, зі своїм ім'ям я б не пов'язував термін «наукова школа». Це просто мої однодумці, люди, які поділяють ті ж «міждисциплінарні» принципи у науці, що і я. Значно мірою це мої колишні студенти з Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Вони вже кандидати наук, а дехто й доктори. До речі, у нашому відділі біохімії м'язів є і біохіміки, і біофізики, й інші фахівці. У багатьох із них я був керівником кандидатських і науковим консультантом докторських дисертацій. Зокрема, моїми колегами у відділі стали біохіміки – доктори біологічних наук Сергій Шликов, Лідія Бабіч, Юрій Данилович. А моя колишня студентка Тетяна Векліч – випускниця університетської кафедри біофізики – теж уже доктор біологічних наук. Ще одна студентка – вчена-біофізик Ольга Цимбалюк, у якої я був науковим консультантом докторської дисертації, – зараз професор Навчально-наукового інституту високих технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка, наш відділ активно співпрацює з нею. Крім того, у нашому відділі працюють біохімік доктор біологічних наук Ганна Данилович, якій я читав лекції у Національному університеті «Києво-Могилянська академія»,

фахівець у галузі фізичної хімії кандидат хімічних наук Сергій Карахін, кандидат технічних наук Олександр Чуніхін, фахівець у галузі комп'ютерної біології (молекулярна динаміка, молекулярний докінг) кандидат біологічних наук Олександр Бевза. Розроблюючи математичні моделі біохімічних і біофізичних явищ, звертаємося до професійного математика та кібернетика – доктора фізико-математичних наук Петра Жука. Тобто кадровий склад відділу наочно віддзеркалює міждисциплінарність наших досліджень.

Що ж стосується моїх учителів, то це були абсолютно неперевершені особистості. Наприклад, завідувач кафедри біофізики у роки мого навчання в університеті – професор, а потім і академік нашої Академії наук Петро Григорович Богач. Він читав нам загальний курс біофізики, який я із задоволенням відвідував. Крім того, Петро Григорович був дуже уважний до студентської молоді, а студенти завжди це відчувають... І ще одна людина, яку я глибоко поважаю і якої вже, на жаль, також немає з нами, – професор Валентин Леонідович Зима, фізик за фахом, котрий займався біофізикою і викладав чудові спецкурси на кафедрі біофізики. Під його керівництвом я виконав свою дипломну роботу, у співавторстві з Валентином Леонідовичем вийшла моя перша наукова стаття; вона присвячувалася термомеханокінетиці високоеластичної деформації скелетного м'язу. А курсову роботу на четвертому курсі, що стосувалася суто біохімії та біофізики скоротливих білків м'язів, я виконував під керівництвом чудової експериментаторки, кандидата біологічних наук Валентини Михайлівни Данилової. Кандидатську дисертацію в аспірантурі Інституту біохімії виконував під керівництвом професора Михайла Дмитровича Курського. Велике враження своєю відданістю науці на мене справив видатний біохімік академік НАН України Володимир Олександрович Беліцер, який завідував відділом у нашому Інституті і був активним прибічником залучення кількісних підходів до розв'язання проблем біохімії. Мені пощастило творчо спілкуватись і навіть за його запрошенням працювати разом із ним над розробленням кінетичної моделі гальмування полімеризації фібрину фібриногеном і його активними фрагментами. Результатом цієї співпраці стала наша спільна публікація, якою я пишаюся.

Ці старші колеги, а також фізик-теоретик член-кореспондент НАН України Кирило Борисович Толпиго, про якого я вже говорив, лишили помітний слід у моєму творчому житті.

Своїми універсальними знаннями мене надзвичайно вразив і професор Ашок Кумар Гровер із МакМастерського університету (Канада), в якого я двічі стажувався після захисту докторської дисертації, досліджуючи проблеми трансмембранного обміну йонів кальцію



Під час Конкурсу молодих вчених в Інституті біохімії ім. О.В. Палладіна НАН України

в гладеньких м'язах. Я захоплювався рівнем його знань у галузях біохімії, біофізики, молекулярної біології, фізіології та фармакології. Знайомство з професором Гровером відіграло велику роль у моєму подальшому розумінні значущості міждисциплінарних досліджень.

Міждисциплінарність у дослідженнях і внутрішньонаукові зв'язки – дуже важливі для мене теми, тому хотів би зупинитися на них докладніше. Передусім скажу про науковий семінар «Актуальні проблеми сучасної біохімії», який віддавна функціонує в Інституті біохімії. Його започаткували кілька десятиліть тому, а я на ньому вже багато років головую. Щоразу слухаємо доповідь когось із колег про проблеми біохімії та біотехнології, а потім обговорюємо, обмінюємося думками. І завдяки цьому кожен науковий працівник більше знає, які біохімічні проблеми розв'язують в інших відділах. Бо внутрішня комунікація теж важлива. Крім того, за пропозицією нашого директора академіка Сергія Васильовича Комісаренка на засіданнях Вченої ради Інституту постійно виступають завідувачі відділів і виконавці тем окремих досліджень, діляться здобутими результатами. Особлива наша увага – до молодих дослідників, їх теж часто можна побачити на інститутській трибуні: на семінарах, засіданнях Вченої ради, під час щорічних конкурсів молодих вчених. Я взагалі вважаю, що усна доповідь, відповіді доповідача на запитання можуть роз-

повідати про науковця значно більше ніж нескінченні заформалізовані анкети, довідки й інші документи, які ми заповнюємо інформацією про свої професійні результати. На мою думку, персональна наукова доповідь, поєднана з публічними запитаннями до доповідача і відкритими дискусіями, – це найвища інституція демократичного спілкування у науці, і таке «живе» спілкування нічим не замінити.

Не втомлююся наголошувати: природа – єдина. Насправді вона «не знає», що ми, відповідно до наших вподобань, освіти, знань, схильностей, підготовки, поділяємо її на біологію, хімію, фізику. Тому цілком логічним видається те, що в останні десятиріччя виникли і бурхливо розвиваються такі міждисциплінарні комплексні науки й наукові напрями, як біофізична хімія, фізична біохімія, хімічна біофізика, біохімічна фізика, фізика живого, медична фізика, математична та комп'ютерна біологія, молекулярна фізіологія, нанобіотехнологія і багато інших. Ясна річ, часто-густо між ними важко «прокласти бордюру» (та й навряд чи це потрібно), бо зазвичай вони взаємодіють між собою і в предметі, й у методах дослідження. Але кожен із цих напрямів має власні мету, завдання, експериментальні підходи. Можу назвати десятки «перехресних» біологічних проблем, що їх вивчають і біохіміки, і біофізики, і фахівці у галузі молекулярної біології, а також фізичної хімії та хімічної фізики тощо. Це, до прикладу, ензиматичний каталіз, внутрішньоклітинний сигналінг, мембранний транспорт речовин, поширення нервового імпульсу, скорочення м'язів, біосенсорика, функціонування біологічних об'єктів (клітини, органу, тканини, цілісного організму, популяції) як відкритих нерівноважних термодинамічних систем, проблеми біоінформатики і структурної біології, фізико-хімічних засад теорії еволюції.

Академія наук має чудові традиції у виконанні міждисциплінарних досліджень. Приклад із близької мені біофізики м'язів – солітна модель механізму скорочення м'язових волокон, створена нашим видатним фізиком-теоретиком академіком НАН України Олександром Сергійовичем Давидовим. Міждисциплінарні дослідження були притаманні науковим пошукам академіків НАН України Дмитра Михайловича Гродзинського, Платона Григоровича Костюка. А зараз на міждисциплінарному рівні активно працюють, тримаючи у фокусі своїх досліджень біологічні проблеми, академіки НАН України Сергій Васильович Комісаренко, Михайло Арсентійович Тукало, Віталій Іванович Кальченко, Сергій Вікторович Дзядевич, Ярослав Михайлович Шуба та інші.

І часто відповідні міждисциплінарні дослідження супроводжуються активним використанням математики для вивчення біологічних проблем. Виникла навіть така дисципліна, як математична біо-

логія, або ж біоматематика, або ж, як її ще називають, математичне біомодельовання. Математична й обчислювальна біологія – міждисциплінарна галузь наукових досліджень, а водночас – розділ прикладної математики. Фізико-хімічна біологія та пов'язані з нею науки активно використовують в експериментальних і теоретичних дослідженнях такі математичні підходи, як теорія диференціальних рівнянь і теорія коливальних процесів, інформатика, прикладна математика (включно з математичним модельованням) і математична статистика, а також обчислювальна техніка та комп'ютерні технології. Сьогодні використання математики у біології не потребує адвокації.

У ХХІ сторіччі вже недостатньо тлумачити властивості живої системи, яка вивчається на молекулярному, мембранному та клітинному рівні в біохімії, біофізиці, молекулярній біології, у форматі «тут показник менший, а там – більший...». Таке феноменологічне трактування одержаних результатів слушне на першому, початковому етапі дослідження, але і це вже радше вчорашній день... Адже сьогодні, тлумачачи властивості й механізм функціонування біологічної системи на зазначених рівнях організації живої матерії, треба намагатись використовувати об'єктивні характеристичні параметри, які не залежать від суб'єктивізму дослідника (наприклад, від концентрацій речовин або від часу інкубації у досліді, які обираються експериментатором довільно), бо ж як тоді порівнювати ці результати з результатами інших дослідників? Такі характеристичні параметри відомі – це, наприклад, константи швидкості й константи рівноваги окремих стадій досліджуваного біофізикохімічного процесу, які визначаються за умов встановлення часових і концентраційних залежностей швидкості процесу.

Утім, у науковому пошуку, спрямованому на залучення математики до вивчення біологічних процесів, важливим є запитання: хто до кого має «йти» – біолог до математика чи математик до біолога? Мені видається, що біолог до математика. Адже саме біолог повинен сформулювати коректну наукову задачу в науках про життя, яку в перспективі можна формалізувати і розв'язати. Дуже добре, якщо біолог має необхідну математичну підготовку і сам може кваліфіковано формалізувати задачу у вигляді математичної моделі – наприклад, системи диференційних рівнянь. У такому разі математик може зосередитися на розв'язанні (аналітичному чи чисельному) цієї системи. А далі спільними зусиллями біолог і математик зможуть розглянути одержаний модельний результат, зокрема різноманітні часткові випадки, надати цьому результаті біологічну інтерпретацію, передбачити раніше не встановлені властивості біологічної сис-

теми. Як стверджував професор Стівен Гокінг, «будь-яка теорія є доброю, якщо вона відповідає щонайменше двом вимогам: точно описує великий клас спостережень на основі моделі, яка містить лише кілька елементів; дає змогу точно передбачати результати майбутніх спостережень».

Відомі випадки, коли завдяки формулюванню й розбудові певних біологічних задач створювалися нові математичні технології. Тобто біологічна проблема стимулювала розвиток нових галузей математики. Типовий приклад: результати досліджень у генетиці сприяли розвитку теорії ймовірностей та варіаційної статистики. Я певен, що біологічні явища і проблеми й надалі будуть джерелом розроблення нових математичних підходів і технологій.

Прочитую ще кількох видатних людей. Як вважав математик і фізик XVIII століття Леонард Ейлер, «саме математика надає найнадійніші правила: хто ними керується – тому не загрожує обман почуттів». «Усі мистецтва тяжіють до музики, а усі науки – до математики», – стверджував письменник і філософ Джордж Сантаяна. Нарешті, філософу Іммануелю Канту належить такий знаменитий вислів: «У кожній природничій науці вміщено стільки істини, скільки у ній є математики». Хоча, відверто кажучи, з Кантом я тут не можу погодитися, бо в природознавстві, зокрема у біології, є чимало проблем, які успішно обговорюються й вивчаються на якісному рівні, і їх розв'язання не потребує зайвої кількісної формалізації.

– Сергію Олексійовичу, з Вашої легкої руки і за сприяння Президії НАН України нещодавно з'явився загальноакадемічний міждисциплінарний науковий семінар у галузі природничих наук «Актуальні питання фізико-хімічної та математичної біології». Ви і його ініціатор, і організатор, і керівник. Чи користується цей семінар популярністю серед науковців? Але передусім поділіться, будь ласка, історією питання: що зумовило започаткування семінару?

– Гадаю, це був цілком природний процес. Я виступав на засіданні Президії НАН України із суто науковою доповіддю, присвяченою проблемам біохімії внутрішньоклітинного кальцієвого гомеостазу, де намагався продемонструвати, як використання експериментальних і теоретичних методів хімії та фізики, а також математичних підходів дає змогу наблизитися до розуміння механізму контролю концентрації йонізованого кальцію в клітині. У контексті цієї доповіді виникла ідея започаткувати на базі Інституту біохімії ім. О.В. Палладіна НАН України щомісячний загальноакадемічний міждисциплінарний семінар «Актуальні питання фізико-хімічної та математичної біології», який наочно ілюструватиме взаємозв'язок різних природничих наук сьогодні. Його мета – періодично заслуховувати й обго-

ворювати наукові доповіді про застосування сучасних експериментальних і теоретичних методів хімії, фізики й математики для розв'язання нагальних проблем сучасної біології та біомедицини. Зокрема, у біохімії, біофізиці, молекулярній та клітинній біології, біоенергетиці, геноміці, медичній біології, фармакології, нанобіотехнології, системній та синтетичній біології тощо.

Відеозаписи всіх цих засідань можна переглянути на YouTube-каналі Інституту біохімії ім. О.В. Палладіна НАН України.

Активними учасниками нашого міждисциплінарного семінару – як доповідачі та слухачі – є працівники установ Секції хімічних і біологічних наук та Секції фізико-технічних і математичних наук Національної академії наук України, Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Львівського національного університету імені Івана Франка, Ужгородського національного університету, Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Національного авіаційного університету, установ Національної академії медичних наук України, інших установ і відомств. Я дуже радий, що до семінару регулярно долучаються молоді науковці, аспіранти, студенти. Вони ставлять запитання, висловлюють свою думку, дискутують. Молодь – це наша надія.

Я помітив, як спілкування науковців на нашому семінарі переростає потім у творчі контакти, корисні для майбутніх спільних міждисциплінарних досліджень. Безперечно, семінар посилює науковий зв'язок між Національною академією наук України і закладами вищої освіти. Семінарські зустрічі допомагають молодим біологам – аспірантам і студентам – підвищувати свою професійну підготовку. І ще одне: за умов воєнного стану стабільне функціонування семінару має, на мою думку, певне моральне значення для української наукової спільноти.

Надалі плануємо долучати до наших зібрань також учених-гуманітаріїв, бо, наприклад, питання демографії, економіки, структурної лінгвістики тощо теж потребують використання кількісних підходів (зокрема, на рівні математичних моделей). Оскільки наш семінар сильний не лише своїми доповідачами, а й учасниками, то його двері відкриті для всіх, кому є що сказати. Я глибоко певен, що якісна освіта, всебічна фундаментальна трансдисциплінарна підготовка наукових кадрів – фахівців у галузі природничих (зокрема, медико-біологічних), технічних і комп'ютерних наук – є запорукою наукового, технологічного та соціального прогресу України.

– Сергію Олексійовичу, поговорімо, будь ласка, про Ваші наукові результати. Що ви з колегами вивчаєте саме зараз?

– Головний напрям роботи нашого відділу біохімії м'язів – дослідження молекулярних, мембранних і клітинних механізмів регуляції концентрації йонів кальцію в клітинах гладеньких м'язів. Це, знов-таки, міждисциплінарна проблема, бо її можна розв'язати лише на перетині біохімічної мембранології, ензимології, біофізичної та органічної хімії. Крім того, у фокусі моєї уваги традиційно лишаються питання біохімічної кінетики, залучення математичних підходів до вивчення біохімічних і біофізичних процесів.

– Чому важливо вивчати регуляцію концентрації йонів кальцію в клітині?

– Сьогодні абсолютно очевидно, що саме йонам кальцію належить фундаментальне значення у забезпеченні контролю за багатьма функціями клітини. І тут я маю згадати видатні досягнення академіка НАН України Платона Григоровича Костюка та його наукової школи у вивченні біофізичних механізмів контролю внутрішньоклітинного кальцієвого гомеостазу. Загалом ідеться про загальнобіологічні Ca^{2+} -залежні феномени – скорочення м'язів, секрецію, запліднення, міжклітинну взаємодію, внутрішньоклітинний сигналінг, активацію багатьох ензимів, передачу нервового імпульсу, згортання крові тощо. Як я вже говорив, об'єкт наших експериментальних досліджень – гладенькі м'язи. Нагадаю, що всі м'язи поділяються на три великі групи: 1) скелетні, або посмуговані, які виконують локомоторну функцію і є частиною опорно-рухового апарату; 2) міокард (серцевий м'яз), який є, по суті, м'язовою помпою, що забезпечує перекачування крові; 3) гладенькі (непосмуговані) м'язи внутрішніх органів, які іннервує вегетативна нервова система, тобто вони скорочуються мимовільно і цей процес неможливо регулювати свідомо. Гладенькі м'язи забезпечують функціонування внутрішніх органів і їхніх систем – судинної, дихальної, лімфатичної, сечостатевої, шлунково-кишкового тракту, протоків залоз зовнішньої та внутрішньої секреції, сфінктера зіниці ока тощо.

Зрозуміло, що проблема дослідження механізмів м'язового скорочення є комплексною та фундаментальною – цікаво збагнути, як працює м'яз, зокрема гладенький. У контексті міждисциплінарності ми трактуємо гладеньком'язову клітину як відкриту рецепторну нерівноважну тензоелектромеханохімічну практично ізотермічну термодинамічну систему, здатну до Ca^{2+} -залежного скорочення. Однак маємо й важливий практичний аспект зазначеної проблеми. Річ у тім, що деякі небезпечні патології скоротливої функції гладеньких м'язів часто-густо пов'язані з порушенням кальцієвого гомеостазу в гладеньком'язових клітинах, яке, зі свого боку, детермінується порушенням функціонування мембранозв'язаних Ca^{2+} -транспортуваль-

них систем. Ідеться, зокрема, про гіпо- та гіпертензію, атонію кишкового тракту й інші патології його моторики, астму, гіпо- та гіпертонус матки, викидні, спонтанні аборти, маткові кровотечі (часто такі патології унеможливають народження дитини). Тому нагальним є пошук нових нетоксичних оборотних ефекторів (інгібіторів, активаторів) – селективних і високоафінних регуляторів мембранозв'язаних Ca^{2+} -транспортувальних систем, зокрема, катіон-транспортувальних ензимів – АТР-гідролаз, а ще АТР-гідролази скоротливих білків. Адже потенційно такі ефектори можуть слугувати «молекулярними платформами» для створення ліків нового покоління, що нормалізують Ca^{2+} -залежну скоротливу функцію гладеньких м'язів у разі її порушення за патологічних станів.

Нас із колегами цікавлять передусім гладенькі м'язи сечостатевої системи, зокрема – міометрій (гладенький м'яз матки). Бо порушення регуляції концентрації йонів кальцію в клітинах міометрію і спричиняє ті патології, які я уже згадував. Ми хотіли б дізнатись, як працюють системи, що регулюють концентрацію кальцію в клітині міометрію, та як нормалізувати Ca^{2+} -транспортувальну функцію цих систем за допомогою фармакологічних речовин у разі її порушень, як усунути надмірну скоротливість чи, навпаки, скоротливу слабкість м'яза, а отже, й відповідний патологічний стан. Тобто наші дослідження мають і практичне спрямування.

Ми почали обирати сполуки для випробування і від однієї української дослідницької групи отримали синтезовані нею зразки речовин, які, як я сподівався (мені здавалося, що небезпідставно), виконуватимуть відповідну ефекторну роль щодо атаки на системи енергозалежного транспорту йонів кальцію. На жаль, наші експерименти показали, що застосовані речовини практично ніяк не впливають на транспортування йонів кальцію в клітинах міометрію.

– Негативний результат – теж результат.

– Так, звісно. Але ми продовжили пошуки. І мені знову пощастило. Я познайомився з нашим знаним хіміком-органіком академіком Віталієм Івановичем Кальченком, який зараз керує відділом хімії макроциклічних сполук в Інституті органічної хімії НАН України та є почесним директором цього Інституту, і з яким у мене встановилися чудові людські взаємини. Разом із Віталієм Івановичем ми вирішили спробувати застосувати як можливі ефектори Ca^{2+} -транспортувальних систем у наших дослідженнях так звані каліксарени – циклічні олігомери фенолів, що їх синтезують і досліджують в Інституті органічної хімії. Сьогодні вони надзвичайно популярні у світовій науці – як у фундаментальних дослідженнях, так і в прикладних. Каліксаренам присвячено велику кількість фахових публікацій.

– Чим цікаві ці сполуки?

– А ось чим. Каліксарени мають внутрішньомолекулярні високовпорядковані ліпофільні порожнини і демонструють унікальну здатність розпізнавати та зв'язувати катіони, аніони і нейтральні молекули у стійкі комплекси типу «гість – господар». Ці властивості широко використовуються під час створення каталізаторів і сенсорів. Серед біологічних ефектів каліксаренів є, наприклад, такі: вони можуть поводитись як інгібітори й активатори ензимів, виявляти мембранотропну дію, впливати на функціонування рецепторних і транспортних протейнів, пригнічувати адгезію клітин, здійснювати антитромботичну дію, реалізувати протипухлинний ефект, а також протитуберкульозну дію.

Отже, це, фактично, було міждисциплінарне дослідження «на стику» біохімії, біомембранології, біофізики та органічної хімії. Перша наша спільна стаття із зазначеної проблеми вийшла 2005 року в журналі “Tetrahedron Letters”. У підсумку багаторічних досліджень виявилось, що деякі каліксарени можуть слугувати селективними й вельми афінними інгібіторами систем енергозалежного транспорту йонів кальцію – кальцієвої та натрієвої помп плазматичної мембрани. Ці сполуки здатні впливати на мембранний потенціал і трансмембранний обмін йонів кальцію в мітохондріях. Якщо коротко, мова йде про спрямовану регуляцію концентрації йонів кальцію в клітині та її енергетики за допомогою нетоксичних/малотоксичних макроциклічних ефекторів, які можуть модулювати активність мембранозв'язаних Ca^{2+} -транспортувальних протейнів.

– Ви з колегами знайшли перспективні каліксарени, що можуть впливати на певні мішені. Яке продовження у цих досліджень? Чи вже є якийсь практичний ефект?

– Як я завжди кажу студентам, розпочинаючи лекції у Київському університеті, найвища мета науки – зробити так, аби людині жилося краще (на додачу до пізнання). Маю на увазі питання охорони здоров'я, збереження довкілля, біобезпеки, якісного харчування. Я з великою повагою ставлюся до прикладних розробок, з-поміж іншого – у галузі біомедицини.

Що ж стосується безпосередньо наших досліджень із використанням каліксаренів, то ми, звісно, думаємо про те, щоб залучити їх як молекулярні платформи для лікування певних порушень регуляції концентрації йонів кальцію в гладеньком'язових клітинах. Наразі продовжуємо вивчати біохімічні й біофізичні механізми транспортування йонів кальцію в міоцитах (клітинах м'язової тканини) і вплив каліксаренів на цей процес, але плануємо вийти й у практику, втілити наші напрацювання у медицині, зокрема в акушерстві й гінекології. Шукаємо потенційних партнерів.

– Як сучасні українські студенти відрізняються від студентів, яких Ви застали на початку своєї викладацької кар’єри?

– Знаєте, для них зараз складні часи... Спочатку ковід, потім війна... І на тлі цього треба систематично навчатися. Але вони зараз розкутіші, відкриті до нового, чимало з них добре володіють англійською мовою. А загалом студенти різних часів усе ж схожі між собою: молодь є молодь. На початку своєї педагогічної діяльності я був дуже вимогливий до них, а потім зрозумів, що це не найкращий шлях і вимогливість має бути не надмірною, а в розумних межах. Матеріал, який я викладаю (наприклад, у спецкурсі «Методи кінетичного аналізу у фізико-хімічній біології»), складний (на межі біохімії, біофізики та математики), опанувати його важко, тому на лекціях неодмінно роблю тайм-аути, розповідаю цікаві факти і кумедні випадки з історії науки, з життя видатних науковців.

Безумовно, освіта і наука взаємопов’язані. Я активний прибічник відомої тези: «Немає науки без викладання та підготовки кадрів, як немає викладання та підготовки кадрів без науки». Ви знаєте, у нас в Інституті дуже добре налагоджено механізм роботи зі здібною молоддю. До Інституту біохімії приходять і учні з гуртків, зокрема з Малої академії наук, і студенти. У відділі, який я очолюю, і в інших відділах нашого Інституту студенти виконують курсові роботи, потім пишуть у нас дипломні роботи – бакалаврські й магістерські, а зрештою вступають до нашої інститутської аспірантури. Втім, зараз усім дуже непросто, і мені невимовно шкода, що багато здібної та перспективної для науки молоді залишає Україну.

– Як заохочуєте молодих дослідників? Які перспективи їм опи-суете?

– Перспективи у межах наших можливостей. Той, хто працює, матиме і перспективи. У моєму відділі, наприклад, немає випадкових співробітників. Траплялося, звісно, що приходили люди, які з часом починали розуміти, що більше тяжіють до чогось іншого, ніж до науки. Таке теж буває, кожен шукає себе. Не можна вимагати, щоб усі раптом подались у науковці. Всі люди і всі професії важливі. Мені здається, не так уже й важливо, хто ви за фахом і яку освіту маєте, якщо ви добре й сумлінно виконуєте свою роботу та є порядною людиною. Гадаю, неправильно цінувати лише за регалії та звання – людські якості важливіші, на мою думку.

Повертаючись до того, з чого ми почали розмову, хотів би зауважити, наскільки непересічне значення для майбутнього вченого має стартовий етап, – знаю це із власного досвіду. Ну, а далі... Просто треба систематично працювати, поступово рухаючись обраним маршрутом.

– Що Ви могли б порадити юним дослідникам? Як проторувати собі шлях у науку? З чого почати і до чого слід бути готовими?

– Ви запитуєте мене, наче якогось метра, а я себе таким не почуваю (сміється). Але, знов-таки, скажу дещо зі свого досвіду.

По-перше, треба багато читати. Зараз є неймовірна кількість електронних джерел, але й паперові книжки ніхто не скасовував. А ще – слухайте якісні, зокрема англомовні, наукові лекції в мережі.

По-друге, працюйте щодня, постійно зростаєте над собою, постійно дізнавайтеся щось нове.

По-третє, все робіть своєчасно, не відкладайте на потім: як відомо, на вокзал бажано приїжджати, перш ніж потяг рушить.

По-четверте, не бійтеся висловлювати свою думку публічно. Завжди кажу своїм студентам: якщо маєте чим поділитися з іншими і певні, що ви праві, якщо вам є що сказати – сміливо виходьте на трибуну. Навіщо це потрібно? Ви побачите реакцію аудиторії на свої ідеї, апробуєте їх. Опануєте культуру підготовки презентацій, бо ми краще сприймаємо і запам'ятовуємо візуальну інформацію. Навчіться спілкуватися зі слухачами: вмійте вислухати, не перебиваючи, дозвольте іншому сформулювати запитання і відповідайте на нього лаконічно – не варто перетворювати відповідь на запитання на ще одну доповідь.

По-п'яте, піклуйтеся про своє здоров'я, не забувайте відпочивати, зокрема, коли довго користуєтеся комп'ютерною технікою. Словом, дотримуйтеся гігієни праці.

І ще одне, але дуже важливе. Робіть усе з любов'ю (звісно, не створюючи проблем для інших людей). Якщо працювати під тиском, з примусу – нічого путнього не вийде.

Нарешті, цікавтеся світом у різних його проявах.

Я не хотів би, щоб склалося враження, ніби в моєму житті є тільки проблеми мембранного транспорту йонів кальцію в клітинах і рівняння біохімічної кінетики. Я, наприклад, обожнюю художню літературу, перечитую, зокрема, твори Ериха Ремарка, Жюль Верна, Ольги Кобилянської, Марка Твена, Роберта Льюїса Стівенсона, Івана Франка, Девіда Вейса, Олександра Олеса (його вірш «Чари ночі» – один з моїх улюблених). Дуже люблю мемуарні й історичні твори. Читаю майже щодня – і професійну літературу, і неодмінно – художню.

Ще один мій «мистецький Всесвіт» – це класична музика. У дитинстві я відвідував музичну школу, навчався грати на фортепіано. Шкодою, що так і не став одним із виконавців, які без нот можуть зіграти складні композиції, наприклад, Сімнадцяту сонату Бетховена, частину «Allegretto» (це один з моїх улюблених музичних творів). Утім, заповнювати цю прогалину вже пізно (хоча хто знає...). Але

ніщо не заважає мені бути поціновувачем класичної музики. Тому вдома у мене завжди лунає класика: твори Малера, Баха, Паганіні, Ліста, Гріга, Моцарта, Бетховена, Шопена... «Лакрімоза» з Моцартового «Реквієму» тепер назавжди асоціюється для мене з українськими дітьми, яких убиває жорстока війна РФ проти нашої країни...

– Як війна вплинула на Вашу роботу, життя?

Звісно, війна торкнулася всіх... І науковців теж. Невимовно шкода людей, які загинули на фронті і внаслідок підступних обстрілів наших мирних міст і сіл. На жаль, втрати є і в НАН України. Вічна пам'ять студентам, аспірантам, викладачам, ученим, яких уже немає з нами... Ми з професором Київського національного університету імені Тараса Шевченка Юрієм Прилуцьким присвятили їм університетський підручник «Комп'ютерне моделювання в біології», який вийшов 2024 року.

Але ми всі і за таких умов намагаємося працювати, хай там що. Буває, під час повітряних тривог і обстрілів ракетами та дронами пишу наукові статті або обмірковую експериментальні результати, одержані в нашому відділі. І, знаєте, мені видається, що навіть у такій екстремальній ситуації творча робота захищає від психологічних перевантажень, відновлює душевну рівновагу, підживлює оптимізм.

В Інституті біохімії ім. О.В. Палладіна НАН України, як і в інших установах Відділення біохімії, фізіології і молекулярної біології НАН України, і в Академії загалом, розвиваються біомедичні дослідження. Науковці створюють тестери, вакцини, засоби боротьби з хворобами. Зараз це дуже важливо. І прогрес у цьому напрямі є, є перспективи впровадження розробок. Наприклад, кровоспинних препаратів, над якими працюють у нашому Інституті.

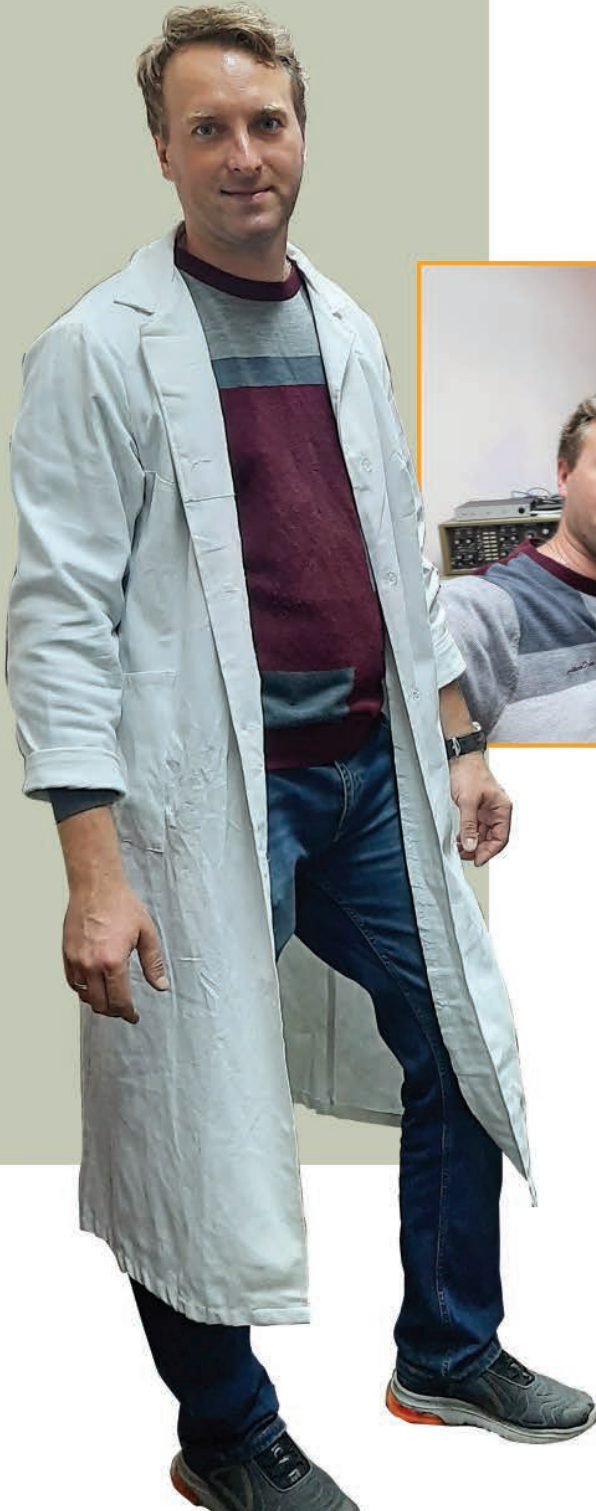
Якби не Наука і Мистецтво, не дорогі моему серцю люди, яких я люблю і поважаю – близькі, друзі, колеги, – якби не моя Віра у щасливе майбутнє України – було б важко...

Я вірю в майбутнє України. Буде і на нашій вулиці свято!



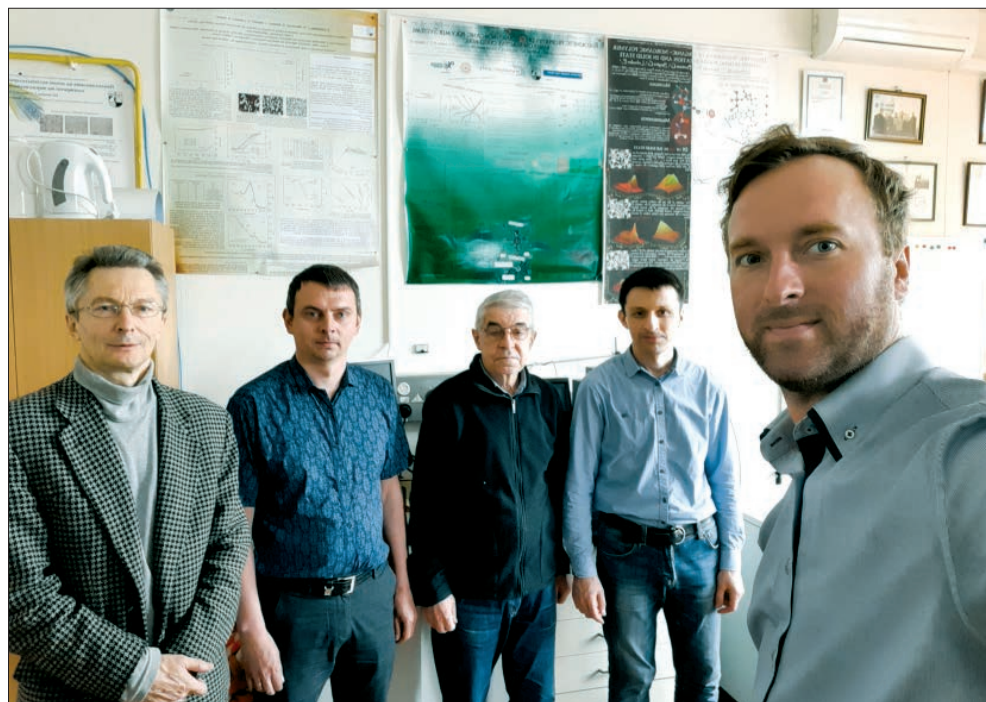
УЧЕНІ АКАДЕМІЇ ЗНАЙШЛИ СПОСІБ УБЕЗПЕЧИТИ ПОЛІМЕРНІ ВИРОБИ ВІД ВІРУСІВ І БАКТЕРІЙ

МАКСИМ
ЮРЖЕНКО



К

олектив науковців під керівництвом завідувача відділу зварювання пластмас Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України (тоді доктора технічних наук, а нині члена-кореспондента НАН України) Максима Юрженка завершує виконання проєкту «Розробка нанокompозитних полімерних біоматеріалів з ефективною протівірусною та антимікробною дією і технології 3D друку виробів з них» за грантом Національного фонду досліджень України. Про це та інші свої дослідження учений ще 2021 року розповів в інтерв'ю пресслужбі НАН України.



— Пане Максиме, коли і як з'явилась ідея досліджень, що допомогла вам із колегами вибороти грант НФДУ?

— Ідея убезпечити від бактерій і вірусів поверхні з полімерних матеріалів, які розповсюджені дуже широко й оточують нас усюди, виникла доволі давно. На неї нас наштовхнули мобільні телефони. Їх корпуси виготовляються саме з полімерів і, як стверджують фахівці, можуть накопичувати значно більше патогенних мікроорганізмів, ніж, наприклад, вбиральня. Тож ми почали міркувати, яким чином ці й інші часто використовувані вироби зробити безпечними для людини, аби не доводилося постійно їх протирати, мити після них руки і так далі. Нового поштовху дослідженням надала пандемія, адже певний час вважалося, що коронавірус поширюється не лише повітряно-крапельним шляхом, а й через поверхні. Тож ми почали інтенсивно працювати в цьому напрямі і майже одразу збагнули, що справді можемо створити відносно безпечні для людини вироби з полімерних матеріалів. Принаймні убезпечити ці вироби від деяких бактерій і вірусів. Але виготовляти покриття великої площі, у промислових масштабах, ми не мали технологічних можливостей, тому зупинилися на актуальному нині 3D друці. Вирішили, що спочатку спробуємо попрацювати з матеріалами для виробів, які можна формувати на 3D принтері.

Починаючи ці роботи, ми запропонували співпрацю колегам із кількох інших установ. По-перше, з Інституту хімії високомолекулярних сполук НАН України — лідера в галузі полімерних матеріалів, зокрема і їх модифікації. Тоді на себе, крім загального керівництва проектом, ми взяли також формування філаментів (напівфабрикатів адитивного виробництва) і 3D виробів із полімерних композитних матеріалів, які спеціально для наших досліджень створили хіміки. Далі потрібно було перевірити антимікробні та противірусні властивості цих виробів. До цієї частини досліджень долучились учені Інституту мікробіології та вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України. Вони підтвердили, що наші вироби справді перешкоджають поширенню патогенних мікроорганізмів — стафілокока, вірусу грипу та деяких інших. Останню і дуже цікаву частину досліджень виконали у Національному науковому центрі радіаційної медицини Національної академії медичних наук України — перевірили матеріали, розроблені у межах нашого проекту, на безпечність для людини, зокрема для її геному. Це важливо було зробити, оскільки ми використовували срібло, а вплив цього елемента на людський організм при постійному користуванні предметами з його вмістом досі до кінця не визначений. Результати випробувань позитивні: наші вироби безпечні, тобто вони не можуть стати причиною, наприклад, онкологічних захворювань і т. ін.

На захисті докторської дисертації: Максим Юрженко із наставником – легендарним Президентом Національної академії наук України й директором Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України академіком Борисом Патоном



– На якому етапі дослідження перебуває зараз?

– Спрощуємо технологічні процеси, аби поширити ці матеріали і технології у промисловість, хоча серед завдань нашого проєкту і не було переходу з лабораторних умов у виробництво.

– Розкажіть, будь ласка, про інші наукові результати Вашого відділу за останній час.

– Наш відділ унікальний для України, бо тільки ми займаємося зварюванням і наплавленням (до останнього, до речі, належить і 3D друк) полімерних матеріалів. На мою думку, одне з наших найбільших досягнень – це розроблення теорії конформаційного механізму зварювання полімерних матеріалів. Донедавна поширеною була дифузійно-реологічна теорія, але вона не пояснює багатьох моментів і після нещодавніх досліджень не витримує критики. Нашу теорію ми представили світовій науковій спільноті 2018 року у Братиславі (Словаччина) на щорічній асамблеї Міжнародного інституту зварювання (цей захід збирає фахівців зі зварювання з усього світу) – повідомили про результати наших комплексних досліджень структури і властивостей зварних з'єднань методами різноманітних мікроскопій, рентгеноструктурного аналізу, теплофізичних досліджень тощо. Звісно, не обійшлося без дискусій, та, врешті-решт, колеги схвально сприйняли цю теорію і вже активно її використовують, про що свідчать наукові публікації.

Зараз, у 2021 році, працюємо над зварюванням і 3D друком матеріалів в екстремальних умовах: технічного вакууму та різних газових середовищ. Для цього ми створили спеціальну камеру та 3D принтер, адже звичайний принтер у вакуумі працювати не може.

За ще одним напрямом досліджень працюємо паралельно (хоч, на жаль, і не спільно) з європейськими авіабудівними організаціями. Як відомо, літак A380 компанії «Airbus» більш ніж на 50 % складається з композитних полімерних матеріалів, що, звісно, потребувало зварювання, тож провідні європейські фахівці зосередилися на проблемах зварювання полімерних матеріалів, передусім – на підвищенні ефективності процесів зварювання. Навіщо нам займатися тим самим, якщо це вже роблять у Франції, Німеччині чи деінде? Річ у тім, що всі ці дослідження закриті, «Airbus» та інші компанії не доступують інформацію про процеси і технології зварювання. Отже, мусимо виконувати дослідження самотужки й розробляти власні технології зварювання таких матеріалів. У них, до речі, дуже зацікавлені українські виробники. У цьому напрямі ми співпрацюємо із ДП «Антонов» і ДП «КБ "Південне" ім. М.К. Янгеля».

– А з іноземними виробниками контактуєте?

– За цим напрямом – на жаль, ні, як я вже говорив. Європейські компанії поки що не прагнуть долучати нас до своїх робіт. Хоча ми пропонували їм співпрацю. Наприклад, у межах програми ЄС «Clean Sky 2» («Чисте небо») відкривалися проекти з вирішення проблем авіації, зокрема й такі, що стосувалися полімерних матеріалів, їх зварювання, з'єднання, спаювання тощо. Разом із УкрНДІАТ (Українським науково-дослідним інститутом авіаційної технології Державного концерну «Укроборонпром») ми зверталися до представників «Fraunhofer» із пропозицією нашої участі у відповідних дослідженнях та розробках, але вона не мала успіху. Вочевидь, тому, що ЄС має закритий цикл досліджень і виробництва, а Україна поки не є її повноцінним членом, тож колаборація поки не вдається.

А загалом з іноземними науковцями (передусім із країн ЄС), звісно, співпрацюємо. Скажімо, 2018 року на базі нашого Інституту з'явилася міжнародна науково-дослідна польсько-українська лабораторія з полімерних матеріалів ADPOLCOM, де відділ зварювання пластмас відіграє провідну роль з українського боку. У 2018–2019 роках у рамках діяльності лабораторії ми з польськими колегами активно відвідували одне одного, вже опублікували низку спільних наукових статей. На жаль, пандемія перешкоджає зустрічам, але ми продовжуємо взаємодіяти дистанційно. Сподіваємося на конкурс НФДУ з отримання грантів для таких спільних лабораторій, як наша. Якщо цей конкурс таки оголосять, то, ясна річ, подаватимемо



Співробітники відділу зварювання пластмас Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України на церемонії вручення Державної премії України в галузі науки і техніки (2019)

заявку. Двосторонні проекти реалізуємо також із колегами з Франції та Чехії.

– Як на Ваше життя й роботу вплинула війна?

24 лютого 2022 року життя відділу зварювання пластмас, як і всіх інших підрозділів та інституту загалом, змінилося. Вже о сьомій годині ранку всіх працівників перевели на дистанційний режим із вірогідністю подальшої евакуації. Я вийшов на роботу, аби прийняти екстрені розпорядження керівництва інституту, яке прибуло на робочі місця в повному складі й ухвалювало непрості рішення, а також перевірити, чи в приміщеннях відділу вимкнені всі прилади, і заглушити все наукове обладнання. У наступні тижні події розвивалися стрімко.

Наш відділ провадить широку міжнародну діяльність, і я вдячний нашим іноземним партнерам, передусім польському Центру полімерних та вуглецевих матеріалів Польської академії наук, де розміщено нашу спільну міжнародну польсько-українську лабораторію ADPOLCOM, румунському Інституту макромолекулярної хімії Петру Поні Румунської академії наук, французькому Інституту INSA@Lyon1, які нас підтримали, запропонували працівникам відділу переїзд, за-

безпечення житлом і роботою. Щоби зберегти кадровий потенціал відділу і гарантувати безперервність наукових досліджень, я відрядив молодих кандидатів наук на стажування до наших партнерів у Польщі та США. Перші четверо фахівців вирушили за кордон уже на початку березня. До речі, ця стратегія цілком виправдала себе.

Ті ж працівники, які лишилися в Україні, у наступні кілька місяців працювали дистанційно. Восени 2022 року, коли ЗСУ відтіснили армію окупантів і ситуація у Києві, умовно кажучи, стабілізувалася, колеги почали приходити в інститут, адже за час дистанційної роботи всі раніше отримані результати досліджень уже було проаналізовано й описано, і треба було ставати за обладнання. Окремо скажу про знеструмлення. Виявилось, що наш відділ був майже готовий до цього. Чому майже? Ще до початку повномасштабної війни ми придбали доволі потужні джерела безперебійного живлення. Так, їх потужності не вистачає для деякого обладнання, але більшість приладів вони можуть живити, тож навіть коли світло вимикали, експериментальна робота у відділі тривала і триває, хоча, правду кажучи, це доволі складно, бо потрібне потужніше обладнання. Мусимо підлаштуватися під графіки відключень електроенергії та працювати ненормовано, навіть уночі.

Поряд з інститутом траплялися «прильоти». Нам повибивало безліч вікон, були й інші руйнування. Але їх наслідки вдалося швидко і майже повністю ліквідувати завдяки оперативності інститутських служб і підтримці Академії.

Сьогодні відділ працює. І, на мою думку, працює успішно. Виконуємо багато проєктів, зокрема з фінансуванням від Національного фонду досліджень України та МОН, а також міжнародних. А оскільки досліджень у нас чимало й за різними напрямками, то, відповідно, багато і публікацій, насамперед у високорейтингових журналах — першого і другого кuartилів. Суттєву роль відіграла стратегія децентралізації роботи відділу за рахунок стажування молодих учених. Війна спонукала нас дещо переорієнтуватися. Ми розпочали й успішно здійснюємо дослідження зі створення й використання полімерних матеріалів, їх зварювання й адитивного формування виробів із них для медицини (наприклад імплантів), енергетики, будівництва й інших задач задля користі нашої держави. Про деякі наші роботи написав журнал «Science». Більше того, відділ активно розвивається, передусім завдяки проєктам за вже згадуваними грантами Національного фонду досліджень України. 2021 року ми створили новітню лабораторію полімерного матеріалознавства, яку обладнали сучасними приладами для вивчення структури матеріалів і їх механічних

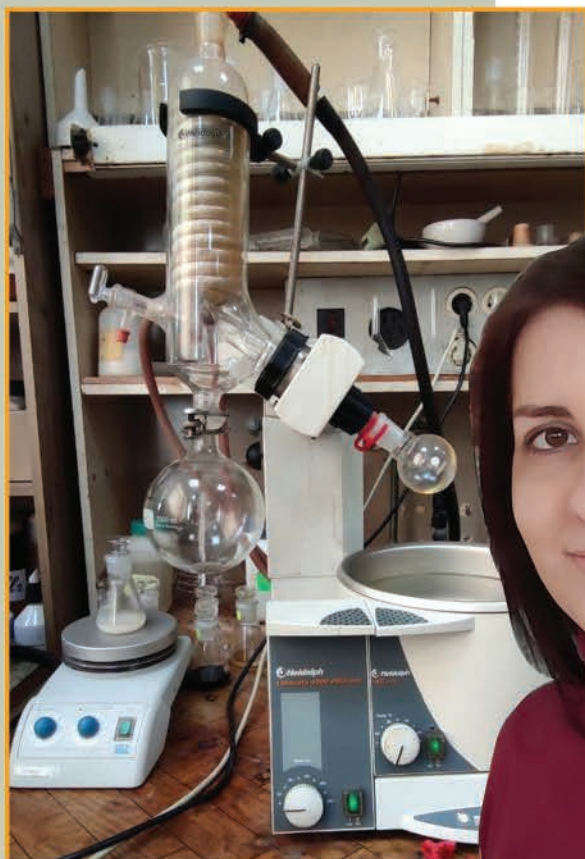
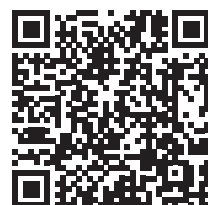
властивостей. У 2024–2025 роках завдяки іншому проєкту НФДУ лабораторію було підсилено новітнім обладнанням для теплофізичних досліджень. Створено також нову лабораторію з адитивного виробництва та біопринтингу, де побудовано «чисту» кімнату і встановлено 8 різноманітних 3D-принтерів для виконання нагальних задач.

І кілька слів про волонтерську діяльність нашого відділу. За запитом різних підрозділів ЗСУ і власним коштом наші працівники виготовляють медичні іммобілізаційні шини для тимчасової фіксації травмованих кінцівок. Підтримуємо виробництво в інституті пічок-буржуйок. Передаємо кошти на нагальні потреби наших захисників. Восени 2025 року завдяки домовленості зі шведськими друзями вдалося доправити в Україну – для батальйону «Госпітальєри» – пасажирський автобус, ущент заповнений різноманітними медичними виробами.

Словом, відділ зварювання пластмас робить усе необхідне для Української держави і все можливе для її якнайшвидшої перемоги.

**ХІМІКИ АКАДЕМІЇ СИНТЕЗУЮТЬ
ГЕТЕРОЦИКЛІЧНІ СПОЛУКИ,
ПЕРСПЕКТИВНІ ДЛЯ ТЕРАПІЇ РАКУ
ТА ІНФЕКЦІЙ РІЗНОГО ПОХОДЖЕННЯ**

**МАРИНА
КАЧАЄВА**



Я

АКТИВНІ РЕЧОВИНИ ДЛЯ МЕДИЦИНИ

Як хімія допомагає медицині? Яких надзвичайно потрібних ліків зараз бракує і де хіміки шукають активні речовини для них? Чому перспективними для такого застосування вважають гетероциклічні сполуки? Про це молода вчена-хімік, науковий співробітник відділу хімії біоактивних азотовмісних гетероциклічних сполук Інституту біоорганічної хімії та нафтохімії імені В.П. Кухаря НАН України кандидат хімічних наук Марина Качаєва розповіла в ексклюзивному інтерв'ю пресслужбі НАН України.

– Пані Марино, що саме Ви вивчаєте і чому це важливо?

– Мої дослідження стосуються тематики, яка розробляється не тільки в лабораторіях нашого відділу, а й у нашому Інституті загалом. У своєму виступі на засіданні Президії НАН України я розповідала лише про пошук і синтез противірусних агентів серед похідних азотистих гетероциклів, але ми вивчаємо й багато інших цікавих речей. Я, наприклад, займаюся синтезом потенційних біоактивних сполук гетероциклічної природи на основі оригінальних реагентів, що їх співробітники нашого відділу створювали протягом десятиліть. Гетероцикли – це складні органічні сполуки, в яких карбон поєднується, як правило, з атомами кисню, сірки чи азоту. Азотисті гетероцикли широко представлені у природі: вони входять до складу деяких вітамінів (тіазол, піримідин, піридин), амінокислот (індол, імідазол), ДНК і РНК (похідні пурину та піримідину), різноманітних алкалоїдів (піролідин, тропан, піперидин, хінолін, пурин і так далі) та біологічно активних речовин. Гетероциклами є й більшість відомих лікарських препаратів (анальгін, ізоніазид). Азотистих гетероциклів серед них – 70 %.

У відділі, де я працюю, розроблено унікальні підходи для синтезу гетероциклів на основі ациклічних сполук, застосовувані тільки у нас і більше ніде у світі. Вони дають змогу синтезувати речовини, які важко або неможливо отримати в інший спосіб. Перевага цих підходів полягає в тому, що ми можемо регіоселективно вводити різні фармакофорні заміс-

ники у певні положення гетероциклів. Крім того, такий синтез вирізняється простотою і зручністю, не потребує коштовного устаткування та каталізаторів. Сполуки утворюються з високими виходами, а вихідні речовини цілком доступні комерційно, і їх можна придбати за відносно невелику ціну.

У нашому Інституті поєднуються фундаментальні та прикладні дослідження, розробляються нові реакції та вдосконалюються вже наявні, що дає змогу синтезувати нові класи органічних сполук, для яких ми одночасно шукаємо і практичне застосування. Тобто речовини, що їх ми синтезуємо, досліджуються на предмет біологічної активності – протиракової, противірусної, антибактеріальної, противірусної, рістрегулюючої, протитуберкульозної та інших. Крім того, ми займаємося пошуком потенційних механізмів біологічної активності. Скажімо, в одному з відділів нашого Інституту досліджується взаємодія сполук із конкретними ферментами. Ми також активно застосовуємо таку стратегію, як цілеспрямований синтез, тобто вивчаємо, яку структуру й замісники повинна мати та чи інша молекула з вищою біоактивністю.

Актуальність цих досліджень зумовлена постійною необхідністю створення нових лікарських препаратів із кращою дією та меншими побічними ефектами. Особливо це стосується пошуку нових протиракових препаратів: украй потрібні речовини, які, на відміну від хіміотерапевтичних засобів, діяли б саме на пухлинні клітини. На сьогодні не існує й ефективних ліків проти більшості вірусних інфекцій (виняток – кілька препаратів проти грипу, ВІЛ-СНІДу, гепатиту С і герпес-вірусів), і це теж завдання для науки, зокрема хімічної. Нарешті, величезну проблему становить резистентність мікроорганізмів, їхня несприйнятливість до деяких наявних противірусних, противірусних і антибактеріальних препаратів. Сподіваємося, що сполуки, які синтезуються в нашому Інституті, колись стануть у пригоді і в цій ситуації.

– Розкажіть, будь ласка, докладніше про дослідження, в яких Ви зараз берете участь. Які цікаві результати вже вдалось отримати?

– У нашому відділі понад 500 нових сполук було відібрано на протираковий скринінг на 60-ти лініях ракових клітин. Дослідження охопили практично весь спектр онкологічних захворювань людини. Перспективними для подальшого вивчення виявилися сполуки азольного ряду – п'ятичленні гетероцикли. Серед цих речовин – азолів – знайдено 50 сполук, що продемонстрували значне інгібування (пригнічення) росту ракових клітин. Вивчено також антивірусну активність близько 200 нових синтезованих нами сполук – щодо різних штамів вірусів. 40 із них виявили значну активність. Наприклад,



Співробітники відділу хімії біоактивних азотовмісних гетероциклічних сполук Інституту біоорганічної хімії та нафтохімії імені В.П. Кухаря НАН України разом із завідувачем відділу доктором хімічних наук, професором Володимиром Броварцем (у центрі). Марина Качаєва – друга праворуч у першому ряду.

деякі оксазоли ефективніше пригнічували папіломавірус та цитомегаловірус, ніж препарати, використовувані в клінічній практиці. Частина сполук показала значно меншу цитотоксичність, ніж відомі противірусні препарати (як-от піродавір). Дослідженням протипухлинної та противірусної активності нових сполук ми займаємося впродовж останніх 10 років. Це надзвичайно актуальний напрям роботи, безпосередньо пов'язаний із практичним застосуванням.

Особисто я останнім часом зосередилася на азолах – досліджую вплив донорних і акцепторних замісників на їхню протипухлинну та противірусну активність. При порівнянні результатів протипухлинної активності подібних похідних оксазолу, які містять різні донорні або акцепторні замісники, було виявлено зв'язок донорно-акцепторних властивостей із рівнем протиракового ефекту. Показано, що наявність електронно-акцепторних груп сприяє підвищенню протипухлинної активності саме серед оксазолів. Подібна закономірність, хоч і не так явно виражена, спостерігається і в процесі аналізу результатів противірусної активності щодо деяких штамів. Тобто у своїх дослідженнях ми вийшли на кілька класів сполук, серед яких і оксазоли, й деякі інші, що виявили дуже обнадійливу активність. На основі такої закономірності ми можемо припустити, з якими ділянками біополімерів наші сполуки можуть зв'язуватись у клітині. Наприклад, електронно-акцепторні молекули можуть зв'язуватися з донорними

молекулами – аденіном, гуаніном, фенілаланіном, тирозином, гістидином та іншими. І навпаки: електронно-донорні сполуки матимуть афінність щодо електронно-акцепторних ділянок біомолекул – цитозином, урацилом, тиміном. Ця інформація може знадобитись у визначенні потенційних механізмів дії біоактивних сполук. А це необхідно для подальшого впровадження сполук у практику.

До речі, серед синтезованих нами речовин із протипухлинною дією слід відзначити саме такі похідні оксазолу та інших азолів, які містять дві електронно-акцепторні групи у кільці. Результати скринінгу цих сполук виявилися кращими, ніж для деяких відомих протипухлинних препаратів, використовуваних зараз у медичній практиці. Цікаво й важливо, що їх дія є селективною (тобто для двох схожих ліній ракових клітин результати досліджень можуть суттєво відрізнятись), і ця вибірковість є дуже важливою в пошуку нових протиракових агентів. Саме це дає надію на те, що в живому організмі наші речовини виявляться менш токсичними, аніж уже відомі протипухлинні препарати.

Серед похідних оксазолу знайдено також сполуки, перспективні для дослідження антивірусної активності, особливо щодо папіломавірусу людини та цитомегаловірусу. Але, треба сказати, іноді важко передбачити вплив того чи іншого замісника на біоактивність сполуки: незначні структурні зміни, які, на перший погляд, не мали би призводити до суттєвих змін біоактивності, можуть навпаки справляти на неї суттєвий вплив. Тому у пошуку нових біоактивних речовин актуальною залишається комбінаторна хімія, яка дає змогу напрацювати велику кількість різноманітних речовин певного класу для подальшого скринінгу. Це дозволяє оптимізувати структуру для подальшого синтезу більш активних сполук. Але комбінаторною хімією ми не обмежуємося, бо для впровадження у практику необхідно приділяти особливу увагу ще й дослідженню механізмів біоактивності, тобто вивчати мішені.

– Чи цікавляться клініцисти цими результатами і чи є вже приклади успішної співпраці зі практичного впровадження нових сполук?

– Деякі сполуки зараз проходять випробування *in vivo*, але впроваджених у практику препаратів ми поки не маємо. Це довготривалий процес, який потребує доклінічних і клінічних досліджень. Але перспективи у наших розробок є, бо, як я вже сказала, ми вийшли на цікаві класи сполук і виявили щодо них важливі закономірності.

– А чи розвивається міжнародна співпраця за цим напрямом?

– У нас в Інституті реалізується кілька міжнародних проектів за різними напрямками, зокрема з європейськими партнерами. За цим

напрямом варто відзначити два договори – з Національним інститутом алергічних та інфекційних захворювань США і Національним інститутом раку США (обидві установи належать до структури відомого Національного інституту здоров'я США).

Ми співпрацюємо з ними за такою схемою. На підставі попередніх комп'ютерних досліджень, аналізів даних, вивчення тематичної літератури пропонуємо американським колегам переліки речовин і докладно обґрунтовуємо необхідність здійснення їх скринінгу. Наші пропозиції розглядають і затверджують на науковій раді у США та тестують сполуки *in vitro*, а результати передають у наш Інститут. Ці дані лягають в основу спільних наукових публікацій і патентів.

– Які знання з хімії варто, на Вашу думку, поширювати передусім і які міфи про неї спростовувати?

– Наш Інститут доволі популярний серед талановитої молоді, ми постійно спілкуємося зі студентами різних університетів, і щороку чимало з них вступає до нашої аспірантури.

Тим, хто поглиблено цікавиться біоорганічною хімією, раджу опанувати англійську мову. Важливо, щоб уявлення про цю галузь відповідали сучасному рівню, адже вона дуже швидко розвивається, чимало вагомих результатів отримують саме за кордоном. Потрібні також популяризація науки хімії українською мовою серед наших школярів і студентів та нові підручники, бо класичні, написані переважно російською, давно застаріли.

– Як на Ваше життя й роботу вплинула війна?

– На мою роботу і роботу інших науковців нашого Інституту війна загалом не вплинула глобально, але вона дещо порушила звичний ритм життя через обстріли і відключення світла. Кілька науковців переїхали до країн Європейського Союзу на тимчасове чи постійне проживання. Війна спонукала нас шукати і поглиблювати співпрацю з міжнародними установами. Іноземне наукове співтовариство суттєво підтримує українських учених, зокрема надаючи безкоштовний доступ до платних вебресурсів. Крім того, деякі платні журнали публікують наші статті безкоштовно.

**ТРИУМФ ХІМІЇ.
«ЛЮБЛЮ ХІМІЮ ЗА ТЕ, ЩО
ВОНА ДАЄ ЗМОГУ ПОСТІЙНО
СТВОРЮВАТИ ЩОСЬ НОВЕ»**

**НАТАЛІЯ
ЩЕРБАНЬ**



«РОБОТА – МОЄ ДЖЕРЕЛО ЕНДОРФІНІВ»

Про цікаву науку, що надзвичайно динамічно розвивається, – хімію – та свої дослідницькі здобутки і плани в ексклюзивному інтерв'ю пресслужбі НАН України розповіла старший науковий співробітник відділу пористих речовин та матеріалів Інституту фізичної хімії імені Л.В. Писаржевського НАН України доктор хімічних наук **Наталія Щербань**



Наталія Щербань на першій урочистій церемонії нагородження українською премією L'ORÉAL – ЮНЕСКО «Для жінок у науці» (Київ, 30 листопада 2018)

– Пані Наталіє, якими дослідженнями Ви зараз займаєтеся? Чому вони важливі й актуальні?

– У відділі ми займаємося конструюванням, створенням наноструктурованих пористих матеріалів різної будови із наперед заданими властивостями. Такі дослідження в Інституті фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського НАН України розпочав ще професор В.Г. Ільїн – мій учитель і наставник. Володимир Георгійович був дуже талановитою та багатогранною особистістю, і я дуже вдячна йому, передусім за те, що повірив у мене. Можу сказати, що в цій галузі Інститут є лідером на пострадянському просторі, а можливо, і в Східній Європі. Моя робота передбачає розроблення пористих матеріалів різної природи, дослідження їх фізико-хімічних властивостей, а також пошук галузей практичного застосування, зокрема в адсорбції, каталізі, фотокаталізі тощо. Принципова важливість цих досліджень полягає у можливості отримання пористих матеріалів не будь-яких, а з визначеними, регульованими будовою (а саме – заданої геометрії та пористості, тобто розміру й об'єму пор) і функціональними властивостями (завдяки наявності, серед іншого, активних центрів певного типу, розміщення, концентрації). До речі, площа поверхні, яку створюють такі пори, може сягати дуже значних величин – до 1500 м² на 1 г речовини (!). Усі згадані параметри мають значення для подальшого застосування нових пористих матеріалів у сучасній хімічній і фармацевтичній промисловості, зокрема для проведення каталітичних процесів і одержання тих чи інших цінних речовин, у тому числі за участю цеолітів.

Ми також шукаємо нові каталізатори, які відповідають цілям сталого розвитку, – забезпечують зменшення кількості відходів і дозволяють уникнути забруднення металами. За цим напрямом я займаюся, серед іншого, створенням безметалевих каталізаторів, які так само, як і металовмісні матеріали, здатні каталізувати певні процеси.

– Розкажіть, будь ласка, про найважливіші результати своїх досліджень. Чи є серед них перспективні для практичного застосування? І чи співпрацюєте Ви з фахівцями, які могли би ці результати впровадити?

– В останній рік ми працюємо за грантом НАН України для молодіжних дослідницьких лабораторій і груп – керую однією з таких лабораторій, сформованій в Інституті фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського НАН України. Зараз ми створюємо високоактивні нанорозмірні та нанокмпозитні каталізатори нового покоління для переробки біосировини. Ці дослідження мають практичну цінність. Адже нині активно вивчається заміна невідновлюваних паливних ресурсів – як-от нафти, природного газу, вугілля – відновлювальною біо-

масою. Це важливо для виробництва продуктів із високою доданою вартістю – біопалив, біопластиків та інших. А оскільки світові запаси нафти стрімко скорочуються, то розроблення каталізаторів для виробництва промислово важливих речовин із використанням сировини ненафтового походження – непродовольчої біомаси (залишків рослин, целюлози) – є одним із перспективних наукових напрямів. У рамках проекту за академічним грантом ми займаємося саме створенням каталізаторів для переробки такої біосировини.

Торік ми з колегами виграли також грант Національного фонду досліджень України, за яким працюємо над створенням високоактивних нанорозмірних цеолітовмісних каталізаторів і розроблюємо відповідні екологічно безпечні однореакторні каталітичні процеси переробки біосировини у цінні органічні сполуки. Тут завдання полягає в тому, аби, по-перше, створити такі каталізатори – нанорозмірні та цеолітовмісні, – що характеризувалися б підвищеною доступністю як пор, так і активних центрів для об'ємних молекул реагентів (що само по собі є нетривіальним завданням); по-друге, розробити саме екологічно безпечні каталітичні процеси завдяки зменшенню використання шкідливих розчинників.

Ми намагаємося створювати каталізатори, здатні забезпечувати дво- чи тристадійний процес в одному реакторі (це так звані однореакторні каталітичні процеси) і в такий спосіб значно зменшити кількість відходів. Для цього використовуємо відновлювану сировину, зокрема такі матеріали, як фурфурол чи спирти, що утворюються з рослинної сировини в результаті бродіння. У цьому й полягає екологічність. Використання цеолітовмісних каталізаторів власної конструкції дає нам змогу отримувати певні цінні органічні сполуки. Найчастіше – для фармацевтичних застосувань, але також і для отримання біопалив. Скажімо, раніше саме завдяки таким цеолітовмісним каталізаторам ми вже продемонстрували принципову можливість різних процесів. Наприклад, синтезу компонентів лікарських препаратів, зокрема з антимікробною, протипухлинною, протизапальною активністю. Завдяки цим матеріалам можна також одержувати складники харчових ароматів та парфумних основ і багато іншого.

Звісно, ми намагаємося співпрацювати з компаніями (зокрема хімічними), які мають стосунок до практичного використання наших розробок. Останнім часом наш відділ виконував господарські договори з такими відомими в Україні науково-виробничими підприємствами, як «Єнамін», «Укроргсинтез» та «І.Ф. ЛАБ», – цілеспрямовано розробляли для них каталізатори. Обидві сторони дуже задоволені результатами співпраці. Ми відкриті до співпраці й з іншими партнерами. На мою думку, створення основ для конструювання каталі-

заторів і адсорбентів із заданими властивостями – наш сильний бік як учених, адже ми працюємо одночасно і на розвиток науки, і для практичної користі.

– Наскільки розробленими є ці напрями досліджень у світі? Як Ваші наукові результати виглядають у світовому науковому контексті? І з ким з іноземних колег співпрацюєте?

– Звичайно, у світі активно займаються створенням каталізаторів для переробки відновлюваної сировини, зокрема каталізаторів на основі цеолітів, різних безметалевих каталізаторів. Це зараз дуже актуально й зумовлено екологічністю таких матеріалів. Ми з колегами з Інституту фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського НАН України намагаємося працювати на рівні кращих наукових колективів, стараємося постійно створювати щось своє. Я, наприклад, визначаю процеси, де безметалеві каталізatori можуть діяти не менш ефективно, ніж металовмісні каталізatori, зокрема, ті, до складу яких входять благородні метали. Велику частину таких досліджень ми проводимо у відділі, використовуючи інститутське наукове обладнання.

Про доволі високий рівень наших досліджень свідчать передусім наші публікації у хороших закордонних журналах з високим ім-пакт-фактором та інтерес до цих публікацій, який знаходить своє продовження у співпраці з іноземними колегами. На цей момент найактивніше співпрацюємо з фінським університетом «Åbo Akademi», що у Турку – з науковою групою дуже відомого вченого в галузі ката-лізу професора Дмитра Мурзіна. Ми вже успішно опублікували низку спільних наукових статей. Я двічі по три місяці стажувалась у цьо-му університеті. Зараз взаємодіємо дистанційно. Тривале і плідне співробітництво підтримуємо з Карловим університетом у Чеській Республіці – з дослідницькою групою під керівництвом професора Їржі Чейки. Це теж дає нам змогу проводити дослідження високого рівня. Разом із зарубіжними колегами ми, зокрема, вивчаємо ката-літичні властивості синтезованих матеріалів у різних екологічних, на-віть екзотичних каталітичних реакціях, спрямованих, серед іншого, на одержання речовин, які є потенційними активними фармацевтич-ними інгредієнтами. Міжнародна співпраця відкриває хороші мож-ливості для вивчення наших зразків – методами електронної мік-роскопії та іншими методами – у провідних європейських лаборато-ріях (в Естонії, Фінляндії, Франції, Чехії).

– Вас можна було послухати на онлайн-заході до Міжнародно-го дня жінок і дівчат у науці. Наскільки активно Ви займаєтесь просвітницькою діяльністю? Яких тем зазвичай торкаєтесь?

– Так, це була відкрита онлайн-конференція «Українки в науці, яким аплодує світ», дуже тепла, приємна і цікава. Її ініціювали й ор-

ганізували компанія «L'Oréal Україна» та Центр «Розвиток корпоративної соціальної відповідальності». Цей захід – один із хороших прикладів популяризації науки серед дітей. На роль спікерок організатори заходу запросили переможниць національної премії L'ORÉAL – ЮНЕСКО «Для жінок у науці» (я отримала цю нагороду 2018 року), а до участі – школярок із різних куточків України. Спочатку ми з колегами розповідали про свої дослідження, а потім відповідали на запитання цих дівчаток. Приємно, що всім було цікаво спілкуватися. Я завжди радо погоджуюся на участь у таких подіях, адже це чудова нагода розповісти про свій фах. Можливо, хтось справді відкриє для себе науку, зокрема хімію, зацікавиться нею.

У моєму випадку до популяризації, напевно, слід зарахувати ще й роботу зі студентами. Я читала ознайомчі лекції в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», щоб заохотити здібну молодь вступати до аспірантури нашого Інституту, а також була співкерівником низки дипломних робіт. Під моїм керівництвом проходили практику студенти Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Національного авіаційного університету й інших.

– З якими навколохімічними забобонами, міфами, упередженнями Ви стикались як учена і популяризаторка? Яка неправда про хімію найчастіше зустрічається у повсякденному житті та як її можна спростувати?

– Мабуть, найбільша неправда і прикрість, коли про щось говорять: «Це погано, бо це ж "хімія"!». Хімія – це не погано. Люди забувають, що хімія – в усьому навколо нас, бо все складається з хімічних речовин, у доквіллі і в живих організмах постійно відбуваються хімічні реакції. Крім того, завдяки хімії створено багато лікарських препаратів, які рятують життя і зберігають здоров'я людей: до складу ліків входять ті чи інші хімічні речовини, які діють у потрібний спосіб, певним чином впливаючи на живі клітини та викликаючи відповідні процеси в організмі. Без хімії ми не могли би жити.

– А що особисто Вас спонукало обрати хімію своїм фахом?

– Хімія подобалася мені ще у школі. Багато й поглиблено нею займалася, розв'язувала більше задач, ніж вимагалось за шкільною програмою, бо вчителька взялася готувати мене до олімпіад із хімії. Але десь до одинадцятого класу не збиралася пов'язувати з хімією своє подальше життя – вподобання змінювалися швидко, хотілося то одного, то іншого. Та, зрештою, зрозуміла, що саме цей предмет знаю найкраще, тож вступила на хімічний факультет Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького. Навчатися було цікаво, магістратуру закінчила з відзнакою і вступила до аспі-

рантури Інституту фізичної хімії імені Л.В. Писаржевського НАН України, де мені вповні відкрилася вся краса хімічної науки. У мене був дуже хороший науковий керівник – доктор хімічних наук, професор Володимир Георгійович Ільїн, який, на жаль, уже кілька років не з нами. Він погодився взяти мене до себе в аспірантуру, бо, за його словами, у мене «горіли очі». Це надихало працювати наполегливо, якісно, творчо. Аспірантуру закінчила успішно, кандидатську дисертацію захистила вчасно і залишилася працювати в Інституті.

...Чому хімія? Люблю її за те, що вона дає змогу постійно створювати щось нове і корисне. Коли нам вдається одержати матеріал або речовину із властивостями, які перевершують аналоги та дозволяють значно краще провести якийсь процес, це приносить радість і задоволення, мотивує далі шукати і знаходити, вдосконалювати свої результати. Робота – моє джерело ендорфінів. Те, чим займаюся, дуже цікаве і захопливе.

– У науці постійно виникають нові ідеї, нові напрями. Якщо не секрет, чи придивляєтеся Ви до якихось нових тем і чим хотіли би займатись у найближчому майбутньому? Поділіться, будь ласка, планами.

– Наразі концентруюся здебільшого на тому, що вже розвиваю впродовж більш-менш тривалого часу. Адже розроблення цеолітвмісних каталізаторів для переробки відновлюваної сировини та конструювання безметалевих каталізаторів – це, власне, теж доволі нові напрями досліджень. Тут ще дуже велике поле діяльності, на якому я реалізувала далеко не всі свої ідеї. Звісно, часто стається так, що, працюючи над чимось одним, ми паралельно знаходимо щось інше. Як і будь-яка творча діяльність, хімія цікава своєю непередбачуваністю.

Кардинально змінювати науковий напрям поки що не планує. Є цікаві ідеї та напрацювання, зокрема і з суміжних тем.

– Як на Вашу роботу вплинуло повномасштабне російське вторгнення?

– Повномасштабне російське вторгнення, звісно, вплинуло негативно на все наше життя і роботу. Особливо важко, як і для всіх, було спочатку, в лютому 2022, коли ми не знали, що робити, куди бігти, як бути... Потім трішки звикли, адаптувалися до життя в нових реаліях. Перший місяць чи два працювали у дистанційному режимі. Потім повернулися до лабораторій, адже наші дослідження – це передусім експериментальна робота. Ясна річ, важко працювати під звуки тривоги, атаки ракет і дронів, однак не впасти у відчай і виживати особисто мені від самого початку допомагає зосередженість на певній справі, зокрема на науковій роботі. 2022 року я принципово відмови-

лася полишати Україну, хоча отримувала чимало гарних пропозицій з-за кордону. У 2023 р. працювала в Åbo Akademi University за грантом від Академії Фінляндії. 2024-го мала два короткі (по місяцю) стажування в Німеччині, а також взяла участь у двох конференціях (Франція та Японія). 2025 року теж місяць була в Німеччині (бо маємо спільний проєкт із німецькими колегами), а ще взяла участь у чотирьох конференціях: як запрошена лекторка – у Турку (Фінляндія), в Атланті (США), Даляні (Китай) і Тронгеймі (Норвегія).

Нашу роботу суттєво ускладнюють, а часто унеможливають атаки по енергетичним об'єктам, результатом яких є проблеми з електропостачанням. Тож доводилося корегувати енергоємні експерименти. Намагаємося триматись і розв'язувати ці проблеми. Наприклад, завдяки німецькому гранту мені вдалося придбати акумулятор та інвертор, щоб забезпечувати електроенергією найбільш критичне обладнання.

З огляду на скорочення державного фінансування наукових досліджень від початку війни потрібно було шукати альтернативні джерела коштів, тож я подавала проєкти на різні оголошені конкурси від іноземних організацій (окрема величезна подяка закордонним партнерам за підтримку для України у різних сферах, серед іншого і в науці!), зокрема, від Товариства Макса Планка (Німеччина), Міністерства енергетики США, Дослідницької ради Фінляндії. Вдалося виграти ці конкурси й отримати фінансування на виконання наукових досліджень спільно з провідними закордонними вченими. Здобуті гранти суттєво вплинули на мій науковий прогрес, дозволили фінансово підтримувати виконавців цих проєктів і залучити нових людей, оплачувати необхідні для роботи хімічні реактиви, матеріали, обладнання та послуги, а також взяти участь у престижних наукових форумах.

Нові наукові здобутки дали змогу публікувати нові статті у провідних наукових журналах, подавати на конкурси нові наукові проєкти. Наприклад, нещодавно ми розпочали тристоронній проєкт (США – Україна – Естонія), що фінансується Національним науковим фондом США (NSF). Крім того, схвалено інший проєкт, поданий спільно з Університетом Осло на конкурс від Дослідницької ради Норвегії. Ще кілька проєктів, які я подала, перебувають на рецензуванні.

У кожній закордонній поїздці – на стажування чи конференцію – прагну показати й довести, що ми здатні добре працювати, а наша нація заслуговує на підтримку. Часто доводиться пояснювати іноземцям причини війни, чому українці та росіяни різні, чому українська мова така важлива. Це все необхідно розповідати, щоб за кордоном підтримували нашу країну. Тож тримаємось і працюємо далі!



ТРИУМФ ХІМІЇ

ЮЛІЯ
ШЛАПА





«ЩОБ БУТИ НАУКОВЦЕМ, ТРЕБА ПОСТІЙНО РОЗВИВАТИСЯ»

ілеспрямована, впевнена у собі, знає, чого хоче, і йде до цього крок за кроком. Труднощі для неї – не нездоланна

перешкода, а просто чергова задача, яку потрібно розв'язати. Таке перше (та й кожне наступне) враження справляє наша героїня – Юлія Шлапа, старша наукова співробітниця відділу хімії твердого тіла Інституту загальної та неорганічної хімії НАН України, кандидатка хімічних наук. Вона не раз подавала заявку на здобуття української Премії L'ORÉAL – UNESCO «Для жінок у науці», і 2021 року отримала спеціальну відзнаку від журі Премії, а 2024 року – і головну нагороду. Зрештою, ми й не сумнівалися: для кожного, хто знайомий з Юлією, це виглядає цілком логічно. Про свій шлях у науку й у науці пресслужбі НАН України розповіла сама лауреатка.

– Пані Юліє, що спонукало Вас обрати науку своїм фахом?

– Правду кажучи, такої мети у мене не було. Мені завжди подобалося викладання, а для цього потрібно мати науковий ступінь. Тому ще студенткою, особливо після педагогічної практики в магістратурі (а навчалась я у своєму рідному Луцьку), я вирішила, що вступатиму до аспірантури. І якось навіть не замислювалася, що викладачі теж займаються наукою. Від декана нашого факультету я дізналася, що є можливість вступати в аспірантуру Інституту загальної та неорганічної хімії. Приїхала до Києва, познайомилася з Анатолієм Григоровичем Білоусом (Анатолій Білоус – український науковець-хімік, академік НАН України, завідувач відділу хімії твердого тіла Інституту загальної та неорганічної хімії НАН України). Він коротенько розповів, чим займаються у відділі. І я вирішила випробувати свої сили. Вступила, розпочала дисертаційне дослідження. І науковий процес плавно мене затягнув. Мені сподобалося. По-перше, тематика цікава. По-друге, Анатолій Григорович дуже мені імпонує як шеф, з ним комфортно працювати. Отак я залишилася в науці.

– Паралельно не викладаєте?

– Ні.

– Не жалкуєте?

– Ні, не жалкую. Чим цікавіша наукова робота? У науці ти маєш можливість створити щось нове, про що потім розповідатимуть студентам.

Особливо мені до вподоби відчуття, які охоплюють, коли нарешті виходить наукова публікація. У ній може бути шість сторінок тексту, але тільки ти знаєш, скільки роботи за цим стоїть – від планування дослідження до аналізу й опису його результатів. Потрібно обговорити з колегами і спланувати експеримент, знайти, де його виконати, бо в нас це окремий квест. У відділі, звісно, є власне наукове обладнання, зокрема і придбане за кошти міжнародних проєктів (це, наприклад, прилад для дослідження матеріалів у розчинах, на якому я працюю, – він з'явився у нас завдяки виконанню проєкту за Програмою НАТО «Наука заради миру і безпеки»), але багато чого досліджуємо за кордоном. Шукаємо для цього можливості, подаємо проєктні заявки, змагаємося за гранти на доступ до закордонного обладнання. Або просто домовляємося з іноземними колегами, з якими вже маємо досвід співпраці. Вони часто йдуть назустріч і допомагають.

Словом, дослідження потрібно спланувати, виконати, опрацювати одержані дані, описати й узгодити результати з усіма співавторами і нарешті подати до друку. Статтю не завжди приймають з першого разу, надто якщо йдеться про високореєтинговий фаховий журнал. Процес рецензування може бути складним і тривалим. Але коли публікація таки з'являється – це, безумовно, радість.

– А наскільки добре вам із колегами вдається використовувати можливості європейських дослідницьких інфраструктур?

– Вдається. Простіше, коли ми з іноземними партнерами маємо спільний проєкт і частину досліджень можна виконати з використанням обладнання, наявного у партнерів. Крім того, існують різні конкурсні програми – можна подавати заявки саме на доступ до наукового обладнання. Наприклад, програми CERIC-ERIC (Консорціуму науково-дослідницької інфраструктури Центральної Європи). Постійно користуюся її можливостями.

– Тобто Вам не обов'язково туди їхати?

– Звісно, краще їздити. Але через пандемію поїздки на якийсь час зовсім припинились і все перейшло у дистанційний режим, але вже можна знову їздити і брати безпосередню участь у дослідженнях. Складно подібні експериментальні дослідження виконувати віддалено, коли немає змоги на місці все оглянути, обговорити і, можливо, скоригувати експеримент. Тому чудово, якщо можна поїхати і самій попрацювати з обладнанням, зорієнтуватись, розібратись, навчитись нового. І в цьому теж полягає цікавість науки – ти ніколи не сидиш

на місці. Як у прямому, так і в переносному значенні. Щоб бути науковцем, потрібно постійно розвиватися.

– А як зараз зі стажуваннями? Чи були Ви за кордоном уже після початку повномасштабного вторгнення?

– Недовго, але була. Як я вже говорила, ми виконували проєкт за програмою НАТО і мали можливість їздити до партнерів. Наприклад, їздила до Іспанії, періодично відвідую Словаччину, бо ми дуже добре і тісно співпрацюємо з колегами із Кошиць. Довготермінових стажувань у мене немає, на рік і довше не виїжджаю.

Так, зарплата науковця у нас невисока, але можна працювати і шукати додаткових фінансових можливостей. А якщо хотіти і всюди подавати заявки – неодмінно щось та вдасться. Згадаймо ті ж молодіжні гранти у нашій Академії, міжнародні гранти тощо. Наприклад, проєкти за грантами НАТО більш орієнтовані на придбання нового обладнання і не передбачають зарплатні для виконавців, але НАТО окремо надає стипендії. І я, як молодий науковець, таку стипендію отримувала. А також стипендію Президента України для молодих вчених. Але перш ніж здобувати ці додаткові можливості, потрібно напрацювати собі рейтинг, що я й роблю після захисту кандидатської дисертації.

– Чи важко поєднувати наукову діяльність із родинним життям?

– Зовсім ні.

– Як Ви балансуєте?

– Прекрасно. У мене є неймовірна підтримка моєї сім'ї, тому все намагаємося встигати і з усім справлятися. Ба більше, я не ходила в декрет – продовжувала працювати: і дистанційно, і на місці. Інакше за три роки я випала б із теми і довелося або змінювати роботу, або починати щось нове, а мені того не хотілося. У мене було багато напрацювань і нових досліджень, їх не можна було просто взяти й полишити. Домовлялися з колегами, розподіляли завдання – і все вийшло.

Крім того, слід розуміти, що наукова робота – дуже творча. Ти почуваєшся ніби вільний художник. Так, є дедлайни, яких я намагаюся дотримуватись, але жорсткого графіку немає: сьогодні я можу за день написати пів статті, а завтра – підготую заявку на грант. І це не конче має бути саме «з дев'ятої до шостої».

Я вважаю, що якщо є бажання, то часто можна знайти і можливості. Ми в Інституті, наприклад, іще під час блекаутів 2022 року навчилися без світла підключати деяке обладнання і виконувати вимірювання. Тим більше можна працювати, коли немає інтернету. Загалом, багато до чого маємо навчитися пристосуватися.

– Чому Ви обрали саме хімію?

– Не люблю довго сидіти на одному місці і читати параграфи теорії. Мені ще зі школи подобалися хімія і математика, бо можна було

просто запам'ятати те, що вчитель пояснював на уроці, а далі розв'язувати практичні завдання, щоб зрозуміти тему краще. Цікаво було застосовувати знання на практиці.

Я навчалась у школі в передмісті Луцька, і, звісно, якихось особливих реактивів у нас не було. Більшість реакцій ми бачили тільки на папері. Хіба що могли гасити соду оцтом. Іноді на лабораторній роботі мені дозволяли продемонструвати якусь реакцію. Тому університетські лабораторії, де для кожного зі студентів ставили пробірку і набір реактивів, свого часу приголомшили.

Серед інших наук я у школі любила біологію, але врешті обрала хімічний факультет. Цікаво, що до десятого класу я взагалі-то збиралася стати перекладачем з англійської. Коли вирішила вступати на хімічний, багато хто відраджував. Пророкували, що у найкращому випадку викладатиму в школі, і рекомендували звернути увагу, наприклад, на економіку. Але у мене з цього приводу була своя думка.

– А які найпоширеніші стереотипні уявлення про хімію? Кажуть, у хіміків постійно щось вибухає і ширяться дивні запахи.

– Та вибухає. І запахи бувають. Тобто не такі вже це й стереотипи. Але далекі від науки люди, коли дізнаються, що працюю хіміком, то цікавляться, чи можу зварити наркотики і змайструвати вибухівку. Ну, напевно, якщо постаратися, то все можна (*посміхається*). Або ще розповідають мені, що хімія їм погано давалась у школі, чи намагаються пригадати щось зі шкільного курсу – так, наче складають мені іспит.

– Пані Юліє, з чого Ви починали у науці, з яких досліджень? І як змінилися Ваші інтереси, пріоритети?

– Коли я тільки прийшла в Інститут, тут разом із колегами з ІЕПОР (Інститутом експериментальної патології, онкології і радіобіології ім. Р.Є. Кавецького НАН України) починали синтезувати і досліджувати магнітні наноматеріали медичного призначення, зокрема для використання у магнітній гіпертермії. Це такий метод онкотерапії, за якого в пухлину вводять магнітні наночастинки, а потім діють на неї змінним магнітним полем, унаслідок чого пухлина нагрівається і за певного температурного режиму руйнується.

Я долучилася до цих досліджень і моя дисертаційна робота була присвячена синтезу та вивченню магнітних наночастинок на основі манганіту лантану-стронцію зі структурою перовськіту для з'ясування можливості їх використання в ролі індукторів магнітної гіпертермії.

Ще до захисту дисертації я паралельно почала працювати з церій діоксидом (CeO_2), який є перспективним антиоксидантом. Ми досліджували його також спільно з колегами з ІЕПОР, щоб на його основі розробити ефективні радіопротекторні засоби. Розвиваючи цей напрям, налагодили також співпрацю ще й із відділом біофізи-

ки Інституту експериментальної фізики Словацької академії наук, де теж тестували біологічні властивості церій діоксиду. Разом ми почали синтезувати його в різні способи, підбираючи умови, щоб отримувати наночастинки з оптимальними характеристиками. Згодом вирішили ускладнити собі завдання – перейшли до створення композиційних матеріалів на основі церій діоксиду і магнітних наночастинок. Очікується, що вони матимуть підвищену біологічну, антиоксидантну, радіопротекторну дію. До речі, словацькі колеги експериментально продемонстрували антиамілоїдну дію цих матеріалів, що може бути перспективним для лікування нейродегенеративних захворювань – наприклад, хвороби Альцгеймера. Статті про них (*про матеріали*) опубліковано у фахових журналах.

Для виконання цих досліджень ми виграли грант НАТО, в межах якого розробляли наноматеріали, які будуть ефективними радіопротекторами, тобто захищатимуть живий організм від радіаційних опроміненень. Зараз мої наукові дослідження спрямовані на розроблення мультифункціональних композиційних наноматеріалів із вираженою біологічною активністю (антиоксидантною, радіопротекторною дією тощо).

– Яким може бути шлях цих матеріалів, речовин, сполук до практичного використання? Де їх потім можна буде побачити? Чи, можливо, вже можна побачити?

– Те, що ми створюємо, зараз на стадії лабораторних досліджень. Однак у мене є така смілива мрія, щоб наші розробки дійшли до клінічних досліджень. Але, звісно, це потребує суттєвого фінансування, не кажучи вже про дозволи на такі експерименти і реєстрацію препаратів (якщо вони добре себе зарекомендували).

– А що досліджуєте в межах проєктів за грантами Національної академії наук України для молодіжних дослідницьких лабораторій і груп?

– Зараз я виконую вже третій проєкт за академічним молодіжним грантом. І всі три проєкти мали здебільшого фундаментальне спрямування. Перший став своєрідним моїм дебютом у ролі керівника. Він допоміг нам із колегами з відділу хімії твердого тіла продовжити дослідження матеріалів зі структурою перовськіту для зберігання і перетворення енергії. Ми, знов-таки, намагались оптимізувати умови отримання і фізичні параметри різних класів матеріалів, змінюючи, наприклад, їх (матеріалів) хімічний склад. Тобто вивчали ці матеріали з погляду хімії та матеріалознавства і прогнозували, де їх можна буде застосувати.

Другий молодіжний проєкт, яким я керувала, присвячувався синтезу кількох функціональних наноконкомпозитів – на основі церію діоксиду і магнетиту – з підвищеною біоактивністю. Потім у межах

цього ж проекту ми розробляли наноккомпозити з підвищеною біофункціональністю. І тут акцент знову був на пошуку оптимальних шляхів отримання такого композиту і дослідженні його фізико-хімічних характеристик, морфології. Отримані композити тестували словацькі колеги. Результати вийшли чудові: нам вдалося синтезувати композит, який за ефективністю (тобто за вже згаданою біоактивністю, антиоксидатною та антиамілоїдною дією) перевершував свої індивідуальні компоненти. Ми хотіли досягти синергії – ми її досягли. Але це тільки початок роботи з композитами. Лишилося чимало нез'ясованих питань, зокрема щодо механізму цієї синергії та щодо спрощення умов синтезу.

А третій проект стосується вже зовсім іншого напрямку, який є у нашому відділі, має більше фізичних акцентів. Йдеться про створення магнітних залізо-ітрієвих феритів зі структурою гранату для компонентів сучасних систем зв'язку, радіолокації. У межах проекту аналізуємо, як умови синтезу і хімічні заміщення позначаються на структурі та властивостях нашого кінцевого «продукту». Знаючи це, так само можна прогнозувати, для якого саме практично застосування вони будуть придатні.

– Що плануєте досліджувати у майбутньому? Чи придивляєтеся до якихось інших цікавих напрямів?

– Я ще далеко не все зробила у своєму науковому напрямі, виходячи з можливостей, які є зараз, оскільки він був, є і буде актуальним у всьому світі. Мені подобається працювати з наноматеріалами для медицини, бо у цій сфері більше місця саме для хімії. Крім того, ці дослідження орієнтуються на актуальні потреби. Пошук нових ефективних засобів медичного призначення є безупинним процесом, а останні дослідження свідчать, що неорганічні наноматеріали стають дедалі перспективнішими у цій сфері.

– Що можете порадити молоді, яка хоче піти у науку?

– Якщо є справжнє і щире бажання займатися наукою – займайтеся, працюйте, досягайте результатів. Головне правильно обрати напрям, щоб робота приносила задоволення. Треба бути готовим до того, що ваша робота виходитиме за рамки власне робочого часу. Я не кажу, що доведеться працювати в режимі 24/7, але графік точно буде ненормований, бо часто корисні і цікаві ідеї можуть приходити у найнесподіваніший момент. Якщо є амбіції і якщо спрямувати їх у правильне річище, то завжди можна чогось досягти. Але ніщо не впаде з неба. Самих амбіцій замало.

– Таланту теж, мабуть, недостатньо?

– Так. Але я б не сказала, що маю якийсь талант – як, наприклад, у митців. Хоча науковці по-своєму творчі.

– А крім науки ще чимось цікавитесь? Маєте якусь хобі?

– Люблю вишивати хрестиком. На жаль, зараз на це майже немає часу. Ще дуже люблю читати художні книги. Зокрема, люблю сучасну українську літературу, одна з улюблених авторок – Люко Дашвар. Люблю складати пазли. А от співати, грати на музичних інструментах, малювати я не вмію. Хоча коли потрібно графічно оформлювати статтю чи презентацію, то тут я перфекціоністка: люблю, щоб усе було не лише презентабельно і красиво, а й правильно, на своїх місцях, щоб розділові знаки стояли де слід. Узагалі люблю і поважаю грамотність, часто мене засмучують книги деяких українських видавництв, надто дитячі – там трапляється багато росіянізмів. Тому сина з дитинства навчаємо говорити правильною літературною українською мовою, бо маю з цього питання дуже чітку позицію і переконана, що сьогодні це надзвичайно важливо.

– Як Ви оцінюєте перспективи науки в Україні?

– Сподіваюся, вона буде розвиватися, бо зараз багато чого тримається на ентузіазмі. З іншого боку, побільшало конкурсних програм, які надають цілком непогане додаткове фінансування. Так, їх усе ще не достатньо багато, але можливості є і важливо використовувати їх максимально. Хочеться вірити, що перспективи є. А що буде далі, час покаже. Поки що я можу собі дозволити залишитись у науці. До речі, мене неабияк підтримала українська Премія L'Oréal – UNESCO «Для жінок у науці». Окрім фінансового складника – це визнання рівня наукових результатів, їх важливості й актуальності, стимул працювати далі та мотивувати себе на досягнення нових цілей.

Тому бажаю всім, хто шукає свій шлях, не зупинятися, вірити в себе і шукати можливості реалізувати свої мрії.

– Як на Вашу роботу вплинуло повномасштабне російське вторгнення?

– Війна, безумовно, вплинула на наукові дослідження, перетворивши адаптацію до нестабільних умов на невід'ємну частину щоденної роботи. Перебої з електропостачанням, відсутність Інтернету, повітряні тривоги і загальна напруженість ситуації в країні суттєво впливають, зокрема, й на планування експериментів і наукову комунікацію, та водночас стимулюють шукати нестандартні розв'язання проблем, що виникають. Ще під час блекаутів 2022 року в Інституті ми навчилися підключати окреме обладнання без стаціонарного живлення та виконувати необхідні вимірювання в автономному режимі, що дало змогу не зупиняти дослідницький процес. Загалом війна показала, що, якщо є бажання і відповідальність, можна знаходити можливості для продовження наукової діяльності навіть у критичних умовах, водночас формуючи нову культуру стійкості, гнучкості та професійної витривалості.



ТРИУМФ ХІМІЇ

ОЛЕҢА ПАРІЙСЬКА



В

«ХІМІКИ – УНІВЕРСАЛЬНІ ФАХІВЦІ, ВОНИ МОЖУТЬ УСЕ»

она врятувалася з-під російської окупації, залишилась огна з маленькою дитиною, але вибрала Україну і розвиває науку вдома. Її гасло: «Не здавайся». У грудні 2024 року ця сильна і розумна жінка стала огнією з переможниць VI української премії L'ORÉAL – ЮНЕСКО «Для жінок у науці». Як це – бути українською науковицею під час війни? Які перспективи відкриває сучасна хімія? Навіщо потрібні електрокаталізатори? Про все це пресслужбі НАН України розповіла Олена Парійська, кандигат хімічних наук, наукова співробітниця відділу вільних радикалів Інституту фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського НАН України.

– Пані Олено, як Ви опинились у науці?

– Почну з того, що насправді я не хотіла бути хіміком.

– А ким хотіли?

– Колись давно – вчителькою. Потім, уже навчаючись у математичному класі, я хотіла стати математиком, програмістом. У моїй родині майже всі – хіміки: і мама, і її батьки (дідусь, до речі, так само був електрохіміком, як і я тепер). А в мене була така позиція: от усі хіміки, а я хіміком не буду.

– Але хімія вирішила інакше.

– Так, хімія вирішила інакше (посміхається). Вона давала мені ще зі школи. І в гуртках Малої академії наук. Зрештою, я вступила на хімічну спеціальність у Київський національний університет технологій та дизайну (далі КНУТД). Спеціальність називалася «технічна електрохімія» і проіснувала 20 років. На жаль, її там більше немає – позаторік закрили. Можна сказати, що я здобула унікальну освіту, бо кафедра за цим напрямом зараз лишилася тільки в КПІ. Зрозуміло, що в часи мого студентства більшість вступників обирали КПІ. Що ж робили викладачі КНУТД? Їздили містами, ходили по школах, розпитували про талановиту молодь. Отак загітували і мене. До нас у Полтаву теж приїхав один із викладачів, Віктор Степанович Твердохліб (кандигат технічних наук, доцент), розповів, як чудово у них навчатись, які хороші і кафедра, і завідувач.

– Чим приваблювали?

– Міжнародною співпрацею, всілякими закордонними конференціями, великою кількістю проєктів за міжнародними грантами. Завідувач нашої кафедри В'ячеслав Зиновійович Барсуков (*доктор хімічних наук, професор, нині – провідний науковий співробітник відділу нанорозмірних вуглецевих матеріалів для акумулювання енергії Інституту сорбції та проблем ендоекології НАН України*) був дуже активний у цьому плані. Наприклад, у той час на кафедрі виконували проєкт за грантом НАТО. Але для мене ключовим виявився інший момент: студентів набирали без іспитів, за підсумками співбесіди. Надавали гуртожиток, стипендію. А для мене це було важливо, я не хотіла, щоб батьки платили за навчання. І я подумала: чом би й не піти? В Україні тоді саме запровадили так звану болонську систему, то я вирішила, що рік повчусь у КНТУД, а потім, можливо, переведусь деінде, коли на місці з'ясую що і як. Можна було скласти академрізницю і перевестись, наприклад, на хімічний факультет Київського національного університету імені Тараса Шевченка. І в нашій групі було багато вступників, які міркували так само, як я. Можна було, звісно, залишитись і навчатись у Полтаві (і спершу я так і планувала), але Київ усе-таки відкриває більше перспектив. Тому в березні я погодилася на пропозицію Віктора Степановича, а у вересні вже поїхала до Києва навчатися. Отримувала підвищену стипендію. Провчившись рік, зрозуміла, що мені більше подобається не просто хімія, а електрохімія, де досліджують перетворення хімічної енергії на електричну і навпаки. У цій галузі насправді багато математики. Мене це так зацікавило, що я передумала переводитись. Тобто так сталося, що я фактично вже в університеті з'ясувала, куди ж пішла вчитися (*посміхається*).

– А як Ви потрапили в Інститут фізичної хімії? Напевно, Ваш університет співпрацював із ним?

– Так, була співпраця. На третьому курсі виробничу практику можна було пройти і на виробництві, і в академічному інституті. Отак я потрапила сюди. Але ми з одногрупниками продовжували ходити до Інституту і після закінчення практики, бо в університеті нам один день на тиждень лишали для наукової роботи. І Вячеслав Григорович Кошечко (тоді директор Інституту) запропонував виконувати дослідження в групі Ярослава Івановича Курися у відділі вільних радикалів. Мені, знов-таки, стало цікаво, тому я приходила. Кілька місяців – просто так, а потім мене взяли на роботу техніком. Це було у квітні 2010 року. Відтоді тут і працюю.

– Не шкодуєте, що обрали хімію і залишились у науці?

– Зовсім не шкодую. Зараз у мене ще й багато друзів серед хіміків. Я взагалі вважаю, що хіміки – це універсальні фахівці. Вони реально мо-

жуть усе що завгодно. Бо хімія насправді творча наука. Так, вона точна і належить до так званого STEM, але ми вигадуюмо багато цікавого.

– Наприклад, що саме?

– Візьмімо електрохімію. Найпростіша електрохімічна система – це електрохімічна комірка, яка складається з двох електродів і електроліта. Згрубша, це можна уявити як чашку із зануреними в неї металевими паличками. На виробництві комірка завжди та сама, а от для кожного наукового експерименту потрібна щоразу нова. Бо це щоразу інша реакція, а її перебіг дуже залежить від багатьох нюансів. Важливо, що ми досліджуємо. Якщо в експерименті потрібно використати дорогий реактив – беремо комірку меншого об'єму. Відстань між електродами теж потрібно підбирати окремо для кожного випадку. Тому до конструювання електрохімічної системи ми підходимо творчо, з інженерного погляду.

– А були якісь несподівані результати?

– Та вони дуже часто несподівані (сміється). Розповім про один такий. Ми з колегами розробляємо каталізatori. Моя кандидатська дисертація присвячена електрохімічним способам одержання графенових (тобто вуглецевих) матеріалів, зокрема допованих атомами азоту. Окремим напрямом наших електрохімічних досліджень є створення каталізаторів для паливних комірок – катодних каталізаторів. Для цієї мети теж часто використовують як основу вуглецевий матеріал, здійснюючи різні допування. Але ми створювали такі каталізatori шляхом піролізу матеріалу на основі електропровідного полімеру з вуглецевою компонентою і додаванням металу. Тобто ми зробили суміш і піролізували її. Причому електропровідний полімер (поліанілін або якийсь інший) завжди був для нас джерелом азоту. Я ж запропонувала одразу взяти допований азотом вуглецевий матеріал, тобто такий матеріал, у структуру якого вже вбудовувався б азот. І у нас із Ярославом Івановичем була дискусія з цього питання: він відраджував і побоювався, що моя ідея не спрацює, що я просто змарную час. Я дуже вдячна Ярославу Івановичу за цей його здоровий скептицизм, це завжди спонукало докласти більше зусиль, подумати ще. Але мені було цікаво, тож я все одно спробувала. Як ми вчинили? Ми все-таки використали допований азотом графен (як я пропонувала) і витратили на створення каталізатора два місяці. До речі, одержаний каталізатор виявився активнішим за каталізatori, графен для яких не допували. Це був несподіваний і хороший науковий результат. Про нього ми опублікували кілька статей у фахових журналах.

– Пані Олено, Ви згадали про наукову роботу в студентські роки. З чого Ви розпочинали? Що досліджували раніше?

– Усе почалося ще у школі. Як я вже сказала, я збиралася стати математиком. А тому відвідувала школу математичного резерву і виконувала там роботу, присвячену методу математичної індукції. Я робила ставку саме на це, але паралельно займалася хімією. Взагалі-то хімію діти не хочуть вчити у школі. Так було завжди, і це не змінюється. А мені в хімії було цікаво розв'язувати задачі. Я навіть брала участь в олімпіадах із хімії, але ніколи не доходила до всеукраїнського рівня (найбільше моє досягнення – друге місце у Полтавській області). Можливо, тому, що не ставила це собі за мету. Якимось мені запропонували виконати роботу в МАН, і я почала ходити в гурток, що діяв на базі лабораторій одного з полтавських університетів. Керувала гуртком доцент Лариса Георгіївна. Моя робота полягала у дослідженні кислотностей ґрунтових вод у різних районах Полтавської області. Зразки води із різних районів збирали для мене студенти кафедри – вони переважно були не полтавці і на вихідні роз'їжджалися додому. Потім ми з Ларисою Георгіївною вимірювали кислотність води, водневий показник (рН) за допомогою йономіра. Це був аналоговий прилад, зі стрілочкою. Але мені все одно було дуже цікаво. Тож я щовихідних ходила в лабораторію.

– І яка ж вода на Полтавщині?

– Дуже м'яка, і це добре. Мені цього бракує в Києві. Вода на Полтавщині значно краща ніж загалом по Україні. Словом, отака була моя перша наукова робота.

– А чим Ви займалися далі, в університеті?

– В університеті я одразу почала працювати з каталізаторами для реакції відновлення кисню. І роблю це досі. Це один із напрямів моїх досліджень. Намагаємося з колегами замінити платину в електрокаталізаторах відновлення кисню на інший матеріал. Бо платина дорого коштує і на всіх її не вистачить (якщо раптом усі захочуть перейти на альтернативну енергетику).

– А є шанс замінити її?

– Так, звісно. Наші безплатинові каталізатори не перевершують платинові за активністю, проте вони стабільніші. Адже платина, наприклад, «отруюється», як кажуть у каталізі. Зокрема, «отруюється» монооксидом вуглецю (СО) або метанолом. Тобто під час функціонування метанольних і інших паливних комірок на платині може утворюватись оксидна чи інша плівка – і відбувається пасивація.

– Це впливає на властивості?

– Так. Каталізатор втрачає активну поверхню, а отже, й активність загалом. Наші ж каталізатори, в яких платина не використовується, толерантні. Вони не реагують на потенційні отруювачі. Усе це доведено експериментально.

– Де використовуються ваші (або аналогічні) каталізатори? Чи замислюються виробники над заміною платини?

– Саме такі електрокаталізатори реакції відновлення кисню, про які я розповіла, можна використовувати в автомобілях на паливному елементі. Паливна комірка – це такий девайс, який зрушує автомобіль, беручи з повітря кисень і додаючи водень (із заправки або з акумулятора). Як це відбувається? Кисень і водень реагують, унаслідок чого утворюється вода і вивільняється електрична енергія, на якій працює електродвигун. Машина їде. Прототип, на який можна натрапити в Україні, – авто моделі «Miraya» від компанії «Toyota». Звісно, у нас іще не розвинена інфраструктура для такого транспорту, немає заправокних станцій.

– Поясніть, будь ласка, для тих, кого може настрашити ідея використання кисню: чи весь його не поглинуть автомобілі на таких двигунах?

– Ні, це не страшно. Вода потім знову розкладеться на кисень і водень. Закони природи ж ніхто не скасовував.

– А чи можна паливні комірки потім переробити? Щоб вони не забруднювали довкілля?

– Так, коли каталізатор відпрацює свій ресурс, його можна перероблювати. І зараз у світі над цим багато думають. Із батарейок і акумуляторів уже намагаються вилучати метали, мікроелементи, кількість яких обмежена, щоб використовувати їх повторно. Тобто тут є ще й економічний аспект.

– Переробка вигідна?

– Дуже вигідна. З одного боку, вона потрібна для збереження довкілля. Але водночас просто викидати щось – безглуздо з економічного погляду. В Європі вже збудовано переробні заводи. Україна до цього тільки йде. Та ще й війна стала на заваді.

– Чи маєте ще якісь наукові інтереси, крім електрохімії?

– Так. І це каталіз, наприклад. Тобто не лише електрокаталіз, а й звичайний каталіз. Наші каталізатори можна замість платини використовувати для каталізу різних органічних реакцій. Як для їх пришвидшення, так і просто для запуску. Бо інколи реакція відбувається, але дуже повільно, а інколи – не відбувається взагалі. А завдяки каталізатору вона хоча б відбуватиметься. Або відбуватиметься селективно, тобто в умовах, коли можливе утворення різних речовин, утворюватиметься конкретна речовина, потрібна дослідникам. Це теж каталіз, хоча тут не йдеться про пришвидшення чи запуск реакцій. І отакі наші каталізатори можуть стати в пригоді для синтезу речовин, які будуть вихідними (так званими building blocks) під час створення різних ліків.



Олена Парійська отримала від Київського міського голови Віталія Кличка премію Київського міського голови за особливі досягнення молоді у розбудові столиці України – міста-героя Києва

Зараз ми виконуємо спільний проєкт із Тетяною Борисовою з Інституту біохімії ім. О.В. Палладіна НАН України (*Тетяна Борисова – завідувачка відділу нейрохімії Інституту біохімії ім. О.В. Палладіна НАН України, доктор біологічних наук, професор*). І серед речовин, які досліджуємо, – саме наші інститутські азотдоповані графени. Вивчаємо їх як потенційні нейромедіатори. Роботу почали зовсім нещодавно, результати засвідчують нетоксичність цих речовин, що вже цікаво. Тобто ми з'ясували, що вони підходять для таких досліджень, їх можна використовувати. А тепер модифікуємо їх різними групами, щоб дослідити, чи сорбуватимуть вони метали. Знов-таки, попередні результати вказують на хороші перспективи. Але ці дослідження ще тривають. Отак ми вже трошки пішли і в біохімію.

– Чи роблять щось подібне за кордоном? Це взагалі популярний, могутній напрям у науці, якщо так можна висловитись? І чи співпрацюєте з іноземними колегами?

– Так, це популярні дослідження. Що стосується міжнародної співпраці, то над одержанням графену, допованого азотом і сіркою, я почала працювати саме в межах проєкту за іноземним грантом. ...Коли почалася війна, моїй дитині було два місяці. Ми злякалися, виїхали з Києва по Житомирській трасі, але потрапили в окупацію. Оскільки повернутися до Києва було вже неможливо (через те, що підірвали мости), ми вирушили далі на захід. Пів року прожили на Закарпатті. Спочатку я не розуміла, що робити і як жити, а потім почала активно шукати можливості роботи для українських науковців за кордоном. Виграла стипендію від NAWA – польської Національної агенції академічних обмінів – на стажування в Ягеллонському університеті. До 1 жовтня 2022 року треба було наважитись і поїхати до Польщі. Але я не хотіла, щоб моя дитина росла без батька, і відмовилася.

Олена Парійська (у центрі) на церемонії вручення VI української премії L'ORÉAL – ЮНЕСКО «Для жінок у науці». Праворуч – співголова журі Премії академік НАН України Сергій Комісаренко, ліворуч – міжнародна і національна консультантка Агенції ООН Марина Саприкіна

– Коли Ви самі зачинили ці двері, чи відкрились якісь інші можливості?

– Так. Тоді-от я й подала один зі своїх проєктів на конкурс EIRENE від німецького наукового Товариства імені Макса Планка (це була програма для підтримки молодих українських учених, які лишилися в Україні і виконують дослідження в Україні) і виграла трирічний грант – по 15 тисяч євро на одного молодого вченого на рік.

– Грантодавець регулював, як Ви маєте витратити ці кошти?

– Так. Грантодавець дуже лояльний. Але, згідно з умовами договору, я не мала права виплачувати собі зарплату з грантових коштів. Грант був розрахований виключно на те, щоб допомогти створити наукову групу (зі студентами включно) і профінансувати її дослідження.

– Схоже на гранти НАН України для молодіжних дослідницьких лабораторій і груп.

– Так, сенс приблизно такий же. Ці гроші ми могли витратити на купівлю матеріалів (реактивів) і обладнання, оплачувати поїздки на конференції і опублікування наукових статей. Але було й обмеження: вартість одиниці обладнання не має перевищувати 4000 євро.

– А що можна купити за 4000?

– Та можна! Для електрохіміка головний прилад – це потенціостат. Зазвичай він дуже дорогий – коштує 20000–30000 євро. Але у Львові є компанії, які виробляють українські потенціостати, і от їх можна купити і за 20 тисяч гривень, і дорожче. Дуже зручно, що виробник орієнтується на запити клієнта. Прилад підлаштовують під потреби конкретних дослідників. Ми кілька таких потенціостатів купили для своєї лабораторії.

– Тобто якийсь електронний мікроскоп Ви за ці гроші не візьмете...

– Електронний – ні. Хіба що оптичний. Але це ж молодіжний грант. До того ж, нам ішли назустріч. Наприклад, можна було домо-



витися з грантодавцем і назбирати на обладнання 12000 євро, адже грант розрахований на три роки. Між іншим, окремо було передбачено кошти на стажування у Німеччині – 5000 євро на рік.

– Це обов’язковий пункт?

– Зараз уже ні, а спершу був, але його переглянули, з огляду на наші реалії. Просто якщо грантоотримувач не скористається цією опцією – гроші «згоряють». Але ж лишаються ще 15000 на рік.

До речі, президент Товариства імені Макса Планка Патрик Крамер відвідував Україну. І під час візиту особисто спілкувався з керівниками проєктів, які виконуються за грантами Товариства. Ми з колегами – Світланою Сотник (*молодша наукова співробітниця відділу фізико-неорганічної хімії Інституту фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського НАН України, кандидат хімічних наук*) і Наталією Щербань (*старша наукова співробітниця відділу пористих речовин та матеріалів Інституту фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського НАН України, доктор хімічних наук*) – познайомилися з ним на прийнятті в Посольстві Німеччини, де були присутні українські науковці й освітяни, зокрема молоді дослідники, та Федеральний міністр освіти і наукових досліджень Німеччини. Пан Крамер запевнив нас, що Товариство відкриватиме нові програми для вчених в Україні, і запропонував знову взяти участь у конкурсах на гранти.

– Пані Олено, як це – бути зараз науковицею в Україні? Чи важко поєднувати науковий фах із рогинним життям?

– Важко. Так сталося, що я з дитиною одна. Чоловік помер рік тому. Намагаюся бути хорошою мамою. Сподіваюся, в мене виходить. Ну, і займаюся наукою.

– Що порадите тим, хто зараз робить тільки перші кроки в науці чи до науки?

– Не здавайтесь. Якщо щось не виходить або вас переконують, що воно не вийде, а ви маєте ідею, то будьте наполегливі, лупайте сю скалу, цей камінь, цей граніт.

Задовольняйте свою цікавість, побільше читайте. Правду кажучи, я зараз читаю здебільшого наукову літературу, а не науково-популярну. Але і для тих, хто не має багато часу на наукпоп, є безліч цікавих ресурсів і море відео, цілий ютуб. Я теж якось брала участь у науково-популярному подкасті, намагалася «на пальцях» пояснити, що таке електрохімія. Подібної інформації в Інтернеті дуже багато, і вона надихає. З цього варто й починати. Бо одразу братися за наукові праці буде складно. Хоча спершу завжди складно.

Мені цікавіше стало вже у лабораторії, де я багато чого дізналась і вивчила на практиці. Бувало таке, що Ярослав Іванович дивувався, як це я не знаю те чи се. Але коли молодь приходить, треба її одразу

підтягувати, затягувати в науковий світ, приваблювати, показувати. Намагаємося це робити.

– Ми під час розмови вже не раз торкалися цієї болючої теми: як вплинула на Ваше життя війна?

– Війна змінила моє життя, як і життя багатьох молодих науковців в Україні. З початком повномасштабного вторгнення наукова діяльність стала значно складнішою: доступ до лабораторій, обладнання та ресурсів обмежився, а частина колег виїхала за кордон. Постійні повітряні тривоги і нестабільність змушують працювати в умовах стресу, що впливає на концентрацію та продуктивність. Проте ці виклики навчили мене швидко адаптуватися, шукати альтернативні рішення і працювати дистанційно, використовуючи міжнародні платформи для співпраці. На початках саме міжнародні форми співпраці дуже допомогли (і продовжують допомагати) тримати науку в Україні на плаву. І я маю на увазі саме підтримку для науковців, які лишаться тут, на рідній землі. Звісно, Україна теж самостійно намагається триматись як лиш може – це і академічне конкурсне фінансування, і конкурси Національного фонду досліджень України, і підтримка від приватних науково-дослідних установ (наприклад, компанії «Єнамін»).

Водночас війна змінила моє бачення ролі науки. Я ще більше зрозуміла, що наукові дослідження мають не лише академічну, а й практичну цінність для відновлення країни та підтримки її стійкості. Зараз дуже стрімко розвиваються кілька напрямів, надзвичайно тісно пов'язаних із запитами, що надходять, на жаль, через війну. Тому треба фокусуватися саме на цьому. Крім того, з'явилася мотивація розвивати проєкти, які можуть допомогти суспільству в умовах кризи. Попри труднощі, я відчуваю відповідальність за те, щоб залишатися в науці, адже саме знання й інновації стануть основою для майбутнього відродження України.



МАЛЕНЬКІ ГРИЗУНИ І ВЕЛИКІ ПЕРЕСЕЛЕННЯ ВИДІВ

ЛІЛІЯ
ПОПОВА



Н

ауковці добре знають про високу мобільність тварин за доби плейстоцену (ця геологічна епоха тривала приблизно від 2,5 мільйона років тому до 10 тисяч років тому). Під час зледеніння арктична фауна проникала далеко на південь; під час потеплінь південні види розширювали свої ареали (території поширення), посушливі епохи сприяли розселенню пустельних і напівпустельних форм. Останнім часом цю картину значно збагатили (і водночас заплутали) реконструкції експансії видів на основі ДНК. Тварини, яких важко запідозрити у схильності до погорож, опинились у зовсім несподіваних місцях за тисячі кілометрів від свого сучасного ареалу. То як же види мігрують?

Науковці Інституту зоології ім. І.І. Шмальгаузена НАН України знайшли спосіб з'ясувати це питання для фаун віддаленого геологічного минулого. Об'єктом досліджень зоологи Академії обрали звичайного сучасного гризуна – темну полівку (або ж норицю). За допомогою методів геометричної морфометрії з'ясували, що час її появи на території України – останнє по-справжньому тепле міжльодовиків'я плейстоцену (приблизно 300 тисяч років тому). А отже, причина вселення є очевидною – це сприятливий клімат. Але головне – морфологічні дослідження показали, що темна полівка з'явилася на території сучасної України внаслідок міграції, а не філетичної еволюції. Як узагалі можливо достовірно це з'ясувати? Адже мова йде про минуле і вимерлих тварин. Чому це має принципове значення? Які подальші перспективи таких досліджень? Про все це в інтерв'ю пресслужбі НАН України розповіла старший науковий співробітник відділу еволюційної морфології Інституту зоології ім. І.І. Шмальгаузена НАН України кандидат геологічних наук Лілія Попова.



Темна полівка

– Ліліє Вікторівно, розкажіть, будь ласка, як виникла ідея цих досліджень. Чому ви обрали дрібних гризунів – темних полівок? Чим зручний цей об'єкт?

– Полівки – дуже поширена група тварин, у полі чи на городі їх, мабуть, бачили всі, і майже всі думають, що це – миші.

– А чим різняться полівки і миші?

– Різняться суттєво. Миші – звірі стародавні і з гордим родоводом (максимальною їхня різноманітність була у неогені, тобто більше 2,5 мільйона років тому), проте делікатні: їдять те саме, що їдять люди, і люблять тепло. Полівки ж – тварини еволюційно молоді, витриваліші, тому й домінували у плейстоцені. Нас, власне, цікавив не весь плейстоцен, а його друга, кліматично суворіша половина, коли мишей на більшості території сучасної України було майже і не знайти. Зате були полівки. Тому ми на них і зосередилися – бо легше набрати достатню кількість викопного матеріалу. А конкретно темну полівку (латинська назва цього виду – *Microtus agrestis*) обрали тому, що її легше визначити у викопному стані. Для інших же близькоспоріднених полівок видове визначення становить серйозну проблему. Серед них дуже поширені види-двійники, види-близнюки, напіввиди тощо. Коротше кажучи, звичайною є та сумна для систематика (дослідника, що описує та класифікує вимерлі й сучасні види живих організмів) ситуація, коли полівку, не застосовуючи складних спеціальних методів, визначить лише інша конспецифічна полівка.

Люди звикли думати про себе як про «правильних», типових ссавців. Але ми, тобто примати, якраз не дуже типові. Ми впізнаємо одне одного за допомогою зору. А більшість ссавців орієнтуються передусім за запахами і звуками. У період розмноження полівки так само розпізнають представників свого виду не за зовнішністю. Для зоологів це велика проблема, для палеонтологів – іще більша. Адже у викопному стані від ссавця, особливо маленького, зазвичай лишаються самі зуби. І тут темна полівка (*Microtus agrestis*) має достатньо характерні ознаки.

Завдяки цьому ми доволі достеменно знаємо, де і коли темна полівка з'являється вперше: близько 500 000 років тому в Центральній Європі (найімовірніше, на території сучасної Польщі). Науковцям так щастить далеко не з усіма ссавцями. Відомо також, що темна полівка походить від вимерлої полівки *Microtus nivaloides* – виду з величезним ареалом на пів Європі. Зараз таких ареалів майже не буває, а для плейстоцену це звичайна ситуація.

– Чому?

– Дуже хороше запитання, але воно заведе нас дуже далеко від головної теми. Якщо коротко, є два основні пояснення. Перше: у

плейстоцені льодовиків'я періодично знищували зональну поясність (зони тундри, лісотундри, тайги тощо), натомість формувався єдиний тундро-степовий біом із посиленою локальною мозаїчністю умов, тобто напівпустеля могла близько межувати з болотом або чудовим мезофільним степом (степ, що формується за помірних кліматичних умов). При цьому тварини постійно мігрували з півночі на південь і навпаки. Можливо, навіть сезонно. Та одна річ, коли мігрують лемінги, а якщо це мамонти? Все затопчуть. Тому зімкнена лісова зона вздовж усієї Євразії (зі сходу на захід) навіть у міжльодовиків'я не формувалася. А це полегшувало й меридіональні міграції (між Європою та Азією; між Північною Америкою та Азією – через Берингію, перешийок, що з'єднував Євразію та Північну Америку під час льодовикових періодів). Як тут не бути великим ареалам? Друге пояснення доволі неприємне: можливо, ми просто не вміємо визначати вимерлі види на викопному матеріалі і через обмежений набір ознак, узятий із викопних решток, розпізнаємо тільки один вид там, де насправді було два чи три види. Гадаю, обидва пояснення містять раціональне зерно.

...Отож, щодо темної полівки є бодай якась певність: ми знаємо, хто її предок, де і коли вона вперше з'явилася. З цього центру походження темна полівка поширюється вусібіч, і близько 300 тисяч років тому вперше фіксується на периферії ареалу – в Україні, Британії, Іспанії тощо. І в цьому полягає основна інтрига. Якщо темна полівка дісталася туди міграційно (за рахунок експансії), то мала скрізь витіснити свій предковий вид, *Microtus nivaloides*. Тоді вона чимось краща за нього. Чим саме – ще потрібно було з'ясувати. Другий сценарій розгортання подій – філетична еволюція: предковий вид *Microtus nivaloides* трансформувалася в сучасний вид (темну полівку) на всьому ареалі; тільки у Центральній Європі цей процес почався раніше, а на периферію дійшов пізніше.

Перешкоджає відповіді на це питання все та ж проблема – мало доступних для аналізу ознак, але більше ознак ми отримали завдяки методам геометричної морфометрії, або ж багатовимірним статистичним методам. Попри те, що матеріалу в нас не побільшало (і це як були, так і є лише викопні зуби), ознак тепер маємо по 28 на кожен зуб, кожна описується координатами x , y . Тепер здійснюємо над цими даними аналіз головних компонент і визначаємо центроїди для сучасної темної нориці і деяких близьких видів.

Центроїд можна уявити як певне середнє арифметичне, але специфічне, таке, що усереднює вибіркові значення в усіх досліджених представників виду за всіма ознаками одночасно, не стаючи при цьому безглуздом. Іншими словами, ми створили так званий багатови-

мірний морфопростір, в якому розмістили на належних місцях сучасну темну полівку і низку близькосторіднених полівок – як вимерлих, так і сучасних (для контролю). Далі все було вже відносно просто. Викопних полівок, щодо яких ми здогадувалися, що вони могли еволюціонувати в темну полівку, ми одну за одною вміщували у той же морфопростір і відстежували, в якому напрямі вони змінювалися.

– **Отже, ви спростували філетичну еволюцію?**

– Доволі ймовірно, що якби вивчався польський викопний матеріал, то зафіксували б саме філетичну еволюцію.

– **Ви з колегами описали вид у середовищі, де він існував?**

– Радше, не існував, а еволюціонував. Але і це буде дуже й дуже опосередковано. Чому я так вільно розповідаю про час появи виду в Україні та про те, звідки він ішов, який при цьому був клімат і так далі? Під час багатовимірних досліджень одну ознаку обирають як групівну, над нею не проводяться обчислення. Вона – просто ім'я. У такі імена ми вклали вік, географічне положення тощо, тому можемо «прочитати» те, що «розповідають» багатовимірні дослідження, у термінах часу та простору. Але ми описали свій матеріал у спеціально створеному морфопросторі, де немає нічого, крім морфології. Я сказала би ще, що опосередковано, з усього різноманіття факторів, які є у реальному світі, там проглядається лише міжвидова конкуренція.

– **Усі ці види одночасно населяли аналізовану територію?**

– Ні, ми зібрали інформацію за період від 400 до 250 тисяч років тому, а ще додано сучасні види. Та все-таки ми можемо й навіть маємо говорити тут про конкуренцію. Щоб спростити картину, вважатимемо одночасними групу вимерлих полівок-терріколей, групу *Nivaloides* і нашу зайду – темну полівку. При цьому терріколі екологічно відмінні, вони вільно могли співіснувати в одному місцезнаходженні як із *Microtus nivaloides*, так і з *Microtus agrestis*. А от між близькими родичами – *Microtus nivaloides* і *Microtus agrestis* – була, вочевидь, дуже жорстка конкуренція. Тому вони не траплялися разом в одному місцезнаходженні. І поступово темна полівка витісняла предковий вид.

– **А в чому вона його перевершувала?**

– З погляду морфології важко сказати. І не тому, що відмінностей немає, а тому, що схожих особливостей набували майже всі види полівок, які дожили до сучасності. Умовно кажучи, *Microtus nivaloides* – архаїчна, а всі види, що з'явилися пізніше, зокрема і наша темна полівка, мають ефективніші зуби – відносно довші, відносно складніші. Але у заміщенні виду *Microtus nivaloides* темною полівкою простежується чіткий кліматичний ефект: вочевидь, темна полівка була краще

приспосована до теплих і вологих умов. Щойно такі умови наставали – вона рухалася далі. Предковий вид, схоже, був менш спеціалізований, тому й міг займати такий величезний ареал. Але коли наставали теплі умови, він починав програвати.

– Які подальші перспективи цього дослідження?

– На прикладі темної полівки ми просто довели, що морфологія викопних решток справді дає змогу тестувати різні моделі експансії та з'ясовувати, яка з них правильна. Плейстоцен – це буквально скарбниця різних випадків експансії внаслідок найрізноманітніших впливів. Реконструйте їх, вивчайте – і застосовуйте до сучасної ситуації. Адже клімат змінюється, а сучасні природні екосистеми вкрай розхитані та збіднені, і жодного опору видам-вселенцям вони чинити не здатні. Тож кількість видів-вселенців щороку зростатиме дедалі більше. І практично від них усіх слід чекати неприємностей – чи то як від сільськогосподарських шкідників, чи то як від переносників захворювань, чи то як від конкурентів щодо цінних для нас місцевих видів. Ясна річ, гризуни мігруватимуть одними з перших. Кого приведе на наші терени потепління клімату? А що буде, якщо воно ще й поєднуватиметься з посухою? Чи витіснятимуть чужорідні види місцевих? Якщо так – то кого насамперед? Відбудеться просто заміщення (як у випадку темної полівки), чи, можливо, воно супроводжуватиметься руйнуванням самої структури екосистем? Звісно, щоби звести ці майбутні негаразди до якогось прийняттого мінімуму, дуже бажано знати деякі речі завчасно.

– Як війна вплинула на Вашу роботу, життя?

– Моя відповідь на це запитання не буде оригінальною в тому розумінні, що не відрізнятиметься від відповіді практично будь-кого з українських науковців-природничників. Війна для нас – це насамперед втрата природних об'єктів, щодо яких ми виконували польові дослідження. Але це, звісно ж, і втрата частини фінансування, що обмежує наші можливості. Це також блекаути і тривоги, що жеруть наш робочий час, нерви, зір. А ще є додаткове навантаження – викладання... Словом, живемо в скаженому напруженому періоді.



ГЕОМЕТРІЯ ЖИВОГО: ПТАХИ ЯК БІОКОНСТРУКТОРИ

ОКСАНА
ШАТКОВСЬКА





ПТАХИ ТА ЇХНІ ПРЕДКИ- ДИНОЗАВРИ

ауковці Інституту зоології ім. І.І. Шмальгаузена НАН України самостійно і спільно з колегами із Національного університету біоресурсів і природокористування України досліджують кореляційні системи у морфологічній еволюції скелета птахів і роль цих систем у фенотипічній варіації птахів. Про те, чим зумовлені ці дослідження, що вдалося дізнатись і чому здобуті результати важливі, в інтерв'ю пресслужбі НАН України розповіла керівниця досліджень, старший науковий співробітник відділу еволюційної морфології Інституту зоології ім. І.І. Шмальгаузена НАН України кандидат біологічних наук Оксана Шатковська.

– Метою нашого дослідження було з'ясувати, наскільки інтегрований скелет птахів, – говорить учена.

– Що це означає?

– Тобто наскільки взаємопов'язані різні частини скелета. Інтеграція – це взаємозв'язок, взаємозалежність. Річ у тім, що птахів вважають високомодульними, а модульність протилежна до інтеграції. Модульністю називають незалежний розвиток різних частин організму.

– А так теж буває?

– Так теж буває (посміхається). У птахів передні кінцівки протягом еволюції перетворилися на крила. Тазові кінцівки також набули специфічної будови. Череп сильно видозмінився порівняно з предковими формами. Тобто все свідчить про те, що організм птахів загалом і скелет зокрема є модульним. І кожен функціональний модуль (а окремим функціональним модулем є, наприклад, відділ скелета і м'язи, що до нього кріпляться), розвивався певною мірою незалежно від інших.

Така модульність є адаптивною, тобто певна частина організму може змінюватись відносно незалежно від інших частин, пристосовуючись до умов існування організму. Адаптивний аспект модульності активно вивчали у ХХ столітті. Орнітоморфологічні дослідження спрямовувалися на те, щоби з'ясувати, як особливості будови організму пов'язані з екологією птахів (наприклад, способом пересування і живлення), їхньою спеціалізацією. Питання інтеграції організму здебільшо-

го оминалися, хоча науковці й раніше відзначали, що важливо враховувати взаємозв'язок різних частин організму, вивчаючи його розвиток. Наприклад, ці питання порушував ще І.І. Шмальгаузен у своїй монографії «Організм як ціле в індивідуальному та історичному розвитку». Тобто ідеї ці зовсім не нові, але морфологічній інтеграції раніше не приділяли належної уваги. Досліджували переважно гормональну та фізіологічну регуляції розвитку організму. Зараз відомо, скажімо, про плейотропний ефект дії деяких генів, коли один ген може впливати на розвиток кількох фенотипічних ознак різних органів.

Отже, морфологічну інтеграцію мало висвітлювали у науковій літературі. Водночас це надзвичайно цікаве питання, адже зрозуміло, що хай якими незалежними один від одного можуть бути органи, вони однаково мають якось корелювати в межах організму. Тим більше, що птахи мають дуже багато обмежень, пов'язаних із польотом, – частини (або ж регіони) тіла у них принципово не можуть розвиватися незалежно. Щоби птах ефективно літав, центр ваги його тіла має розміщуватися між крилами. За наземної локомоції (пересування поверхнею землі) центр ваги тіла має проєктуватись на стопу. Навіть якщо центр ваги тіла зміщується, це зміщення не може бути значним. Інакше воно призводить до зменшення мобільності птаха. Наприклад, високоспеціалізовані водоплавні птахи, тіло яких сильно видовжилось (пінгвіни; представники родини алькових: кайри, чистуни), дуже незграбні на суші, їхнє тіло вертикально орієнтоване і наземна локомоція значно ускладнена. Також потрібно зазначити, що сусідні регіони тіла мають просторово співвідноситися між собою в межах організму: крило і тазові кінцівки – це різні локомоторні модулі. М'язи, які відповідають за рух крила, кріпляться до грудини, а м'язи, що відповідають за рух тазової кінцівки, – до таза. Грудина і таз у тілі птаха розташовані поряд, і їхнє незалежне збільшення чи зменшення обмежене. Річ у тім, що у птахів стегно горизонтально орієнтоване і має огинати грудину під час наземної локомоції. Оскільки ступінь абдукції (відведення) стегна обмежений його анатомією, то розміри грудини і таза не можуть сильно відрізнятись. Інакше це, знов-таки, шкодитиме наземній локомоції і знадобляться якісь інші механізми, щоби компенсувати цей недолік.

Тому ми припустили, що птахам теж має бути властива інтеграція різних регіонів тіла, і вирішили з'ясувати, чи це справді так і наскільки сильна ця інтеграція, якщо вона підтвердиться. Нас цікавила інтеграція як у межах усього скелета, так і в межах окремих функціональних модулів, наприклад черепа. Якщо інтеграція сильна, то наскільки адаптивними є трансформації інтегрованих відділів скелета? До прикладу, попередні дослідження на черепі птахів показали, що розміри і форма

дзьоба мають високий ступінь кореляції з формою та розмірами мозкової коробки (нейрокраніуму). Видовження дзьоба супроводжується зменшенням мозкової коробки, яка теж дещо видовжується, зменшується висота черепа, очниці меншають, звужуються і стають більш латерально орієнтованими у черепі (зміщуються по боках черепа, зменшуючи бінокулярність зору). Та не відомо, чи такі корелятивні зміни різних відділів черепа є однаково адаптивними і чи поліпшують вони пристосовуваність птаха до середовища існування. Хоча раніше будь-які зміни апріорі вважались адаптивними.

– Але це не точно?

– Це не точно. І у науковій літературі вже з'являються гіпотези, що у високоінтегрованих структурах, як-от череп, не всі трансформації пов'язані з адаптацією, – якісь є «вимушеними». Наприклад, зміну форми дзьоба можна розглядати як адаптацію до трофічної спеціалізації (хоча і з цим питанням не все однозначно), форма ж мозкової коробки і форма й розташування очниць можуть бути наслідком патерна інтеграції (закономірності корелятивного зв'язку відділів черепа).

– А як ці зміни впливають на якість життя птахів?

– Вони впливають на життєздатність. Це малодосліджене питання, але дуже цікаве, над ним варто працювати. Бо зміни високоінтегрованих частин, які (зміни) можуть виявитися неоднаково адаптивними, зрештою мають бути «компромісними» до умов існування. Тому штучний добір за певними ознаками іноді знижує життєздатність особин.

– Бо організм не встигає «гармонізувати» зміни, як це відбувається під час тривалого еволюційного процесу?

– Так, штучний добір пришвидшує зміни, не лишаючи змоги пристосуватися до них. Це добре видно на прикладі голубів. Звичайні міські популяції видозмінюються у природний спосіб. А в особин деяких штучних порід, наприклад, унаслідок збільшення грудини зміщується центр ваги тіла, і це ускладнює наземну локомоцію. Такі особини не виживуть у природних умовах.

...Повертаюся до наших досліджень. Отже, ми планували дослідити кореляційні системи як у межах усього скелета, так і в окремих функціональних модулях, а також визначити чинники, що впливають на кореляційні системи. За підсумками цих досліджень вийшло кілька наукових статей у фахових журналах. Плануємо й далі розвивати цю тематику. Розповім, як ми працювали і що дізналися.

Маю зазначити, що інтеграцію зазвичай вивчали на основі лінійних промірів, тобто дослідники знімали проміри певних скелетних ознак або частин тіла й аналізували, як ці проміри корелюють між собою. Але відносно нещодавно – років двадцять тому – почали роз-

виватись і поширюватись методи геометричної морфометрії, що їх розробив Крістіан Петер Клінкенберг' (професор у Школі біологічних наук Манчестерського університету, Велика Британія). Вони дають змогу порівнювати не окремі проміри, а форми органів загалом. Аналізувати, наприклад, як співвідносяться між собою форми кісток і навіть цілих скелетних комплексів (на кшталт черепа) у різних видів, визначати напрями і чинники еволюційних змін. Ми теж скористались цією методикою, щоби з'ясувати співвідношення не лише розмірів, а й форм скелетних комплексів. Об'єктами одного з наших досліджень стали представники ряду Горобцеподібних (латинська назва – Passeriformes). Ми дослідили коваріацію форм і розмірів черепа, грудини й таза – наймасивніших регіонів тіла, які визначають форму тіла птаха і належать до трьох різних функціональних модулів: череп, зрозуміло, відповідає головно за живлення, грудина пов'язана з польотом, а таз – із наземною локомоцією. Чим цікаві Горобцеподібні? Вони мають дуже великий розмах розмірів тіла (маси тіла досліджених нами видів різняться у понад 100 разів), різну трофічну спеціалізацію (зерноїдні, комахоїдні, всеїдні), різні типи наземної локомоції. Вибірка у нас була не дуже велика, але представлена різними екологічними групами. Для вивчення коваріації ми застосовували стандартні і філогенетичні порівняльні методи, тобто методи, що враховують вплив філогенії.

– **Поясніть, будь ласка, що таке філогенія і коваріація.**

– Коваріація – це взаємозв'язок між різними структурами, вона відображає ступінь їх інтеграції. Філогенія – це еволюційні зв'язки споріднених організмів, видів чи інших таксонів (класів, рядів, родин, родів тощо – залежно від того, який таксономічний рівень розглядається). Усім, напевно, траплялися філогенетичні дерева різних груп організмів (філогенетичне дерево – це схема еволюційних зв'язків поміж різними таксонами зі спільним предком, приблизним, хоч і значно спрощеним аналогом якої є генеалогічне дерево). Зараз, коли дедалі ширше застосовуються генетичні методи, філогенетичні дерева будують на генетичних даних.

– **І бувають несподіванки, що певні види, родини чи класи насправді спорідненіші між собою?**

– Так, бувають. Наприклад, раніше до ряду Соколоподібних (Falconiformes) відносили родину соколових (Falconidae) і родину яструбових (Accipitridae). Але за підсумками передусім ДНК-аналізу було спростовано їхню близьку спорідненість. Нині виокремлюють два різні ряди – Яструбоподібні (Accipitriformes) і Соколоподібні (Falconiformes). Соколоподібні навіть ближчі до папуг, ніж до Яструбоподібних, попри морфологічну схожість з останніми і подібність трофічної

спеціалізації (представники як Соколоподібних, так і Яструбоподібних є денними хижими птахами).

Філогенетичну спорідненість видів важливо враховувати у порівняльно-морфологічних дослідженнях, оскільки на формування схожих морфологічних ознак може впливати як спільна еволюційна історія видів, так і подібність екології, і важливо розрізняти вплив цих чинників.

– Яких Горобцеподібних ви обрали для своїх досліджень, які види вивчали?

– Загалом близько 60 видів. Серед них – представники родин воронових, очеретянкових, жайворонкових, плискових, в'юркових, вівсянкових, дроздових, шпакових та інші. Всього представлена 21 родина.

– Чи можна в цьому випадку говорити про репрезентативність вибірки? Тобто чи можна результати, отримані на модельних видах, екстраполювати на птахів узагалі? Чи йдеться лише про Горобцеподібних?

– Я була б обережна і говорила б лише про Горобцеподібних. Щоб говорити про птахів узагалі, потрібно досліджувати більшу вибірку. І ми хотіли б це зробити. Крім того, для вивчення Горобцеподібних ми використовували 2D геометричну морфометрію – аналіз двох проєкцій скелета на основі фотознімків. Віднедавна у нашому відділі було придбано 3D сканери за кошти гранту від Національного фонду досліджень України. І тепер подібні дослідження можна виконувати на новому рівні, застосовуючи 3D геометричну морфометрію. Це дасть змогу проаналізувати більше ознак і отримати повніші узагальнення.

Повертаючись до результатів дослідження інтеграції скелета у Горобцеподібних, хочу зауважити, що коваріація між формами скелетних блоків виявилася низькою. Ми підтвердили еволюційну інтеграцію для форм черепа і таза. А також виявили, що маса тіла суттєво впливає на відносні розміри скелетних регіонів. З'ясувалося, що дрібні горобині, на відміну від, наприклад, воронових (найбільших представників ряду), мають педоморфні пропорції тіла (такі, що передують дорослій стадії розвитку), тобто у них відносно більший череп і відносно менший посткраніальний скелет (це весь скелет, крім черепа). Слід зазначити, що вплив екології виду (типу наземної локомоції, трофічної спеціалізації) на коваріацію скелетних блоків був слабким. Ми пов'язуємо це з тим, що Горобцеподібні не є загалом вузькоспеціалізованими птахами.

Водночас ми припустили, що у вузькоспеціалізованих птахів коваріація скелетних регіонів може бути більш виражена. Щоби перевірити цю гіпотезу, дослідили інтеграцію форм і розмірів грудини і таза у водоплавних птахів.



Самці крижня звичайного

Серед водоплавних птахів виокремлюють різні екологічні групи за стратегією локомоції та пошуку їжі. Ми дослідили 26 видів птахів і виокремили три екологічні категорії: птахи, що плавають на поверхні і добувають їжу, занурюючи голову чи передню частину тіла у воду; пірнальники, які використовують для підводної локомоції

крила (як пінгвіни, кайри, чистуни); пірнальники, що пересуваються під водою за допомогою тазових кінцівок (баклани, пірникози). Виявилось, що серед птахів-пірнальників виражена коваріація форм грудини і таза, причому у пірнальників із різним стилем підводної локомоції наявні різні моделі коваріації. Більш вузька, видовжена і сплюснена грудина корелює зі вкороченим постацетабулярним регіоном таза (*преацетабулярний / постацетабулярний – виггли таза; ацетабулюм – місце з'єднання нижніх кінцівок із тазом*) у пірнальників, що використовують для підводної локомоції крила. Розширена і вкорочена грудина з глибоким кілем корелює з подовженим постацетабулярним регіоном таза у пірнальників, що використовують тазові кінцівки для підводної локомоції. Птахи, що плавають на поверхні, мають найбільш різноманітні комбінації форм грудини і таза. Це, ймовірно, пояснюється їхньою меншою спеціалізацією до специфічного способу водної локомоції, а також впливом різноманітних екологічних чинників.

– Тобто що спеціалізованіший вид, то інтегрованіший у нього організм?

– Можливо, але це теж потрібно перевірити.

Як я вже говорила, одним із наших завдань було дослідити інтеграцію в межах функціонального модуля черепа і виявити чинники, що на неї впливають. Ми розглянули 50 видів співочих птахів (представників ряду Горобцеподібних) із широким діапазоном маси тіла (8,3–570 г) і трофічної спеціалізації (зерноїдні, комахоїдні/зерноїдні, комахоїдні, всеїдні). Виявили високий ступінь коваріації між формами дзьоба і нейрокраніума. Це підтвердило узагальнення наших попередників щодо інтеграції черепа птахів. Ми також дослідили вплив відносного розміру черепа (довжини черепа щодо маси тіла), абсо-

лютного розміру черепа (алометрії) та трофічної спеціалізації на зміну форми черепа. Імовірний вплив відносного розміру черепа на його форму тестувався вперше. Ми вважаємо, що відносний розмір черепа пов'язаний з конструктивними особливостями всього тіла птаха (зокрема, з положенням центру ваги тіла), які є важливими як для успішного наземного пересування, так і для польоту. Виявилось, що подібні форми черепа трапляються у Горобцеподібних із різними розмірами тіла та трофічною спеціалізацією. Відносний розмір передбачав форму черепа майже так само, як і абсолютний розмір. Відносний і абсолютний розміри черепа опосередковували перехід птахів до трофічних спеціалізацій. Отже, наше дослідження показало, що біомеханічні обмеження, пов'язані з польотом, можуть опосередковано впливати навіть на форму черепа птахів.

Ми виконали ще одне дотичне до основного напрямку дослідження. Наш співавтор Іван Митяй (*доцент кафедри зоології та іхтіології факультету тваринництва та водних біоресурсів Національного університету біоресурсів і природокористування України, кандидат біологічних наук*) має велику базу даних щодо форми пташиних яєць, тож ми вирішили перевірити, чи є взаємозв'язок між формою / розмірами яйця та формою / розмірами таза, наскільки таз і яйце взаємоінтегровані. Виявилось, що форми таза і яйця корелюють менше ніж їхні розміри. Розміри яйця (довжина і діаметр) стають відносно більшими, якщо розміри таза зменшуються. Птахи з нагніздною моделлю розвитку (*птахи, в яких пташенята вилуплюються неопущеними, із закритими очима, потребують від батьків обігріву і вигодовування*) мають у середньому найменші розміри таза і найбільші відносні розміри яєць. Однак це пояснюється ефектом малих розмірів таза (і тіла загалом) у більшості нагніздних птахів. За схожих розмірів таза птахи з нагніздною моделлю розвитку мають менші відносні розміри яєць, ніж виводкові (*птахи, в яких пташенята вилуплюються вкриті пухом і зрячі, можуть із першої ж доби життя слідувати за батьками, шукати їжу*).

Ми також виявили кореляцію між формою таза та формою яйця. Найбільш виражена вона у хижих і водоплавних птахів. Річ у тім, що ці дві екологічні групи суттєво різняться за формою таза. У хижих птахів широкий таз із коротким постацетабулярним відділом корелює з округлішою формою яєць. А у водоплавних птахів видовжений таз із подовженим постацетабулярним відділом корелює з видовженою формою яєць. Отже, інтеграція простежується на різних рівнях просторової організації.

— А чи реально в перспективі охопити цими методами взагалі всіх птахів?

— Охопити геть усіх майже неможливо. Та й недоцільно. За різними оцінками, птахів зараз налічується від понад восьми тисяч до понад десяти тисяч видів. Ми не маємо доступу до такої кількості матеріалів. Але якщо взяти вибірку, представлену максимально різними екологічними групами, — отримаємо доволі повну картину і результати можна буде екстраполювати на інші види.

Цікаво ще дослідити, як змінюються кореляційні системи в онтогенезі, тобто протягом індивідуального розвитку організму, і які чинники на це впливають.

— Це, мабуть, дуже кропітка і тривала робота. І вона зовсім не збігається зі стереотипними уявленнями про орнітологів як людей, котрі десь з очерету чи кущів спостерігають птахів у бінокль.

— Так, дослідження видового різноманіття птахів, динаміки їхньої чисельності — це класичні польові орнітологічні дослідження. Наші ж дослідження — орнітоморфологічні. Нас цікавить, як птахи змінюються морфологічно (тобто за будовою тіла), наскільки ці зміни адаптивні, як інтеграція органів і частин тіла впливає на фенотипічну варіацію птахів (розмаїття їхніх зовнішніх ознак).

— Чи можна за підсумками ваших робіт із вибраними видами стверджувати, що птахи інтегрованіші (чи навпаки), ніж їхні предки? І якщо так, то наскільки інтегрованіші? Наскільки сучасні птахи взагалі відрізняються від своїх предків?

— Це цікаве питання, на яке не так просто відповісти. Птахи, звісно, відрізняються від своїх предків, але потрібні додаткові дослідження, щоб оцінити рівень інтеграції скелета предкових форм. Предками птахів вважаються тероподні (хижі) динозаври, для яких була характерна біпедальна (двонога) локомоція. Передні кінцівки у них не були задіяні в наземній локомоції, хоча і не були подібні до крил, як у птахів. Можна передбачити, що рівень інтеграції функціональних модулів у таких тварин був уже менший ніж у їхніх попередників із чотириновою наземною локомоцією, оскільки схожість функції для передніх і задніх кінцівок посилює їхню інтеграцію. Саме зменшення ступеню інтеграції організму відкрило простір для подальшої морфологічної трансформації, зокрема для перетворення передніх кінцівок на крило, формування специфічної тазової кінцівки, видозміни черепа.

— Предок птахів був схожий на тиранозавра?

— Це не тиранозавр, але схожість була. Тероподні динозаври були біпедальні. Саме перехід до біпедальзму уможливив трансформацію передніх кінцівок. У біпедальних динозаврів додаткову локомоторну функцію виконував хвіст, який урівноважував тіло під час руху. Але коли передні кінцівки трансформувались у крила, з'явилася можливість для зменшення розмірів хвоста. Походження птахів — цікава

тема, яку постійно порушують у літературі, і крапки в цьому питанні ще не поставлені.

– Тобто ще є куди досліджувати далі?

– Звісно. Досліджувати завжди є куди. Аби лиш були час, матеріали і, звісно, фінансування.

Дякую колегам, які брали участь у дослідженнях і обговоренні результатів, за співпрацю. Особливо Марії Гхазалі (*старший науковий співробітник відділу еволюційної морфології Інституту зоології ім. І.І. Шмальгаузена НАН України, кандигат біологічних наук*). Частково наші дослідження фінансувалися за рахунок проєкту Національного фонду досліджень України. Дякую за підтримку керівникові проєкту Павлу Гольдіну (*провідний науковий співробітник відділу еволюційної морфології Інституту зоології ім. І.І. Шмальгаузена НАН України, доктор біологічних наук, професор*).

– Як на Вашу роботу вплинуло повномасштабне російське вторгнення?

Війна – це надзвичайний виклик. Робота науковців значною мірою творча, і працювати ефективно під періодичними обстрілами складно. Особливо коли багато ночей поспіль перебуваєш в укриттях, не можеш спати через обстріли, не відчуваєш в безпеці й переймаєш за близьких. Хоча так живе і працює більшість українців. Та всі ці виклики, мабуть, не такі важливі. Бо є люди, яких війна торкнулася безпосередньо, котрі втратили рідних і домівки. Таких багато і серед науковців. Психологічно важко бачити зруйновані будинки, життя і долі, отримувати повідомлення про смерть знайомих на фронті чи у мирних містах. Улітку 2025 року ми мали стабільнішу ситуацію з енергетикою. Але попередні періоди з постійними багатогодинними знеструмленнями потребували чіткого планування, щоби встигати виконати заплановану роботу. Крім того, для деякого обладнання необхідне було безперебійне енергоживлення, і керівництво інституту розв'язувало цю нагальну проблему.

З чималими викликами стикнулися колеги, наукова робота яких пов'язана із польовими дослідженнями. Йдеться і про можливість спостережень на територіях, близьких до зони бойових дій, і про дотримання хронології досліджень. Зменшилося фінансування науки. І хоча зрозуміло, що під час війни бюджетні кошти переорієнтовуються головню на військові потреби, та збереження цієї ситуації зменшує можливості наукових досліджень і міжнародної співпраці.

Як і всі люди у нашій країні, сподіваюся на якнайшвидше закінчення війни і перемогу України. І дякую Збройним Силам України за можливість жити і працювати.



ДИВА ПРИРОДИ. КАЖАНИ ТА КИТОПОДІБНІ ЯК ЕВОЛЮЦІЙНІ УНІКУМИ



ІГОР
ДЗЕВЕРІН





популярній культурі кажани огорнуті ореолом таємничості й небезпеки. А насправді це безневинні й вразливі створіння, що потребують нашого захисту. Але щоб захищати, потрібно розуміти, а щоб розуміти – вивчати. Кажанів віддавна досліджують в Інституті зоології ім. І.І. Шмальгаузена НАН України. Частина таких досліджень є глибоко фундаментальними, теоретичними. Та без них ми не матимемо уявлення про те, як рукокрилі живуть і як та чому еволюційно змінюються. Добіг кінця проект, що його виконували в Інституті за грантом Національного фонду досліджень України. У фокусі уваги науковців була еволюція ссавців, що перейшли від наземного способу життя до водного (як китоподібні) та повітряного (як кажани). Слово – завідувачеві відділу еволюційної морфології Інституту зоології ім. І.І. Шмальгаузена НАН України докторові біологічних наук Ігорю Дзевєрину.

– Пане Ігоре, щоквітня у світі відзначають Міжнародний день вшанування кажанів. Звісно, всіх живих істот потрібно шанувати, та й неживу природу – теж. Але чим цікаві саме кажани? Чому їх варто шанувати особливо?

– У кажанів є безліч цікавих рис, які заслуговують на увагу. Починаючи з того, що вони вміють літати, здатні до ехолокації, мають несподівано велику тривалість життя. Взагалі-то у ссавців (та й в інших тварин, але у ссавців це доволі помітно) тривалість життя чітко узгоджена з розмірами тіла. Тобто, наприклад, слони живуть явно довше, ніж миші, а миші – ніж землерийки.

– Існує прямо пропорційна залежність?

– Не те щоб пропорційна, але доволі чітка. А кажани з цього ряду випадають – вони живуть значно довше, ніж можна було б очікувати, з огляду на їхні розміри. Це несподівана риса, і у кажанів їх таких безліч. Водночас кажани – це абсолютно типові ссавці. За багатьма ознаками вони нічим принципово не відрізняються від мишей, чи зайців, чи слонів, чи людей. Отже, з одного боку, вони типові, з іншого – унікальні.

Я все життя працюю переважно з кажанами роду нічниць, вони завжди були головним об'єктом моїх досліджень. І дуже



Кажани
виду велика
нічниця.
Малюнок
Аугуста
Шпехта

цікавим. Передусім рід нічниць надзвичайно різноманітний – він налічує понад 100 видів (для ссавців це дуже багато). Нічниці поширені майже на всьому суходолі. Не можуть жити вони тільки в полярних регіонах типу Арктики й Антарктиди. І ще не дійшли до Нової Зеландії та деяких інших океанічних островів.

Отакі роди, що налічують дуже багато видів, які дуже схожі між собою, ідеально годяться саме для еволюційних досліджень. Бо порівнюючи настільки схожі види, можна приблизно зрозуміти, як відбувається еволюція. Про це свого часу писав іще Чарлз Дарвін у праці «Походження видів».

– А в чому тут секрет?

– А ось у чому: види великих і поліморфних родів є мінливішими ніж види малих родів тих самих родин та більш схожими один на одного, у чомусь нагадуючи, таким чином, різновиди. Ці особливості можна пояснити неповним завершенням процесу видоутворення, тобто ми бачимо початковий етап дивергенції. Насправді у таких родах, як нічниці, ми можемо побачити різні етапи дивергенції: від дуже близьких видів до видів, настільки віддалених, наскільки це взагалі можливо в межах одного роду.

– А якщо види близькі, то можна простежити проміжні етапи?

– Так, у цьому випадку ми бачимо всі проміжні стадії. Маємо можливість побачити, як поступово відбувається дивергенція. Саме тому групи на кшталт нічниць дуже зручні для аналізу еволюції

Основним об'єктом мого дослідження стала група нічниць, до якої належать такі поширені у нас види, як велика нічниця і гостровуха нічниця. Це доволі чималі нічниці: за розміром велика нічниця посідає друге місце серед європейських кажанів і перше – серед нічниць, а гостровуха нічниця – третє місце серед європейських кажанів і друге – серед нічниць. Велика і гостровуха нічниці полюють на крупних комах, збираючи їх із субстратів, а саме – з поверхні землі. Гост-

Велика нічниця.
Фото Жилия Сан Мартена



ровуха нічниця віддає перевагу прямокрилим, її типова здобич – коники та цвіркуни. Велика нічниця теж може ловити цвіркунів, а ще – більших комах із твердішими покривами, наприклад турунів.

Моя ідея полягала у тому, щоб на основі порівняння далеких і близьких між собою видів одного роду, а також виокремлення їхніх відмінностей описати інтеграцію та модульність і проаналізувати, як за такого рівня інтеграції ці види відповідають на природний добір. Адже організм – це високоінтегрована система, яка має певні онтогенетичні обмеження на зміни. Види не настільки пластичні, щоб змінюватись одразу, щойно з'явиться адаптивна користь для змін у тому чи тому напрямі. Насправді зміни суттєво залежать від внутрішніх обмежень, тож мені хотілося проаналізувати рівень таких внутрішніх обмежень в обраних видів. Бо хоча про багатьох ссавців і є такі дані, але вони доволі фрагментарні.

– У межах проекту за грантом Національного фонду досліджень України (НФДУ) ви з колегами досліджували модульність, інтеграцію, дезінтеграцію, реінтеграцію організму кажанів під час еволюційних змін при переході з одного середовища в інше. Тобто предки кажанів були наземними тваринами? Хто ці предки і якими вони були?

– Які вони були – не відомо. Найпримітивніші кажани, яких ми знаємо, – це рід *Onychonycteris*, і це вже на 90 % сучасні кажани. Найхарактерніші їхні риси – кігтики на всіх пальцях крил (у сучасних кажанів вони втрачаються) і непропорційно короткі крила, що, втім, не заважало цим тваринам літати (хоч і не дуже добре). Щоправда, вони ще не здатні були до ехолокації. Але будь-хто, хто порівняє їх із кажанами, скаже, що оніхоніктериси – це кажани.

– Тобто кажани у палеонтологічному літописі вигулькують ніби нізвідки?

– Фактично, так. Із китоподібними значно простіше.



Онїхонїктерїс у скам'янілостях

– А хто найближчі родичі кажанів серед сучасних видів?

– Еволюційні шляхи кажанів та інших ссавців розійшлися доволі рано. Тому найближчих родичів кажанів можна визначити лише на рівні рядів. Це непарнокопитні, хижі звірі та комахоїдні, усі вони – приблизно на одному рівні спорідненості з кажанами. Перші два ряди, можливо, трохи ближчі до кажанів. Для цієї лінії навіть запропоновано назву Pegasoferae, тобто «пегасохижі» (кінь + крило = Пегас; Пегас + хижі = пегасохижі). Але це не така близька спорідненість, як усередині рядів, наприклад, між кінями, тапірами, носорогами, халікотеріями і так далі серед непарнокопитних або навіть у китоподібних із парнокопитними. До речі, парнокопитні разом із китоподібними є паралельною еволюційною лінією, близькою до лінії пегасохижих. А всі вкупі вони утворюють групу так званих лавразіатеріїв (лавразіатерії – плацентні ссавці, що походять із давнього суперконтиненту Лавразія, яка об'єднала сучасні Північну Америку, Гренландію, Європу й Азію), пов'язану своєю еволюцією з Північною Америкою. Ця група дала дуже велику кількість різноманітних груп ссавців, хоч і не всіх. Окрему групу становлять афротерії, пов'язані, як впливає з їхньої назви, із Африкою (наприклад хоботні). До ще однієї групи належать, з одного боку – примати, а з іншого боку – гризуни. Є також група неповнозубих (неповнозубі вважаються одними з найпримітивніших серед плацентних ссавців, вирізняються особливостями хребцевих суглобів), центр розселення яких – це Південна Америка. У сумчастих історія взагалі багата на події: вони походять із Північної Америки, але там повністю вимерли, а натомість мігрували до Південної Америки, звідти – до Антарктиди, а з Антарктиди – до Австралії, де дали вибух розселення. У Південній Америці лиши-

Водяна нічниця.
Фото Жилия Сан Мартена



лося тільки кілька видів. А потім опосуми посунули назад і знову заселили Північну Америку – як вторинні вселенці. Здається, це чи не єдиний випадок, коли південноамериканський вид заселяє Північну Америку, бо зазвичай відбувалося навпаки, тож видів північноамериканського походження у Південній Америці значно більше (ті ж верблюдові чи ягуари).

Нічниці – не настільки старий рід. Вони відокремились значно пізніше, коли кажани вже сформувались як група. Свого типового вигляду – з крилами, перетинками й ехолокаційним апаратом – кажани набули дуже швидко і далі майже не змінювалися. Свого часу я взявся перевірити, з чим пов'язаний цей консерватизм – із певними обмеженнями чи тиском середовища (тобто поєднанням живлення комахами з біомеханічними обмеженнями на політ). Це стало однією з основних тем моєї дисертації (*«Механізми трансформації структури черепа в еволюції нічниць та споріднених груп гладконосих рукокрилих»*, 2012 рік). Головний висновок полягає у тому, що провідну роль відіграють все-таки вимоги адаптивної зони – вимоги до польоту і до харчування. На низькому таксономічному рівні кажани здатні еволюціонувати доволі швидко, але – у межах своїх екологічних ніш і адаптивної зони. А адаптивна зона не дуже дає змогу, наприклад, збільшувати розміри та форми. До речі, те саме стосується і птахів: вони надзвичайно різноманітні, та все ж масштаб цієї різноманітності значно менший ніж у ссавців.

Ми у своєму дослідженні разом із Оксаною Верцімахою зафіксували динаміку ознак між модулями. Залежно від необхідності пристосуватися до певних умов середовища, інтеграція ознак зростає або зменшується. І там, де це потрібно, кореляційні системи перебувають, виникають нові модулі й зникають старі.

До речі, ми стикнулися з проблемою, що наукова термінологія у цій галузі ще не усталена. Зокрема, ми вживаємо терміни «адаптивні перебудови», «перебудови кореляційних систем» і аналогічні, бо ними послуговувався Іван Шмальгаузен (засновник Інституту зоології і його директор у 1930–1941 роках, академік), коли описував еволюцію кореляції (у нього йшлося про «адаптивні перебудови організму»). Англійською теж можливі різні варіанти – restructuring (дослівно – реструктуризація), repatterning (зміна шаблонів). Для своєї статті ми з колегами обрали термін “restructuring”, в зоруючись на французьке “restructuration”.

– Що плануєте досліджувати далі, щоб остаточно обґрунтувати і довести свою гіпотезу?

– Хочу збільшити масштаб і проаналізувати еволюцію кореляційної системи на ширшій вибірці видів. Бо на зараз ми вивчили шість таксономічних одиниць, п’ять із яких є дуже близькими родичами, а цікаво дізнатись, як ці процеси відбуваються в масштабах усього дуже різноманітного роду. Або й в інших родах. Сподіваюся, що зможемо зібрати дані і виконати цю роботу. Принаймні спробуємо. Бо це доволі перспективний напрям і широке поле – дослідження того, як кореляційні системи перебудовуються в різних еволюційних лініях і що це дає з погляду еволюції.

Наприкінці березня 2025 року фаховий журнал “Communications Biology”, що належить до видавничої групи “Nature”, опублікував статтю «Форма плечової кістки еволюціонувала у китоподібних під впливом релаксованого добору та випадкового дрейфу». Ігор Дзевєрін був одним із ініціаторів і виконавців цього дослідження.

– Пане Ігоре, що спонукало вас із колегами взятися за цю тему? І чому в дослідженні фігурує саме плечова кістка?

– Почну здалеку. Тема цілісності організму насправді дуже стара і вже стала класичною в загальній біології. Давно відомо, що, по-перше, будь-яка жива істота у певний спосіб пристосована до умов середовища. До того ж, на доволі високому рівні. Наприклад, наша дихальна система ідеально пристосована до споживання кисню з атмосферного повітря, а кровоносна система здатна насичувати цим киснем наш організм, причому саме з тими навантаженнями, які є. Наші м’язи мають саме таку потужність, щоби рухати наше тіло з його масою, а наш скелет – такі біомеханічні властивості, щоб утримувати ці м’язи. Словом, організм дуже добре пристосований до умов існування. Але є і другий важливий аспект, який фактично впливає з попереднього: усі ці ознаки ще й дуже добре пристосовані одна до одної. Тобто, крім пристосованості до умов навколишнього середовища, нашому організмові властивий також високий рівень

внутрішньої інтеграції. Ми не просто пристосовані – ми надзвичайно цілісні. Завдяки цьому організм взагалі може функціонувати як єдине ціле.

Обидві ці властивості живих істот довгий час слугували аргументом на користь креаціонізму (*креаціонізм – це уявлення про те, що Всесвіт створила надприродна сила, наприклад бог*). Не було зрозуміло, як міг виникнути організм такого високого рівня досконалості. Лише Дарвінова ідея природного добору пояснила, як у природний спосіб з'явилася досконалість, адаптованість організму. Але потрібно було ще розробити докладнішу теорію. Наприкінці ХІХ – на початку ХХ століття це стало улюбленою проблемою ідеалістичних філософських концепцій, зокрема холізму та віталізму (*холізм – філософський напрям, що розглядає світ як єдине ціле і результат творчої еволюції; віталізм – антинауковий напрям у біології, що розглядав живих істот як таких, що ними керують надприродні й незбагненні «сили життя»*). Вивчав її і Іван Шмальгаузен, засновник нашого Інституту, а також, до речі, завідувач того відділу, в якому ми зараз перебуваємо. А я є спадкоємцем Шмальгаузена по прямій лінії – після Б. Балінського, Б. Новикова, В. Касьяненка, С. Манзія та М. Ковтуна. Отже, Шмальгаузен активно досліджував цілісність організму в індивідуальному й історичному розвитку. Останньою темою, над якою він працював у стінах нашого Інституту, була «Інтегруюча роль природного добору». За часів лисенківщини її скасували, а Шмальгаузена – звільнили з нашого Інституту, і більше він до роботи у нас не повернувся. Відповідно, дослідження за цим напрямом надовго припинилися. Потім їх було дуже складно відновити. Ми цим і досі займаємося. Тобто наслідки лисенківщини виявилися дуже серйозними.

У чому полягала проблема, яку намагався розв'язати Шмальгаузен? Річ же не лише в тім, що організм цілісний. Питання в тому, як це еволюційно відбувається. Адже одну цілісну систему має замінити інша, нова цілісна система. А крім того, організм на всіх проміжних етапах теж має лишатись і цілісним, і адаптованим. Але як це можливо? Чи рівень цілісності організму змінюється в процесі еволюції? Бо ж не можна очікувати, що якісь випадкові мутації змінюватимуть усе досконало. Радше навпаки – вони розбалансуюватимуть структуру. Скажімо, мутація кісток не призведе до необхідної зміни м'язів чи іннервації. Тому потрібно шукати пояснення, як усе відбувається. І Шмальгаузен запропонував таке пояснення. Це була його теорія цілісності організму, або ж теорія стабілізуючого добору.

Наше дослідження було частиною великого наукового проекту «Цілісність організму ссавців як фактор стійкості при водному та повітряному способах життя на прикладі скелетних ознак», який ми

три роки виконували за фінансової підтримки НФДУ. Яка була ідея? Ми вирішили розглянути найрадикальніші еволюційні зміни, коли види змінювали середовище існування і їхній організм повністю перебудовувався під час цих змін. Скажімо, якщо предки коня перейшли від життя в лісі до життя у степах, то це, звісно, цікаве еволюційне перетворення (і хрестоматійний приклад у сучасних підручниках з еволюції), проте навряд чи воно супроводжувалося радикальною перебудовою. Предок коня – еогіпус – значно менший за розмірами, але це все одно кінь. Ми ж проаналізували еволюційний процес там, де зміни були найбільші, саме для того, щоби дізнатись, як змінювалася система інтеграції організму. Першим модельним об'єктом ми обрали китоподібних (як приклад еволюційних перетворень під час переходу до життя в морському середовищі), а другим – кажанів (вони демонструють перетворення при опануванні силового польоту). До речі, у другій частині дослідження, тобто щодо кажанів, ми теж маємо дуже цікаві результати і хороші публікації, але це тема окремої розмови.

А тепер щодо китоподібних. Уточнення «на прикладі скелетних ознак» не випадково фігурує у формулюванні теми нашого наукового проекту за грантом НФДУ, тому що чимало змін пов'язані саме з м'якими тканинами, але інформація про них не зберігається у палеонтологічному літописі. Тому скелетні ознаки, з цього погляду, мають перевагу. Крім того, завдяки особливостям будови їх легше описувати – форма стабільна й незмінна, кістка мінералізована тощо. Стаття, про яку ми говоримо, містить результати вивчення еволюційних змін плеча китоподібних як основи органа руху – передньої кінцівки. Яка тут проблема? Біомеханіка локомоції ссавців – це дуже добре досліджена тема. Відомо, як рухаються всі наземні ссавці (включно з людиною), крім дуже екзотичних. Добре досліджено, як рухається кінцівка, яке навантаження на кістки, як функціонують м'язи. Проте у китів усе інакше. І навіть знання про еволюцію коней, корів, оленів чи бегемотів не дуже допоможуть. Чому я згадав про копитних? Бо наземний предок китоподібних був, вочевидь, дуже близьким родичем предків прадавніх бегемотів. Хоча до водного середовища вони пристосовувались незалежно одні від одних. Цікаво, що за кілька мільйонів років по тому, як китоподібні так радикально змінили середовище існування, бегемоти теж потроху посунули у воду. ...Отже, на матеріалі плечової кістки ми хотіли дізнатись, як китоподібні перетворювались еволюційно, як їхнє плече змінювалося після переходу до водного середовища, як змінюване плече інтегрувалося з іншими частинами організму, якими були генетичне підґрунтя і механізм цієї перебудови. Тобто ми прагнули з'ясувати, чи це

випадкові зміни під впливом генетичного дрейфу, а чи спрямовані зміни під впливом природного добору.

Це, як пишуть у наукових статтях, постановка проблеми. А її технічне розв'язання потребувало дуже серйозної роботи, і до того ж різнопланової. Передусім необхідно було математично описати плече. Для цього застосовують методика геометричної морфометрії. У найпростіших випадках вистачить і фотографії, щоб визначити координати деяких міток. Але для структур зі складною тривимірною топографією цього не досить – їх потрібно сканувати, а координати визначати у тривимірному просторі. Отже, найперше ми мусили відсканувати чимало кісткового матеріалу великої кількості видів, що належать до різних груп китів і дельфінів, тобто охопити максимум еволюційного й анатомічного різноманіття, і одержати набори тривимірних міток. Ми отримали дані від найменших за розміром морських свиней до синього кита.

– Сканер пригнали завдяки гранту НФДУ?

– Саме так. І за це ми дуже вдячні Фонду, бо без приладу можна було й не починати роботу. З фотографій ми отримали б якусь інформацію, але тільки мінімум, який не дає уявлення про тривимірність структури.

...Далі потрібно було дізнатись про генетичну базу: які гени координують еволюційний процес і як вони змінювались. Потім – відстежити зміни фенотипних ознак, тобто перейти від наборів координат до еволюційних трендів і напрямів еволюції. Щоби, зрештою, з'ясувати, діяв там спрямований природний добір чи випадкові генетичні зміни. Тестування добору – окрема дуже складна математична проблема, її розв'язують різними методами на різному матеріалі, і мало хто в нас уміє це робити.

– «У нас» – це в Інституті зоології чи взагалі в Україні?

– Я б сказав так: в Україні це вміють троє людей, і всі вони працюють у нашому Інституті. Це Марія Гхазалі, Валерія Теліженко і Ваш покірний слуга. Конкретно в цьому дослідженні найбільшу роботу з даними виконали троє співавторів – Марія Гхазалі, Валерія Теліженко й Світозар Давиденко (Марія Гхазалі – старший науковий співробітник відділу еволюційної морфології Інституту зоології ім. І.І. Шмальгаузена НАН України, кандигат біологічних наук. Валерія Теліженко – молодший науковий співробітник цього ж відділу, доктор філософії з біології. Світозар Давиденко – науковий співробітник відділу, доктор філософії з біології). Світозар відсканував величезний обсяг кісткового матеріалу, забезпечив нас тривимірними реконструкціями, а Валерія і Марія по-різному проаналізували ці дані, зробили висновок про цілісність, модульність і про вплив еволюційних чинників.



Марія Гхазалі



Світозар Давиденко

Валерія опікувалася генетичними даними, аналізувала їх методами біоінформатики (це надзвичайно складний і кропіткий математичний аналіз), а Марія – фенотипними даними, даними морфометрії, й аналізувала їх за допомогою філогенетичних порівняльних методів. І колеги продемонстрували свою майстерність на найвищому рівні. Крім того, чимало даних зібрали й відсканували Павло Гольдін, Марія Гхазалі, Павло Отряжий, Каріна Вишнякова (*Павло Гольдін – провідний науковий співробітник відділу еволюційної морфології Інституту зоології ім. І.І. Шмальгаузена НАН України, доктор біологічних наук, професор. Павло Отряжий – молодший науковий співробітник, доктор філософії з біології цього відділу. Каріна Вишнякова – науковий співробітник Українського наукового центру екології моря (Одеса), старший науковий співробітник Національного антарктичного наукового центру (Київ), кандидат біологічних наук*). Каріна також працювала з матеріалами у природі.

Я щодня з ними спілкуюся, все про них знаю, знаю, на що вони здатні, – і все одно я в захваті від якості їхньої роботи. А робота ж надзвичайно складна, велика і потребувала дуже високої кваліфікації. Але все вдалося. Ми напрацювали надзвичайно великі обсяги даних і змогли їх проаналізувати. По-перше – завдяки індивідуальним здібностям кожного виконавця, по-друге – завдяки високій цілісності роботи, бо ці здібності вдало доповнювали одні одних і разом дали ефект синергії.

— А як долучилися співавтори з Грузії та Мексики?

— Вони надали частину дуже потрібного матеріалу. Отримати його можна було тільки у співпраці з ними.

А от найбільше роботи припало на Павла Гольдіна — як координатора всіх робочих процесів. Він також узяв на себе систематизацію дуже різноманітних даних. А крім того — генерував ідеї і сам брав участь у їх перевірці, обробляв дані, залучав співавторів, зокрема й закордонних, підбадьорював усіх, коли щось не виходило, а це траплялося багато разів. Я не певен, що без його організаторської ролі це дослідження взагалі відбулося б.

— Поговорімо, будь ласка, про головні результати, які ви з колегами у ній описали. Що було найцікавіше? Можливо, щось особливо вразило чи виявилось несподіванкою?

— Ми отримали дуже цікаві результати. Якщо коротко: форма плеча китоподібних еволюціонувала, вочевидь, під одночасним впливом генетичного дрейфу і слабого добору (у статті ми застосуємо термін «релаксований добір», що означає добір, інтенсивність якого знизилася). Загалом не те щоб це вважалося традиційним. Так, концепції нейтралізму (і близькі до них) припускають, що якісь еволюційні зміни відбуваються суто випадково і в будь-якому напрямі — саме через те, що добір перестав тиснути. Насправді ж, якщо проаналізувати математичну теорію добору, то виходить, що можливі далеко не будь-які зміни: навіть за випадкових змін спостерігаються певний статистичний розподіл варіантів і найтипівіші напрямі еволюції.

З іншого боку, дуже інтенсивний добір може радикально перетворити ознаки, але у природі він трапляється нечасто і підвищує ймовірність вимирання популяції. Можна навести чимало прикладів, коли ті чи ті види зникали, бо їм не вдавалось пристосуватись до дуже радикально змінених умов. Отже, оптимальним видається саме поєднання не надто інтенсивного природного добору з генетичним дрейфом. Мутаційний процес створює нову мінливість, яку ще може непередбачувано зменшити генетичний дрейф. І цю своєрідну лотерею в певний спосіб спрямовує природний добір.

— Чи плануєте далі розвивати ці дослідження?

— Так. У нас накопичилось безліч даних, тисячі оцифрованих об'єктів, яких вистачить ще на багато досліджень. Та й гріх буде не продовжити після стількох проблем і труднощів. Війна теж позначилася на нашій роботі.

— Чи можна, проаналізувавши ці дані, спробувати, наприклад, спрогнозувати, як плечова кістка у китоподібних еволюціонуватиме далі? Чи тут забагато невідомих?

– Будь-який справжній науковець відповість на це, що спрогнозувати, звісно, можна, але ж не можна буде перевірити, бо еволюційні зміни тривають мільйонами років. А наука має справу тільки з тим, що можна перевірити.

– **Клімат змінюється, рівень Світового океану зростає. Чи є ймовірність, що більша кількість видів через це перейде до водного способу життя?**

– Є, але, знов-таки, складно сказати, як це буде. Можна припустити, що, наприклад, із каланів (*морських видр*) або білих ведмедів за якусь кількість поколінь вийдуть водні тварини. А от ластоногі вже так добре пристосувалися до свого напівводного способу життя, що я не певен, чи вдасться їм перейти до повністю водного.

– **Не буде потреби?**

– Так. У китів і сирен, з одного боку, і тюленів, з іншого, – дещо різні еволюційні стратегії. Так само – у кажанів і летяг: планування і силовий політ – це не одне й те ж, і далеко не факт, що планування може перейти у силовий політ. Хоча багато вчених вважають, що кажани перейшли до силового польоту через проміжний етап планування, але напевно не відомо. Крім того, планування в еволюції ссавців траплялося багаторазово, а силовий політ з'явився тільки одного разу – у предків кажанів.

Перехід до повністю водного способу життя серед ссавців відбувся двічі – у предків китів і у предків сирен. Крім того, існують спеціалізовані водні тварини, які все ж цілком не втратили зв'язку із суходолом (ластоногі), а також більш-менш водні тварини на кшталт видр, білих ведмедів, бегемотів, хохуль, водних опосумів, качкодзьоба тощо. Є і цілком вимерлі групи – десмостилії (*великі травоїдні ссавці, схожі на бегемотів*) або морський лінивець. Тобто ми бачимо всі проміжні етапи – тільки в різних лініях. Тож – так, загалом немає нічого неможливого в тому, щоб іще хтось почав опановувати водне середовище.

– **Як на Ваше життя й наукову діяльність вплинула війна?**

– Війна взагалі багато що змінює. Скажімо, наше уявлення про себе. До цієї війни ми, мабуть, самі до кінця не усвідомлювали, хто ми і на що здатні. Я передусім маю на увазі надзвичайну здатність до самоорганізації та взаємодопомоги в умовах небезпеки і великих ризиків. Так було на обох майданах, так було і є під час війни з РФ. Це, можливо, не завжди помітно на рівні міжлюдських стосунків, але це стає очевидним, якщо ми розглядаємо події великого масштабу та значення. Така перевага самоорганізації, схильності до горизонтальних зв'язків є очевидним наслідком нашої історії: коли держава сто-

річчями була чужою та неефективною, залишається розраховувати на власні сили, а свобода стає найвищою цінністю. На теперішньому етапі української історії, мабуть, час подумати, щоправда, і про те, щоб нарешті створити ефективну державу, не втрачаючи прагнення до свободи і побудови горизонтальних зв'язків.

Натомість у наших ворогів панує дуже жорстка ієрархія. Обговорюючи ті риси російського суспільства, що призвели до відродження агресивного імперства, ми, недостатньо уваги звертаємо на те, що це надзвичайно агресивне суспільство зі свідомо зруйнованими горизонтальними зв'язками, де розпоширені кримінальні, ба навіть тюремні порядки. Це дуже помітно з дій та реакцій росіян на будь-які суспільні подразники, на все, що стається. Чому нам важливо це розуміти? Бо ми, маючи фактично той самий бекграунд, вийшовши з того ж таки тоталітаризму, почали долати його. Й істотно просунулися в цьому. Російсько-українська війна є війною за збереження українських цінностей, української культури й ідентичності. Але водночас – це і війна демократії проти неототалітаризму і відродженого імперства.

Якщо російське суспільство повернеться колись до демократичних цінностей, то відродження буде дуже непростим і, мабуть, тривалим. Утім, на прикладах Німеччини і Японії ми бачимо, що шлях від тоталітаризму до нормального, демократичного суспільства можливий. Протягом усієї історії ми як людство загалом рухались у бік взаємодопомоги і гуманізму. Якщо аналізувати динаміку останніх 20–30 років, то здається, ніби все дійсно погано і світ котиться у прірву. Проте, якщо розглянути розвиток людства від первісних суспільств і рабовласницького ладу до сучасності, все виглядає інакше. Шлях РФ до цивілізованості можливий, але він буде складним і повільним – через усвідомлення накоєного і через дуже велику роботу над собою. І шлях до покаяння пролягатиме через поразку. Маємо перемогти путінську Росію, як союзники колись перемогли нацистську Німеччину, інакше людство опиниться перед дуже серйозною загрозою. Багаторічне потурання західних держав РФ має низку причин, головна з них – це ядерна зброя. А як перемогти ядерну державу? Це дуже складно і може тривати роками, але альтернатив я не бачу, бо людство не може жити під постійною загрозою ядерного шантажу. Ще й нові охочі обзавестися ядерним кийком, безсумнівно, з'являться, коли побачать, що РФ залишається безкарною. Маємо боротися і стримувати її, аж поки вона не втратить здатності вести війну.

– У нас дійсно склалася чудова дослідницька команда, – додає співавторка статті кандидат біологічних наук **Марія Гхазалі**. – В Іго-

ря Ігоровича (Дзеверіна) і Павла Євгеновича (Гольдіна) надзвичайно добре розвинута наукова інтуїція, вони продукують ідеї, чудово формулюють гіпотези. Вони надихають і чудово описують глобальне значення дослідження.

Надзвичайно цінною є робота колег, які збирали первинні дані, – пошук кісток по музеях світу, домовляння з кураторами, узгодження візитів, відвідування колекцій, спроби зробити якнайбільше в короткі строки. Здається, ми зібрали майже все, що зараз є в наявності з цілих, не пошкоджених плечей китів, – 36 видів. Потім – сканування, очищення моделей від зайвих елементів. **Світозар Давиденко** чудово з цим упорався.

Зазначимо, що найпотужніші палеогістологічні школи, діяльність яких зазвичай не зводиться до вивчення пахіостеосклерозу, працюють у Франції, США та Китаї. Таку школу засновано вже й в Україні – ці дослідження виконує учень Павла Гольдіна Світозар Давиденко. Він виконав роботу з пахіостеосклерозу найдавніших китоподібних, що траплялися на території сучасної України 40 мільйонів років тому:

«Війна вплинула найперше на можливість польових і, певною мірою, музейних досліджень. Я почав вивчати викопні форми китоподібних ще до повномасштабного російського вторгнення, 2017 року. Частина скам'янілостей, з якими я тоді працював, походила з території Донецької та Луганської областей, тож уже тоді не було змоги дослідити місця збору цих зразків через окупацію частини цих регіонів. З початком повномасштабного вторгнення зона бойових дій значно розширилася, тож польові дослідження стали неможливі – наприклад, на узбережжі Каховського водосховища: коли воно було наповнене, води Дніпра розмивали береги, дозволяючи збирати велику кількість викопних решток китоподібних, ластоногих, сирен та інших представників морської фауни давнього океану Паратетіс.

Погіршилася ситуація і з музейними дослідженнями – деякі з установ, що містять цікаві зразки, або під окупацією (а значний обсяг музейних фондів може бути вивезений або вже вивезений до РФ), або близькі до лінії фронту, що створює постійну загрозу як для цінних матеріалів, так і для вчених, які приїхали їх дослідити. Тому особливо актуальними стають роботи з оцифрування музейних фондів, в які можна записати і нашу нещодавню публікацію про скелет цето-терія. Звісно, на процес оцифрування, та і взагалі на роботу в Інституті / музеях, негативно впливають відключення світла й опалення, спричинені обстрілами інфраструктури».

Продовжує Марія Гхазалі: Нашого дослідження не було б без первинних даних. І чудово, що тепер наші первинні дані є у вільному

доступі: це і 3D-моделі плечей усіх проаналізованих видів, і наші мітки. Дані про гени, які відіграють важливу роль у формуванні кінцівок ссавців, збирала й аналізувала **Валерія Теліженко**. Кожен науковець відтепер може нас перевірити, переосмислити, додати своє і ще далі просунути знання про цей світ.

Моєю основною роллю був статистичний аналіз кісткового матеріалу. Спочатку – рутинна перевірка даних: чи не переплутані координати міток, відповідність імен видів у різних масивах даних. А потім найцікавіша частина – візуалізація наших гіпотез і аналіз. Я працюю в R (це мова програмування та середовище для статистичного аналізу). Науковці, які добре знаються і на математиці, і в еволюційній біології, створили багато пакетів-бібліотек для аналізу й візуалізації процесу еволюції. Це галузь, яка активно розвивається: створюються алгоритми для аналізу багатовимірних масивів (коли об'єкт описується кількома ознаками), враховуються кореляції між змінними. Головне – бути в курсі всього нового, що з'являється, знати межі застосування методів (наприклад, наскільки метод чутливий до величини вибірки та якості даних) і підібрати адекватний метод. Технічно під час з'ясування, який саме механізм еволюції домінував у зміні форми кісток, ми порівнюємо наявну мінливість з очікуваною для різних еволюційних моделей. Далі отримуємо показник, який дає змогу оцінити нашу впевненість у правдоподібності моделі. Інтерпретація результатів – це баланс між нашими очікуваннями і тим, що показав аналіз, тому і формулювання зазвичай обережні. Як на мене, найголовнішим є те, що ми публікуємо первинні дані.

Стаття не була б такою гарною, якби не рецензенти. Вони уважно нас читали, критикували, коментували всі незрозумілі фрагменти, пропонували методи і підходи, підкреслювали місця, які були занадто спеціалізованими, і які треба було адаптувати для широкої наукової аудиторії.



ЧОРНОМОРСЬКИЙ ПЕРЕПИС КИТОПОДІБНИХ

ПАВЛО
ГОЛЬДІН



Н

УНІКАЛЬНІ КИТОПОДІБНІ ЧОРНОГО МОРЯ

ещодавно фаховий науковий журнал “Frontiers in Marine Science” опублікував статтю міжнародного колективу авторів «Оцінки щільності та чисельності китоподібних у Чорному морі за допомогою аерофотозйомок (ASI/CeNoBS)». Це перше скоординоване повітряне дослідження китоподібних у Чорному морі дало вичерпні дані та перші точні відомості про чисельність, поширення і щільність трьох видів китоподібних — чорноморського дельфіна звичайного (*Delphinus delphis ponticus*), афаліни чорноморської, або ж білобочки (*Tursiops truncatus ponticus*), і чорноморської морської свині (*Phocoena relicta*), або ж фоцени чорноморської. Про методологію, результати, значення і перспективи цього дослідження пресслужбі НАН України розповів провідний науковий співробітник відділу еволюційної морфології Інституту зоології імені І.І. Шмальгаузена НАН України доктор біологічних наук, професор Павло Гольгін.



Дельфін звичайний, він же білобочка. Фото Аяки Озтюрк

– Пане Павле, наукова стаття, одним зі співавторів якої Ви є, присвячена чисельності популяції китоподібних ссавців, що живуть у Чорному морі. Поясніть, будь ласка, навіщо науковці моніторять їхню кількість і які зміни вдалося зафіксувати.

– Усі китоподібні Чорного моря – а це два види дельфінів (дельфін звичайний, або ж білобочка, та чорноморська афаліна), а також морська свиня – у чорноморській екосистемі є кінцевими хижаками. Тому стан їхніх популяцій – одночасно й індикатор, показник відхилення від гарного стану всієї екосистеми Чорного моря, і чинник цього гарного стану. Тобто якщо популяції китоподібних почуваються у морі добре, то вони, відповідно, належно виконують свою функцію кінцевих хижаків і в такий спосіб стабілізують усю екосистему. Якщо з екосистеми забрати цих кінцевих хижаків (так було у ХХ сторіччі – спершу внаслідок промислу, а потім через біоінвазії), то вона повністю дестабілізується, а простіше кажучи – «розсиплеться». Відбудеться так званий ефект трофічного каскаду, коли з екосистеми по чергово зникнуть різні елементи, і через цей дисбаланс вона втратить рівновагу.

У ХХ сторіччі чисельність китоподібних скоротилась, імовірно, вдсятеро, а може, й більше. Масштаби скорочення достеменно не відомі, бо оцінки, зроблені 40–50 років тому, ще у 1980-х, були приблизні, тобто базувалися на неповних обліках і екстраполяціях, які потребували перевірки.

Отже, станом на 2019 рік про чисельність китоподібних у Чорному морі нічого не було відомо, а це вкрай погано. Циркулювали різні оцінки, які суттєво різнилися. Наприклад, деякі джерела писали, що дельфінів у Чорному морі менше тисячі особин, інші – що тільки в рибальських сітях щороку гине понад 10 тисяч. Зрозуміло, що дельфінів не може гинути більше, ніж їх узагалі є.

– Чим особливий ваш із колегами облік?

– Це перший у Чорному морі облік китоподібних, виконаний за сучасною методикою, завдяки якому одержано кількісні дані щодо щільності й чисельності популяцій. Ідеться не про приблизні, а саме про оцінювальні дані, що ґрунтуються одночасно на принципах лінійно-трансектного обліку й екологічному моделюванні. Тобто для кожного виду ми подали дві оцінки (до речі, оцінки на основі різних методів майже збігаються). Окремо представлено оцінки чисельності та щільності популяцій у водах кожної з п'яти країн, які брали участь у дослідженні, – України, Румунії, Болгарії, Туреччини, Грузії. Зокрема, українські води враховують саме політну зону «Одеса». Загалом наш облік охопив 52 % акваторії Чорного моря. За межами обліку, відповідно, лишилося 48 % акваторії – це українські води

навколо окупованого Криму та прилеглі до них води (серед них — чимала частина економічної зони Туреччини), а також політна зона «Ростов» і води окупованої частини території Грузії.

— А чи можна екстраполювати на всю акваторію Чорного моря цифри, одержані для її половини, й оцінити популяції китоподібних у чорноморській екосистемі загалом?

— Ми свідомо цього не робили, тому що вважаємо такі екстраполяції апіорі некоректними. Спокуса була, але після кількох раундів обрахунків і обговорення ми вирішили не чинити так, бо це призведе до хибних оцінок і очікувань.

— Здобуті результати (маю на увазі абсолютні показники) були актуальні станом на 2019 рік. І, як я розумію, надзвичайно важливі з наукового погляду. Проте після початку повномасштабної російської війни проти України ситуація, вочевидь, суттєво змінилася. Чи планується продовжити цей ряд спостережень?

— Дослідження ініціювали Секретаріат Угоди про збереження китоподібних Чорного моря, Середземного моря та прилеглої Атлантичної зони (ACCOBAMS), яка має статус міжнародної конвенції, та Європейська Комісія. Наш облік був частиною обліку, здійсненого в усьому Середземноморсько-Чорноморському басейні. Тобто роком раніше — 2018-го — такий само облік китоподібних відбувся у Середземному морі, ставши там узагалі історично першим. Європейська Комісія профінансувала цей проект. А річ у тім, що законодавство Європейського Союзу і наукові принципи, висвітлені у згаданій Угоді, рекомендують здійснювати обліки китоподібних щосім років. Отже, ідеально було би повторити спостереження в Середземному морі вже наступного року, а в Чорному — 2026 (згідно з останніми новинами, обліки вимушено перенесли на рік). Якщо на той момент Україна переможе (а я певен, що Україна переможе в будь-якому разі), відновить державний суверенітет над усіма своїми міжнародно визнаними територіями і бойові дії на морі припиняться, то це буде також нагода оцінити наслідки війни. Звісно, перебіг бойових дій непередбачуваний, і, говоритимемо відверто, наразі не відомо, що буде замість так званої Російської Федерації у 2026 році. Хай там як, безпечні умови для обліку з'являться, щойно закінчиться війна. Сподіватимемося, це станеться відносно швидко і ми всі доживемо до цього моменту.

— Розкажіть, будь ласка, докладніше про методи дослідження.

— На Чорному морі працювали два літаки — маленькі чотиримісні «Cessna», подібні до описаного у повісті Ричарда Баха «Мартин на ім'я Джонатан Лівінгстон». Вони облаштовані спеціальними вікнами, які збільшують кут зору і уможливають огляд на 180°. У кожному



Під час обліку.
Праворуч – Павло Гольдін, ліворуч – Галіна Мешкова (Болгарія)

літаку сиділи пілот, штурман і двоє спостерігачів (Павло Гольдін працював в одній групі з Маріаном Паю (Румунія) та Галіною Мешковою (Болгарія)). Ми літали за заздалегідь прокладеним маршрутом – зигзагоподібними лініями точно від координати до координати. Кожен спостерігач мав клінометр, оцінюючи за допомогою цього приладу кут, під яким бачив тварину, а отже, й відстань до неї. Геть усе робили суто візуально, без жодних додаткових приладів і фільмування. Працювали тільки очі спостерігача. Спостерігач мав уголок на диктофон промовити, скількох тварин якого виду і під яким кутом бачить; чи помітив якісь особливості в їхній поведінці (можливо, це були мати з дитинчам або дорослі особини під час полювання чи парування); чи видно ще щось або когось, окрім власне об'єктів дослідження (наприклад, птахів, нафтову пляму, морське сміття тощо). А штурман мав занотувати всю інформацію.

– Наскільки надійний цей метод і наскільки точні результати він дає? Адже дельфінів не завжди видно, хоча рано чи пізно вони однаково мають наблизитися до поверхні. А ще особини одного виду дуже схожі між собою. Як зрозуміти, чи не бачимо ми одного й того ж дельфіна чи одну й ту саму зграю?

– Ви ставите одразу кілька дуже хороших методологічних запитань. Щодо першого. Як Ви правильно говорите, дельфіни деякий час перебувають під водою. Якщо це великий дельфін афаліна і він пірнає неглибоко, то його однаково буде видно. А маленької морської свині, яка пірнула на глибину 50 метрів, уже не побачити. Крім того, кожен вид дельфінів проводить різну частку свого часу (його називають іще бюджетом часу) під водою та над водою. Наприклад, афаліна переважно тримається на поверхні, тоді як морська свиня – переважно

під водою. Тому до оцінок, одержаних безпосередньо через облік, потім застосовують поправкові коефіцієнти на ймовірність спостереження, які залежать саме від того, скільки часу тварина проводить під водою. У нашій статті наведено приклади застосування такого поправкового коефіцієнта до оцінки популяції морської свині. Ми показали, що насправді морських свиней приблизно втричі більше ніж ми візуально спостерігали, – 260 тисяч особин, а не 93 тисячі.

– Це обнадійлива цифра?

– Непогана. Ми дійшли висновку, що стан популяції дельфінів кращий ніж очікувалося. Скажімо, чисельність дельфіна звичайного, або ж дельфіна-білобочки, загалом відповідає рівню 1980-х років, тобто вона майже відновилася. Чисельність афаліни лишається відносно низькою. Щодо морської свині потрібні надійніші історичні дані. Вочевидь, її чисельність не відновилась, але, повторю, вона краща ніж можна було очікувати.

...А тепер про друге Ваше методологічне запитання – щодо ризику повторного обліку. По-перше, наш літак летів відносно швидко – зі швидкістю 170 км/год. Дельфіни так швидко не плавають. По-друге, важливо, щоб облік був відносно короткотривалим, бо якщо він розтягнеться на місяць чи два, то, звісно, може статися так, що за цей час група дельфінів або навіть велике стадо перепливе з одного місця на інше і спостерігачі або двічі побачать тварин, або не побачать їх жодного разу. Тому ми намагалися зробити наш облік гранично швидким і гранично коротким. І нам це вдалося: 52 % акваторії Чорного моря ми облетіли всього за 15 днів. Це неймовірно хороший результат. На щастя, посприяла майже ідеальна погода: у нашої групи була коротка триденна перерва на шторм, а загалом спостереження відбувалися під час тривалого штилю. Отже, ймовірність повторного обліку – мінімальна.

– Хто Ваші співавтори у дослідженні? Розкажіть, будь ласка, про наукову команду, міжнародний проєкт і про український внесок у здобуті результати.

– У польотах – як штурмани і спостерігачі – брали участь дослідники з Румунії, Болгарії, України і Туреччини. Від Секретаріату ASSOBAAMS у складі дослідницької команди працював наш італійський колега Сімонє Паніґада. Він – дизайнер цього обліку, тобто обраховував координати й оптимальне розташування ліній, за якими ми літали, а також був нашим тренером, навчав нас правильно спостерігати й обліковувати тварин. Долучилися й інші колеги з наукового комітету ASSOBAAMS – дослідники з Франції та Італії. Аналізом керувала Ана Каньядес – іспанська за походженням дослідниця, яка зараз працює у США.



Кит-горбань стрибає у водах Антарктиди.
Фото
Оксани Савенко

У березні 2025 року дослідження китоподібних отримали продовження – фаховий журнал “Scientific Reports”, що належить до видавничої групи “Nature”, опублікував статтю «Еволюція додаткових кісток у черепі китоподібних пов’язана зі зниженням швидкості скостеніння черепних швів» науковців відділу еволюційної морфології Інституту зоології ім. І.І. Шмальгаузена НАН України – провідного наукового співробітника доктора біологічних наук, професора **Павла Гольгіна** і аспірантки **Валерії Теліженко**.

– Пане Павле, як виникла ідея вашого з пані Валерією Теліженко дослідження?

– Ідея виникла спонтанно. Я багато часу проводив у різних природничих колекціях в Україні й за кордоном, фотографував і обмірював черепи китоподібних для цілей інших досліджень. І під час роботи помітив, що інколи у черепах трапляються незвичні кістки, так звані додаткові. Вони не властиві більшості екземплярів, і їх немає в жодних описах. Тож я почав звертати на це увагу і систематизувати нові дані, передивився більше зразків – і згодом зібрав інформацію про цілу колекцію. Тоді й виникла ідея узагальнити дані та кількісно описати їх, передусім щоб збагнути еволюційні тенденції, за якими ці додаткові кістки виникають, і з’ясувати, з чим це може бути пов’язано.

На початку ми запропонували як робочу гіпотезу, а потім за допомогою кількісних розрахунків, які виконала моя співавторка пані Валерія Теліженко, довели, що наявність нововиявлених додаткових кісток позитивно корелює зі сповільненням скостеніння швів у черепі китоподібних.

– Тобто вони не конче з’являються, це лише можливий варіант?

– Так, додаткові кістки є не в усіх екземплярів того чи того виду. В одних видів вони трапляються частіше, в інших – рідше. У деяких видів – надзвичайно рідко: аж до одного випадку на тисячу чи навіть на десять тисяч зразків.

– Невже ніхто, крім Вас, ніколи не звертав на це уваги?

– Звертали увагу на інші види. Наприклад, такі ефекти описано у людини. Бо, звісно, людські анатоми мають справу зі значно більшими вибірками черепів, ніж ми, зоологи: йдеться про сотні тисяч зразків. Крім того, цю особливість помітили для видів, у яких вона трапляється відносно часто, зокрема в їжаків. Але для китоподібних, та ще на такій великій вибірці (а ми зі співавторкою проаналізували більш як половину всіх сучасних китоподібних і порівняли їх із низкою таксонів наземних парнокопитних) – це перше подібне дослідження у світі.

– А чому китоподібних порівнювали саме з парнокопитними?

– Тому що парнокопитні – це найближчі родичі китоподібних. Усі вони мають спільного предка. Від основної генетичної гілки, яка дала початок усім парнокопитним, китоподібні відокремилися близько 55–53 мільйонів років тому.

Важливо також, що ми першими виявили такі ж закономірності – щодо сповільнення скостеніння швів черепа – в оленів. Загалом і до нас було відомо, що черепи оленів мало костеніють. Але саме ми показали, що китоподібні продовжують цю тенденцію. Цікаво, що найбільш скостенілі черепи у китоподібних відповідають найменш скостенілим черепам в оленів. Тобто там, де олені закінчують, китоподібні підхоплюють і розвивають.

Так само ми стали чи не першими, хто виявив у різних оленів додаткові кістки, зокрема і схожі на ті, що є й у китоподібних. Наприклад, ми знайшли їх в оленя мунтжака, батьківщина якого – Південна Азія, передусім Індія (хоча він акліматизований також на британських островах). Скажімо так, ми довели, що мунтжак – найближчий до китоподібних серед парнокопитних.

– У вашій зі співавторкою статті вперше описано певні ефекти й закономірності. Розкажіть про них докладніше, будь ласка.

– Ми не лише показали, що ймовірність виникнення додаткових кісток позитивно корелює зі сповільненням скостеніння швів черепа, а й на додачу виявили закономірності еволюційної швидкості цих процесів. Ми показали, що сповільнення скостеніння виникає у китоподібних на початку їхньої еволюції. Тобто відколи вони перейшли до водного способу життя, швидкість еволюції їх скостеніння стрімко впала. На нашу думку, ця риса була іманентно властива їм від початку їх еволюції, а потім ще й еволюційно закріпилася. Спо-

вільнене скостеніння черепа – це прояв еволюційної стратегії кито-подібних.

Ми зауважили ще одну особливість – універсальну, більш притаманну китоподібним і зрозумілішу для пояснення. Вона полягає у тому, що якщо в черепі не костеніють шви, то з'єднання між кістками – рухомі. І це означає, що кістки черепа можуть зсуватись одна відносно іншої, а рухомий череп, який не затвердів цілком, функціонує як пружинна конструкція. Це корисне пристосування для тварин: коли кістки черепа ледь-ледь розширюються і створюють додатковий простір, китові чи дельфіну значно легше поглинути здобич, швидко засмоктавши її з потоком води. Ми вважаємо полегшення всмоктувального живлення ще однією перевагою особливої будови черепа китоподібних. Саме тому, на нашу думку, ця риса, притаманна китоподібним від початку їхнього вторинно водного способу життя, зрештою закріпилася на рівні всієї групи.

– Як добре такий рухомий череп захищає мозок?

– Він зручний, якщо тварина живе у воді, де, до того ж, значно менші ризики травмуватись об щось тверде, а жодна більша істота їй не загрожує.

– Наскільки суттєвими ваші результати є для науки? Як ви самі оцінюєте свій внесок?

– Як я вже говорив, особливості того ж стибу, що й у нашому дослідженні, науковці помічали у звірів і до нас. Їх відкрили, наприклад, у риб і прадавніх амфібій. Ми ж виявили, що звірі, які стають схожими на риб за способом життя, уподібнюються до них і будовою черепа. Цей цікавий ефект дає змогу інакше поглянути на звірів як таких. А люди теж звірі, і тепер можуть подивитися на себе під новим кутом зору.

– Яких нових результатів очікувати від Вас найближчим часом?

– Скоро мають вийти друком результати, які ми здобули завдяки фінансовій підтримці Національного фонду досліджень України (вся українська команда співавторів виконувала проект за грантом Фонду).

– Пане Павле, розкажіть, будь ласка, як війна вплинула на Вашу роботу, наукові дослідження?

– Не найкращим чином, м'яко кажучи. Всі процеси порушено, все не так, як було до вторгнення. Через бойові дії та окупацію нашим ворогом деяких прибережних територій акваторія стала небезпечною. У морі діють як наше військо, так, на жаль, досі й ворожі сили. Але якщо у 2022 році була істотна загроза вторгнення через море, ворожі кораблі підходили в наші територіальні води аж на відстань

прямої видимості з Одеси, а острів Зміїний був окупований, то зараз ситуація значно краща: слава богу, північно-західну частину Чорного моря контролює Україна. Та все одно це зона бойових дій, де науки немає. Тобто в нас немає і не може бути таких, як до вторгнення, авіаційних обліків тварин; немає і не може бути суднових обліків; ми не можемо літати дронами ні над морем, ані над узбережжям – цивільним це суворо заборонено.

– Тим цінніші, напевно, дослідження, які вдалося виконати до початку вторгнення.

– Так, безумовно. Це важлива база. Колеги, в яких її немає, опинились у дуже скрутному становищі, бо не знають, що з чим порівнювати. А ми точно знаємо, якою до 2022 року була ситуація з видами, що їх ми вивчали, і після війни зможемо з'ясувати, які наслідки для них мала російська агресія. Тобто в цьому сенсі ми почуваємося значно впевненіше ніж чимало наших колег.

– А як Ви працюєте зараз, не маючи прямого доступу до моря?

– Більша частина узбережжя закрита для відвідування. Але є винятки – деякі території, які все ж можна відвідувати. Найбільшим польовим науковим полігоном для нас із колегами тепер стала Одеса. Це не просто велике місто, а й 40 кілометрів пляжу, де ми можемо виходити на берег, спостерігати китоподібних, брати матеріал від мертвих тварин тощо. І це дуже важливо. Бо, наприклад, 2022 року фіксувалися події масової загибелі китоподібних, які точно збіглися з початком повномасштабного російського вторгнення, тому є побоювання, що одним із чинників цієї загибелі стали дії ворожих армії та флоту. Цьому питанню ми присвятили чималу частину своїх досліджень.

Вивчаємо, як війна впливає на популяції китоподібних і загалом на біоту Чорного моря. Робимо це тими засобами і силами, які маємо, і, як я вже сказав, на тих ділянках узбережжя, де нам дозволено працювати. Є ще один напрям роботи: зараз розвивається чимало досліджень на основі дистанційного моніторингу, зокрема космічних знімків. Це цінний інструмент для екологів.

Використовуємо можливості міжнародної співпраці з іншими причорноморськими країнами. Члени моєї дослідницької команди, як я вже зазначав, працюють на узбережжях і у територіальних водах Румунії, Болгарії та Туреччини. Колеги нам допомагають. Завдяки цьому отримуємо інформацію, можливості отримання якої у водах України ми зараз позбавлені. Адже зрозуміло, що чинники, які впливають на популяції китоподібних, однакові для Болгарії та України. Наслідки війни, переміщення риби і дельфінів через бойові дії,

надмірного рибальства, загибелі у сітях відчуваються в обох країнах. А викидів мертвих китоподібних у Болгарії навіть значно більше ніж у нас. Бо ж північно-західна частина Чорного моря – це все-таки край областей поширення китоподібних, а центр розташований південніше, у водах Болгарії, Туреччини. Тому розвинена співпраця із сусідами дуже помічна для нас.

– Що Ви хотіли б вивчати, коли війна закінчиться (сподіваюся, перемогою України)? І наскільки безпечними будуть ці дослідження? Можливо, це запитання слід агресувати військовим експертам, а проте: як Ви вважаєте, скільки часу знадобиться на розмінування у морі?

– Хочу сказати, що цивільні експерти теж залучені до формування політики щодо гуманітарного розмінування. Тому що саме мінування є найактуальнішою довгостроковою загрозою для життя людей і тварин в Україні. Звісно, є й інші загрози: інвазія, хімічне забруднення моря та інші. Але саме розмінування є наріжним каменем усіх зусиль, які мають бути докладені. Задля цього повинні співпрацювати всі цивільні галузі – океанографія, біологія моря тощо. Всі можуть зробити внесок, і всі мають бути долучені. І добре, що наш Уряд це усвідомлює і вдало організував співпрацю з усіма експертами – і науковцями, і промисловцями, й іншими. Наприклад, дуже багато в цьому напрямі робить Міністерство економіки, це наш локомотив і авангард. Зараз урядовці зосереджені переважно на суходолі, сільськогосподарських угіддях, що зрозуміло: поля треба орати просто тут і зараз, щоб нам усім не голодувати. Але зрозуміло також, що наступним кроком буде море. Це потребуватиме не лише часу, а й величезного наукового прогресу – розроблення нових технологій для оцінювання, нетехнічного (а потім і технічного) обстеження акваторії, морського дна, узбережжя, а також створення нових апаратів безпосередньо для розмінування. Саме це надихатиме і спонукатиме нас створювати щось нове і корисне для суспільства, а разом і для природи. Так, це забере роки, а можливо, десятиріччя – залежно від району. Але я в цьому сенсі оптиміст. Я впевнений у перемозі і нашої України, і науково-технічного прогресу. І думаю, що ця місія здійсненна. Але докластися мають усі. І біологи теж.

А щодо інших актуальних наукових завдань, які потрібно буде розв'язувати після війни, то це передусім обліки тварин на всій площі звільненого Чорного моря. І ці обліки мають бути авіаційні, тобто з повітря, бо саме така методика допомагає зібрати найкращі об'єктивні дані за короткий час. Особисто я вірю в те, що ми поступово переходитимемо від пілотованої авіації до дронів. Щоправда, у нау-

ковому середовищі ще точиться дискусія і дуже багато скептицизму щодо цього питання. Але я вважаю, що кращої альтернативи, ніж дрони, немає. Тож цілком можливо, що замість літаків у нас після війни працюватимуть на науку якісь аналоги байрактарів чи інші «великі крила».

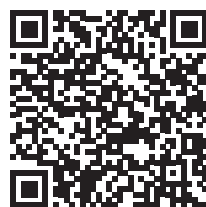
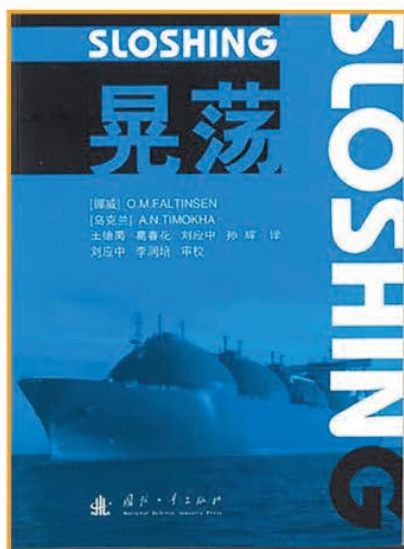
– Оскільки українці схильні шукати щось добре навіть у найгіршій ситуації, дозвольте поцікавитися, чи з'явилися у Вас із початком повномасштабної війни якісь нові можливості?

– Звісно, нас підтримують – і морально, і матеріально. У нас багато друзів. Але міжнародна спільнота, особливо науково-експертна, переважно перелякана. Шок від великої війни досі не минув, більшість світових науковців опинилися у ситуації безпорадності і насправді не знають, що робити. Тільки ми самі можемо запропонувати найкращі рішення і найкращі, передові методи для своїх потреб. Досвіду, кращого за наш, немає ні у кого. А досвіду наукових досліджень під час бойових дій, як виявилось, немає в принципі. І ніхто навіть не міркує над тим, як це можна було б організувати. Тож саме ми маємо бути хедлайнерами, виявляти активну позицію, шукати рішень, можливих і найпридатніших у наших умовах. Повторюю, все це мусимо робити самі, самі, самі.

Важливо також, як ми самі зреагували і реагуємо на вторгнення. Я говорю передусім про діяльність наших інженерів, про нові науково-технічні розробки. Все, що зараз робиться для фронту в частині науково-технічного прогресу, всі ці апарати і системи моніторингу (від акустичного моніторингу повітряних тривог до підводних дронів) – усе це після війни дуже-дуже-дуже сильно допоможе і цивільній науці. Такі результати ми, біологи, не лише уважно відстежуємо, а й допомагаємо створювати.

«ПАДІННЯ ПОПУЛЯРНОСТІ
МАТЕМАТИКИ В УКРАЇНІ СТАНОВИТЬ
ЗАГРОЗУ НАЦІОНАЛЬНІЙ БЕЗПЕЦІ,
АЛЕ ЦЬОМУ МОЖНА ПРОТИДІЯТИ»

ОЛЕКСАНДР
ТИМОХА



Ц

МАТЕМАТИКА НЕЗВИЧНИХ ЗАСТОСУВАНЬ

Ци правда, що математик неодмінно має відбутись у своїй галузі ще замолоду? Навіщо науковцям періодично змінювати напрями досліджень? Які можливості відкриває перед ученими міжнародна співпраця і в яких продуктивних формах вона нині реалізується? Як адекватно популяризувати математику та зацікавлювати нею молодих дослідників? Як має далі розвиватись Інститут математики НАН України? Про це в ексклюзивному інтерв'ю пресслужбі НАН України розповів один із тодішніх кандидатів на посаду директора (нині директор) наукової установи, завідувач відділу математичних проблем механіки та теорії керування Інституту математики НАН України член-кореспондент (нині академік) НАН України Олександр Тимоха.

— Спасибі, що знайшли час і можливість поспілкуватись, Олександр Миколайовичу. Для початку поговорімо на доволі традиційну тему. Чому Ви обрали своєю професією саме математику? Як нею зацікавилися? І чи правда, що математика — це наука молодих?

Мій досвід спілкування із колегами доводить, що більшість із них обрали математику під впливом якоїсь особистості, «учителя» в широкому розумінні цього слова. Я не належу до цієї більшості. В юнацтві мені легко давалися не тільки математика і природничі науки, а й більшість гуманітарних (не вдавалися хіба що твори з літератури в радянському стилі «"Взвейтесь!" да "развейтесь"» (за висловом Івана Бездомного, персонажа роману Михайла Булгакова «Майстер і Маргарита»)). Батько — музикант, у мене також є середня музична освіта, навіть музику писав, з якою юнацькі ВІА (музичні гурти в СРСР називалися вокально-інструментальними ансамблями) вигравали конкурси; мати — єдиний на ті радянські часи «Заслужений вчитель УРСР» серед викладачів біології. Водночас щось таке схилило мене і мою сестру, яка теж закінчувала київський мехмат (механіко-математичний факультет Київського національного університету імені Тараса Шевченка), до математики. Далі. Для математика, який



Зліва направо: Іван Гаврилюк і Мартін Герман (Німеччина) та Олександр Тимоха



На першому плані – Олександр Тимоха (ліворуч) разом із академіком Іваном Луковським

обирає наукові дослідження як професію, винятків відносно наявності Учителя, як мені здається, немає. Моїм науковим батьком став академік Іван Олександрович Луковський (*доктор фізико-математичних наук у галузі теоретичної механіки, професор, нині головний науковий співробітник відділу математичних проблем механіки та теорії керування Інституту математики НАН України*).

За статистикою, найкращі результати математики отримують до 40 років. Звідси й відповідне вікове обмеження в умовах присудження Медалі Філдса. Але насправді є багато винятків. Подивіться, які фантастичні результати отримують провідні вчені в нашому інституті! Гляньте, де, в яких журналах вони публікуються! От приклад – стаття в «Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America» (цей журнал не менш впливовий від «Nature») нашого провідного наукового співробітника доктора фізико-математичних наук Андрія Бакана разом із Хааканом Хеденмальмом (Швеція), Альфонсо Монтесом-Родрігесом (Іспанія), а також Данилом Радченком і Марією В'язовською, які зараз працюють у Швейцарії.

Нещодавно відійшов у засвіти наш директор – видатний математик сучасності, академік Анатолій Михайлович Самойленко. З його слів, свій найвідоміший «іменний» результат (функції Гріна – Самойленка) він отримав після Чорнобильської катастрофи, коли йому було п'ятдесят років.

– Олександр Миколайовичу, що належить до кола Ваших наукових інтересів і за якими напрямками Ви проводите дослідження? Які цікаві результати отримали останніми роками? І чому це важливо?

– Ви слушно вживаєте множину в цьому питанні – йдеться саме про *напрями*. На початку 1994 року, пам'ятаю, – бо це було зразу після захисту докторської дисертації, – я почув у радіоінтерв'ю академі-

ка Бориса Євгеновича Патона рекомендацію молодим ученим (мені тоді був 31 рік) змінювати тематику досліджень кожні сім років. Було приємно це почути, бо я зробив це за п'ять – між кандидатською в гідродинаміці (1988) і докторською у чистій математиці (1993). Однак, переповівши слова Бориса Євгеновича досвідченим колегам, почув від них, що я сам побачу, як дедалі важче стає «занурюватись» у нову проблематику з віком. Дійсно, як виявилось, з п'ятьма роками мені тоді пощастило. А сім років – це усереднений за наукову кар'єру «патонівський ідеал». І досягти його можливо, лише працюючи над кількома різними науковими проблемами одночасно.

Аби розповісти про ті кілька напрямів досліджень, які належать до сфери моїх особистих інтересів, відкрию текст останнього виграного групового наукового проекту, керівником якого я є. Це один із двох успішних проектів у Відділенні математики НАН України за конкурсом Національного фонду досліджень України (НФДУ) «Підтримка досліджень провідних та молодих учених».

Перший напрям має дві назви: «розв'язок нелінійної задачі Сре-тенського» (математична назва) та «двомірний математичний плаваючий садок із рибою» (інженерно-фізична назва). «Замовниками» цих міждисциплінарних досліджень є мої норвезькі колеги із Центру досконалості (*big* англ. «*Centre of Excellence*») AMOS (Centre for Autonomous Marine Operations and Systems) Норвезького університету природничих наук і технологій (NTNU). Про центри досконалості я розповім далі. Вони попросили мене ще раз поглянути на класичну нелінійну крайову задачу з вільними границями, що описує прямокутний плаваючий бак. Їхня проблема полягала в тому, що навіть у найпростішому випадку для деяких вхідних параметрів не вдається побудувати ефективні алгоритми розрахунку сумісних нелінійних резонансних рухів баку та рідини. Над цією проблемою я почав працювати з середини 2020 року. І приємно, що вже вийшла перша (вважаю, «проривна») стаття за цим напрямом. Норвезький університет оплатив гібридний відкритий доступ у виданні «*Journal of Fluid Mechanics*», тож зацікавлені вчені можуть її прочитати.

Наведені дослідження є прикладом математичного супроводу, такої собі «швидкої математичної допомоги». Тому отримані результати оформлено так, аби їх зрозуміла відповідна цільова нематематична аудиторія. Але більшість із них можна переформулювати у вигляді математичних тверджень. Колись я чи хтось із моїх колег це зробимо. Чи навіть побудуємо абстрактну математичну теорію, для якої результати зі згаданої публікації є частинним випадком.

Другий «мій» напрям присвячено побудові подібної абстрактної теорії, але для іншої задачі. У 1990-х роках, аби описати низку екзо-

тичних фізичних феноменів, зокрема «сплющення краплі Фарадея» (теоретично був незрозумілим від 1831 року) під дією високочастотної вібрації, я ввів поняття віброрівноваги рідини (vibroequilibria). Таке математичне визначення стало можливим після розділення швидкого та повільного часу в спеціального виду нелінійних крайових задачах для диференціальних рівнянь із частинними похідними. Термін «vibroequilibria» в останні роки міцно увійшов у наукову літературу. Більше того, вказані математичні результати стимулювали низку європейських космічних експериментальних програм. У 2020 році в розмові із колегами з Ексетерського університету я дізнався, що вони мають ширший погляд на дослідження нелінійних крайових задач для рівнянь у частинних похідних методом розділення швидкого та повільного часу й навіть виграли відповідний науковий проєкт у, напевно, найпрестижнішому науковому фонді Великої Британії. Тому в рамках другого напряму планую приєднатися до тематики математичних досліджень британських колег.

Третій «мій» науковий напрям проєкту – це виклик самому собі, пам'ять про слова академіка Патона щодо необхідності частіше й радикальніше змінювати тематику досліджень. Мова йде про розвиток методів машинного навчання у математичному моделюванні за малої кількості даних (методи прихованої фізики). Це галузь, у якій я ще не маю наукових здобутків. Вважайте, початківець.

Ясна річ, мої наукові інтереси не обмежуються цими трьома напрямками. Повідомлення про один із решти було нещодавно опубліковано на сайті НАН України. Йдеться про «відкриття» кругової хвилі. Матеріал розповідає про розв'язання старої наукової проблеми – феномену азимутального масопереносу Прандтля 1949 року. Феномен Прандтля є основою технологій з вирощування протеїну в біореакторах, аерації вина тощо. Технології ці відносно старі, а от кількісно (аналітично чи числено) описати сам масоперенос марно намагаються вже багато років. Виявилось, що для цього потрібно відмовитись від класичної концепції середніх, за Лагранжем, потоків.

– Уже згадане математичне «відкриття» кругової хвилі стало можливим завдяки українсько-норвезькій колаборації. Розкажіть, будь ласка, докладніше про власний досвід співпраці з іноземними колегами. Яку роль міжнародне співробітництво відіграє у математиці в Україні та світі?

– Це дуже широка тема для обговорення. Про те, як українська наука вже багато років виживає лише завдяки колаборації із західними партнерами. Про просто катастрофічний брак коштів та шалену бюрократію в Україні. Проілюструю останню тезу прикладом. Оформити повернення коштів на відрядження в Норвегії (NTNU) – робота

максимум на 10 хвилин через сервер університету. Паперові документи (квитки, посадкові талони тощо) не просто не потрібні – вони заборонені. Тільки електронні. Нема електронних – скануй, витратиш більше часу. І остання дрібниця. Знаєте, хто перевіряє документи та першим приймає рішення про виплату? В останні п'ять років – комп'ютерний бот (штучний інтелект). Людина втручається, лише коли бот не впорався, що останнім часом трапляється дуже рідко: бот вчиться на помилках.

Але повернімося до Ваших запитань. Колись у середині 1990-х років і в 2000-х роках, коли авіасполучення між Європою та Україною було дорожчим і не таким регулярним, курсував легендарний потяг Київ – Берлін. Окрім контрабандистів тютюну й алкоголю, я майже щоразу зустрічав у ньому науковців-експериментаторів, які до пів року жили в країнах Європи, проводячи там експерименти разом із партнерами, щоб інші пів року обробляти дані та писати статті в Україні. Для математиків, та й узагалі чистих теоретиків у інших галузях, це нетипово. Але науковці Інституту математики НАН України також були пасажирами цього легендарного потяга. І їздили ми здебільшого за спілкуванням із європейськими колегами (хоча гроші, які заощаджували з виплат на проживання, теж не були зайвими). Таке спілкування, сам-на-сам, чи семінарські, чи за кавою, а то і з кухлем пива давали й дають змогу відстояти свою точку зору на ту чи іншу наукову проблему. Саме у таких дискусіях народжуються проривні наукові результати.

Мій особистий довгостроковий досвід міжнародної колаборації почався, фактично, із також легендарного (бо тривав понад тринадцять років, з 1997 по 2011, «переживши» три продовження) проекту Німецького дослідницького товариства (Deutsche Forschungsgemeinschaft, DFG). Як на мене, отримувати схвальні відгуки рецензентів на продовження нам допомагав передусім міждисциплінарний характер досліджень. Це була колаборація математиків із різних галузей, в якій, зокрема, академік Іван Олександрович Луковський уособлював математичні проблеми механіки, академік Володимир Леонідович Макаров – обчислювальну математику, я, тоді молодий доктор наук із математичної фізики, – математичну фізику, а наші німецькі партнери (професори Клаус Баєр, Матіас Гюнтер, Іван Гаврилюк, Мартін Герман, Георг Бадер, Петер Кункель та інші) працювали у галузях функціонального аналізу, теорії наближення, обчислювальної математики та диференціальних рівнянь.

Робота над цим проектом стала важливим досвідом для мене як ученого та наукового менеджера. Я не кажу про вміння писати успішні великі та складні за формою міжнародні наукові проекти – це оче-

видно. Просто наведу, з Вашого дозволу, кілька цифр. Завдяки цьому проекту понад 20 учених-математиків із різних установ НАН України й університетів мали змогу поїхати до Німеччини та знайти своє місце у міжнародній співпраці. Німецькому дослідницькому товариству ці поїздки коштували близько 500 тисяч євро (з урахуванням курсу німецької марки), а якщо врахувати кошти, що виділялися німецькій стороні, то бюджет майже сягнув 1 мільйона євро.

Фактично, цей легендарний проект за форматом, масштабом фінансування та кількістю учасників близький до аналогічних у рамках європейських програм наукового обміну FP6, FP7 і HORIZON 2020, хіба що його виконання розтяглось у часі, що, на мою думку, навіть краще. Але вказані європейські програми стартували із 2002 року. Тож, коли більшість науковців в Україні тільки набували досвіду подання заявок на участь у подібних міжнародних (європейських) програмах, я вже мав п'ятирічний досвід їх організації, менеджменту та виконання. І, відверто кажучи, у 2002 році цей формат міжнародної колаборації особисто для мене вже став малоцікавим: занадто вузькі рамки, розривний характер зустрічей із закордонними колегами, важко зосередитися на принципово нових наукових напрямках тощо.

Моє невдоволення відчули й німецькі партнери. За порадою професора Мартіна Германа з Університету Єни імені Фридриха Шилера (Friedrich-Schiller-Universität Jena, FSU) я подав заявку та здобув, напевно, найпрестижнішу в Європі стипендію фонду Александра фон Гумбольдта. Так у 2003–2004 роках я надовго затримався в Університеті Єни, залишаючись працювати над проектом DFG як науковий менеджер та один із керівників. У науковому плані тривале перебування в Єні теж було важливим. Завдяки перманентним контактам із професором Германом я зміг зосередитися на новій для себе галузі – обчислювальних методах у нелінійному аналізі.

Перебуваючи у FSU, я активно співпрацював зі вченими NTNU, плідні творчі контакти з якими було встановлено ще 1998 року. У 2002 році мої норвезькі колеги виграли величезний державний грант на заснування Центру досконалості CeSOS (Centre for Ships and Ocean Structures). На початку нашої розмови я обіцяв докладно розповісти про те, що таке центри досконалості для університетів. На побутовому, дуже спрощеному рівні це практично означає, що низка провідних країн, не задоволених розвитком науки в університетах, запропонували їм (університетам) визначити наукові галузі, в яких вони мають найбільші здобутки, та подати запити на створення відповідних наукових центрів. Засновники центрів отримують державне фінансування, зокрема аспірантські й постдоківські (для науковців зі ступенем доктора філософії (PhD), кандигата наук) стипендії, звіль-

няться від рутини викладання на низькому рівні та можуть зосередитися на науці й роботі з талановитими молодими вченими. Фактично, це умови роботи в такій собі ідеальній академії наук – із тією лише різницею, що за п'ять років (як, наприклад, у Норвегії) центр мусить пройти жорстку міжнародну оцінку, а за десять, якщо хоче зберегти такі ж умови роботи, – подати заявку на заснування заново, проте зі ще жорсткішою міжнародною оцінкою та за новою тематикою (пригадуєте, на думку Бориса Євгеновича, десяти років більш ніж достатньо, щоб опанувати таку тематику). Є ще й специфіка для розвинених країн. Після затвердження державного гранту на моїх очах шикувалася черга зі спонсорів, які теж бажали фінансувати наукові центри. І це не було просте меценатство. Спонсори «задавали тему» досліджень, мотивуючи провідних учених набирати талановитих аспірантів на виділені гроші. Тільки MARINTEK (Норвезький морський технологічний дослідницький інститут) протягом 2005–2014 років отримав, за словами його керівництва, 24 спеціалісти рівня PhD, «точково» підготовлених за роки аспірантури для роботи над актуальними проблемами цього інституту. Не меншу кількість отримали й інші. Там наукові центри тримають «руку на пульсі» індустриального розвитку країни, а підприємства отримують висококваліфікованих співробітників за доволі низькою ціною.

Ще перебуваючи в Німеччині за стипендією Гумбольдта, я отримав пропозицію – контракт (full-time) на позицію візитуючого професора в «ідеальній академії наук» CeSOS. І, як важливий бонус, цікаві й нові для мене прикладні задачі та виклики.

Відтоді співпраця триває. Десятилітній термін Центру досконалості CeSOS сплив, його замінив AMOS. З'явилися нові цікаві задачі й виклики, справді хороші роботи, дуже добре цитовані спеціалістами, книга-бестселер «Sloshing», яку перекладено китайською. Чимало з цих наукових праць доступні через мою Інтернет-сторінку.

Я можу довго розповідати про спільні наукові проекти з французькими й італійськими вченими. Крім того, я маю чинний контракт візитуючого професора із департаментом математики Університету Сурею у Великій Британії (хоча, гадаю, вони мене скоро «забавлять» (усміхається), якщо вже цього не зробили, бо востаннє я був у них із візитом, здається, 2017 року). Там працює мій колега і друг – видатна постать у прикладній математиці, професор Том Бриджес. До речі, саме під час першого візиту до нього я по-справжньому відчув, що таке «конвеєр наукових візитів». Усе було так, як ще 1991 року описував радянський та ізраїльський фізик Марк Азбель в «Єрусалимських роздумах» (цю стару, але дотепер актуальну статтю дуже раджу прочитати молодим ученим, які хочуть почати плідне міжна-

родне співробітництво, та й узагалі зрозуміти, що таке справжня наука!). Я приходив до університету рано вранці, а в готель повертався пізнього вечора. Навіть під час обіду та вечері в ресторані (зрозуміло, за рахунок університету) зі мною спілкувалися про новопосталі відкриті проблеми, до яких я можу докластися чи допомогти з ідеєю. Я не міг клонуватись, а мої співрозмовники змінювалися по черзі. І запитання не повторювалися. Хоч я також запозичив багато нового від англійських колег. Особливо щодо варіаційного формалізму в крайових задачах вихорової рідини, який пов'язується із шостою проблемою тисячоліття, як її означив Математичний інститут Клея. Але, напевно, реалізую ці ідеї вже у «наступному житті».

Повернімося до питання про роль міжнародного співробітництва у математиці й науці загалом. Тут, на жаль, немає однозначної відповіді. Для кожної країни, людини та галузі науки ця роль різна. Про експериментаторів я вже сказав. В українській математиці знаю вечних, для яких міжнародна співпраця – це джерело додаткового фінансування, що також важливо за нинішніх скрутних умов. Є й такі, яким просто подобається їздити з доповідями задля рекрутування інших учених до досліджень за їхньою тематикою. Мені здається, що більшості справжніх учених колаборація дає доступ до нових задач, обміну ідеями й отримання завдяки цьому спільних результатів, неможливих без колаборації. Саме тому міжнародний контекст важливий не тільки для «бідних» країн, а й для «заможних».

Нарешті, зовсім особисте. Мені не дуже цікава колаборація без міждисциплінарного контексту. Не обов'язково між різними науками, а бодай із представниками різних галузей математики. Але то просто моя «зона комфорту».

– У нашому суспільстві поширена думка, ніби математика не потрібна у повсякденному житті тим, хто нею безпосередньо не займається. Чи правда це? З якими міфами про математику Ви стикалися? Як можна їх спростувати?

– Так, це правда. Така думка дуже поширена. Відкиньмо проблему повільного знищення шкільної математичної освіти, зменшення математичної складової на інженерних факультетах і навіть профільних педагогічних. Про ці проблеми й тенденції, чому так відбувається і як це породжує думку, що математика не потрібна у повсякденному житті, докладно та дуже ґрунтовно може Вам доповісти чудова математик та моя однокурсниця, старший науковий співробітник нашого інституту кандидат фізико-математичних наук Ірина Єгорченко. За словами професора Преображенського (персонаж повісті Михайла Булгакова «Собаче серце»), «я за поділ праці». Моя відповідь буде лише блідю й недосконалою копією того, про що Вам розповість Ірина.

Тепер наведу цікавий приклад одного сучасного міфу про математику. Я зустрів і зустрічаю дедалі більше людей, зокрема абітурієнтів (і не тільки в Україні), які думають: «Мені цікава математика, але там уже все зроблено й на все можна знайти відповідь у підручниках ... краще займатися комп'ютерними науками чи біологією..., там дійсно багато перспектив, і цікаву роботу потім знайти легше».

Комп'ютерні науки й науки про життя – це сучасний тренд у розвинених країнах. Але звідки виникає думка, що «в математиці все зроблено»? У мене є своя версія. І вона частково пов'язується з тим, як математику популяризують учені.

Існують дві форми комунікації науковців із громадськістю, суспільством, громадянами. Вони становлять те, що можна назвати популяризацією у широкому сенсі. Мета першої форми – донести до суспільства у доступній формі надсучасні наукові результати, нерозв'язані актуальні наукові проблеми, власне, пояснити, на що потрібні й витрачаються кошти платників податків і чому ці дослідження важливі для громадян, країни та людства загалом. Готуючи для сайту Академії матеріал про «кругову хвилю», я намагався використати здобутий за кордоном досвід з організації такої форми популяризації математики. Вагоміші приклади – звіт Центру досконалості AMOS та річні звіти НАН України.

Завданням іншої форми комунікації є перетворення «нудних» наукових знань на цікаві історії через, наприклад, науково-фантастичну літературу, різноманітні вікторини, олімпіади, конкурси тощо. Один із моїх норвезьких аспірантів часто брав участь у популярних наукових телевізійних програмах. Пригадую, на одній із них він демонстрував дітям, як працює високошвидкісна відеокамера, що використовується в експериментальних дослідженнях. Але про самі дослідження – ані слова. Як і про принципи роботи камери. Наша інститутська наукова молодь організовує математичні олімпіади, традиційно проводить свята на день математика (числа π), де школярі беруть участь у математичних іграх тощо. Це також належить до другої форми комунікації (популяризації).

Якщо превалює друга форма популяризації, то, дійсно, може скластися хибна думка, ніби красиві ігри, вікторини, олімпіади тощо і є сучасною математикою. Тому потрібен баланс між згаданими двома формами, аби не виникали міфи про математику. Балансу цього не завжди дотримуються не тільки в Україні, а й в інших країнах...

Отже, як впливає з наведеного прикладу, глибинна природа міфів може бути дуже складною. Їх не спростувати фразою, лекцією чи організацією присвячених математиці заходів. Потрібна системна

робота і строгий баланс між різними формами спілкування із суспільством. І це проблема світова.

– Наскільки математика популярна серед української молоді? Як, на Вашу думку, слід популяризувати цю галузь серед школярів і студентів, зокрема щоб залучати до неї нове покоління дослідників?

– Частково я вже відповів на це питання. Так, популярність падає. Так, це світова тенденція, але в Україні це, на жаль, є загрозою національній безпеці. Ясно, що без адекватного фінансування математичної галузі й науки загалом принципів позитивних зрушень годі очікувати. І я пояснив на прикладі, чому популяризація математики на шкільному рівні не сильно допоможе. То що ж ми можемо реально зробити? Я б підкреслив тут слово «реально», бо часто при спілкуванні з українськими колегами чую якісь ідеалістичні плани та перспективи, ніби якийсь лист чи звернення зможе радикально змінити ситуацію. Не враховуючи реалій буття.

Оскільки це світова тенденція, то погляньмо на сайти провідних університетів світу чи хоча б сайт мого рідного мехмату КНУ, на те, як там намагаються, скажімо, залучити талановиту молодь.

Загальносвітовий тренд – це здебільшого перерозподіл талановитої молоді з наук «старих і нецікавих», з її погляду, у науки, які «популярні та стрімко розвиваються» (наприклад, комп'ютерні, науки про життя, фінанси). Саме тому на мехматі з'явилися такі спеціальності як «комп'ютерна математика», «актуарна та фінансова математика», «математична економіка та економетрика». Формальна відповідь на виклики часу. На моє глибоке переконання, привабити талановиту молодь у математику на академічному рівні можливо, лише розвиваючи міждисциплінарний контекст наукових досліджень, аби вони крізь призму математики бачили те, що зараз популярно. Це стратегічна задача.

Треба бути реалістом. Математичний бум кінця XIX – початку XX сторіччя відбувся не тому, що молодь прагнула тоді займатися математикою. Справжнім трендом була інженерія (подивіться, які зарплати були в інженерів на початку XX сторіччя, порівняно з іншими найманими працівниками, – відносна різниця, ну, прямо як зараз для програмістів!), опанувати яку можна було, лише засвоївши математику. Так само і зараз. Змінилися тільки назви трендів.

Окреме питання – як спонукати талановиту молодь вступати до аспірантури на математичні спеціальності. Тут дві основні проблеми: фінансова (на аспірантську стипендію вижити неможливо, отже, будьмо відверті, практично всі математики-аспіранти підробляють деінде) та перспектива подальшого працевлаштування (лише неве-

лика частина випускників математичної аспірантури бачать себе на академічній роботі).

Оскільки змінити тарифну сітку практично неможливо, то розв'язання першої проблеми, на мою думку, полягає у поступовому переході до грантової системи оплати дослідницької роботи аспіратів. Майже всюди у світі так. Керівник подає наукову грантову заявку, а вигравши її, знаходить і наймає аспіранта, який вчиться й одночасно виконує дослідження за виграною науковою темою. Перший крок до подібної грантової системи Академія вже зробила, оголосивши конкурс постдоків. Бажано поширити це у прийнятній формі на аспірантів. Ну, і є НФДУ, в проектах якого також можна передбачити додатково участь аспірантів. Я це зробив у своєму проєкті. Подивимося, що з того буде.

Щодо подальшого працевлаштування. Тут знову два аспекти. Перший: якщо тема досліджень пов'язується із ІТ-індустрією, біотехнологіями, фінансами, є хороша перспектива знайти не академічну роботу в Україні. Повертаємося до міждисциплінарного аспекту в аспірантських темах. Друге: якщо аспірант хоче мати академічну роботу за кордоном, то його з перших днів треба залучати до роботи над міжнародними проєктами, а також бажано знайти для нього другого закордонного наукового керівника.

– Яким бачите майбутнє Інституту математики? Які напрями розвиватимете у разі свого обрання?

– Якщо коротко, то майбутнє Інституту математики бачу світлим, мирним та багатим (усміхається). Розвивати хотів би всі-всі напрями, що вже існують, але додати б іще міждисциплінарних. Три коментарі до бачення майбутнього та нові актуальні напрями все ж додаю.

Перше: науковий авторитет установи. Інститут математики НАН України – це «меморіальна» наукова установа (вітрина Академії) із, фактично, столітньою історією (хоча формально його засновано 1934 року). Вона мала лише (!!!) шість директорів. Усі вони – непересічні особистості, суперучені, засновники й лідери наукових напрямів. Це академіки Дмитро Граве, Михайло Лаврентьєв, Олександр Ішлінський, Борис Гнеденко, Юрій Митропольський та Анатолій Самойленко. *Primum pop posere!* (з латини: «Передусім не зашкодь!»). Хотілося б не зіпсувати цей список! «Наукове ім'я» сьомого директора має бути гідним «великої шістки». Це сильний стримувальний чинник для претендентів, чи не так? Чи є сміливці, які прилюдно оголосять себе рівними цим видатним науковцям? Рівними бодай на момент обрання цих видатних постатей директорами? Провідні вчені інституту, які брали активну участь у виборах директором тоді ще члена-кореспондента Анатолія Михайловича Самойленка у 1987 році

(при заступниках директора академікові Володимирі Семеновичу Королюку та членові-кореспондентові Івані Олександровичу Луковському, які допомагали йому очолити інститут), запевнили мене, що, з урахуванням віку інших лідерів наукових напрямів інституту, я не стану «казусом в історії», а інститут не втратить свого реноме. Вони й висунули мене у кандидати.

Друге: мир, спокій та продуктивна наукова робота. Ми – унікальна наукова установа, де ніколи (принаймні від 1984 року, коли я прийшов сюди працювати) не існувало поняття груп лояльності до дирекції, каст, а на ключові наукові посади завжди обирали найкращого з кандидатів, зважаючи насамперед на його наукові здобутки. Для академіка А.М. Самойленка я не був зручним – надто незалежний з будь-якого боку, особливо з огляду на мої міжнародні зв'язки. В останні роки він дуже нервово сприймав мої довгі закордонні відлучки. Підписуючи черговий наказ на відрядження, щоразу додавав щось на кшталт: *«В Україні для тебе значно кращі перспективи!»* Іноді ми трошки конфліктували. Але це ніяк не впливало на його ставлення до мене. Бо наука та людяність – понад усе. А тут проблем не було. Взаємно. Моя глибока повага до Анатолія Михайловича базувалася не на тому, що він останніми роками вчасно забезпечував співробітників зарплатою (у 1990-х роках тримісячна затримка зарплати була нормою), а на його науковому авторитеті та людських якостях. Наука та моральні (людські) якості співробітників – це академічні інваріанти здорового академічного інституту. Ці два критерії є прозорими й об'єднують людей. Їх за будь-яку ціну треба зберегти як такі, що визначають життя установи. Інакше жодні необхідні реформи провести не вдасться. А реформи, глибша інтеграція у світовий науковий простір разом із молодими вченими інституту дуже потрібні.

Третє: реформування інституту в контексті запитання про нові напрями досліджень. Як і всі установи Академії, наш інститут задирається від браку фінансових ресурсів. Будьмо реалістами (я сьогодні вже вкотре використав поняття реалістичності в діях): суттєвих нових надходжень у рамках прямого бюджетного фінансування не буде. На нинішньому етапі розвитку Академії це означає необхідність активізації зовнішньої грантової діяльності (і це вже робиться) і, як я вже говорив, розширення міждисциплінарних досліджень. Мені здається, що нове керівництво Академії розуміє це, бо саме за його сприяння у 2021 році, нарешті, з'явилася перша цільова програма, в якій установи Відділення математики НАН України можуть брати повноцінну участь. Хотілося б також мати інші цільові програми, що передбачають рівноправне залучення до них математиків.

– Як війна вплинула на Ваше життя, наукову діяльність?

– На жаль, передбачення, якими я поділився у довоєнному 2021 році, реалізувалися на практиці. Війна внесла свої негативні корективи, але не стала вирішальним чинником, оскільки хвороба була стара. Що ж стосується труднощів, втрат, можливостей і здобутків за останні роки, то я б поділив ситуацію на умовні три періоди.

Перший період – це початок війни, 2022 і початок 2023 року, коли війна та бойові дії визначали життя і працю математиків нашого інституту. За кордон виїхали перспективні дівчата-математики (боюся, більшість із них втрачені для України). Ракетна атака зробила «сліпим» старовинне приміщення інституту: ми втратили понад 100 вікон, більшість – із рамами. Суттєво втратили й у фінансуванні. Дякую всім-всім, хто допомагав інституту в ці часи за понад 500 тис. грн благодійних внесків на ремонт і відновлення, особливо Фондові Саймонса у найскрутніший момент. У 2022–2025 роках ми отримали від «Simons Foundation» майже \$ 1 млн підтримки, що дозволило стабілізувати індивідуальний рівень працівників інституту хоч і на мізерному, але не редукованому через бюджетне недофінансування вигляді.

Під час другого періоду (це майже весь 2023 рік) нормалізувалась робота інституту взагалі. Близько 20 % відсотків науковців інституту працювали за програмами академічної мобільності за кордоном, але ситуація стабілізувалась й саме того року відновилися традиційно високі формальні наукові показники. Та й я зміг як поїхати почитати цикли лекцій в Італії і Норвегії, так і започаткувати нові контакти в інших країнах. Здавалось, що всупереч війні математики є корисними і спроможними одночасно допомагати військовим (зазвичай консультаціями) й активно розвивати міжнародну співпрацю. Проте наприкінці 2023 року почалася симуляція бурхливої діяльності від усіх можливих органів державної влади, пов'язаних і не пов'язаних із науковою та освітянською сферою. Відтоді немає ні дня, ні години для відпочинку, а сама лиш нескінченна боротьба з вітряками. Бо руйнують не просто сучасну науку, але й математичну освіту. Та це для окремої розмови...

**КИЇВСЬКИЙ АКАДЕМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ОТРИМАВ
ВІД НІМЕЦЬКИХ ПАРТНЕРІВ
УНІКАЛЬНЕ НАУКОВЕ ОБЛАДНАННЯ**

**ОЛЕКСАНДР
КОРДЮК**





СПІВПРАЦЯ КАУ З ІНОЗЕМНИМИ ПАРТНЕРАМИ

езадовго до початку повномасштабного вторгнення РФ в Україну за проектом UKRATOR Київський академічний університет (КАУ) отримав унікальне обладнання з Інституту фізики твердого тіла та матеріалів Асоціації Ляйбніца (IFW Dresden) – оптичну піч для вирощування монокристалів і обладнання для підготовки зразків, а також гелієвий кріостат із надпровідним магнітом з полем на 16 тесла, що є рекордним для України. Оптична піч уже зібрана й готова до роботи, інсталяція кріостату ще триває. Це обладнання є внеском німецьких колег у розбудову Спільної українсько-німецької лабораторії з дослідження квантових матеріалів та Центру квантових матеріалів та технологій КАУ, що функціонує на базі Інституту металофізики імені Г.В. Курдюмова НАН України та має стати центром спільних досліджень для інших академічних інститутів і центром концентрації наукової молоді. Про українсько-німецьке наукове співробітництво на прикладі КАУ пресслужба НАН України поспілкувалася з директором КАУ академіком Олександром Кордюком.

– Олександре Анатолійовичу, як розпочалася співпраця КАУ з німецькими партнерами?

– В IFW Dresden я провів 10 років, тож наша співпраця почалася доволі давно. Спільний проєкт КАУ та IFW Dresden з дослідження топологічних матеріалів UKRATOR з'явився завдяки науковому директору IFW Dresden – доктору, професору, а віднедавна ще й іноземному членові НАН України Бернду Бюхнеру. Саме він ініціював подання цього проєкту на конкурс Федерального міністерства освіти та наукових досліджень Німеччини (Bundesministerium für Bildung und Forschung, BMBF). Мета проєкту UKRATOR – підтримка науки в Україні, обсяг фінансування становить близько 1 млн євро.

Та оскільки німецький уряд не має права витратити кошти платників податків за кордоном, було вирішено спрямувати лівову частку бюджету проєкту на програму стажувань українських студентів, аспірантів і докторантів у Німеччині. Від початку було заплановано 12 стажувань для студентів



Олександр Кордюк із випускниками КАУ: зліва направо – Микола Ковбаса, Павло Ханенко, Олександр Кордюк, Ірина Ковальчук, Анастас Романський, Максим Золотуха

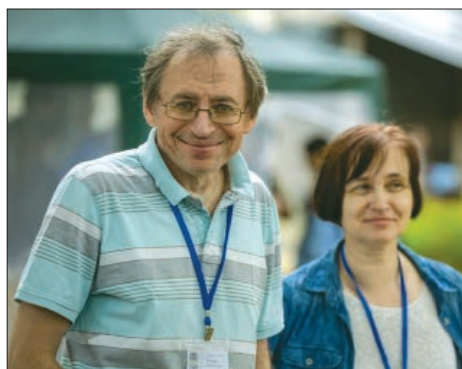
(тривалістю по пів року), шість – для аспірантів (по два роки) і ще шість – для докторантів (по півтора роки). 2021 року ми відібрали стажерів уже вчетверте. Головна умова: вони мають захищати свої дипломні роботи і дисертаційні дослідження в Україні.

Як це працює, наприклад, зі студентами? На першому курсі магістратури студенти КАУ навчаються, слухають курси на кафедрах, на другому курсі – 100 % свого часу присвячують науковим дослідженням. Так от, протягом половини другого курсу стажери виконують дослідження у Дрездені. В ідеалі це має бути спільне дослідження за тією ж темою, що й у Києві, тільки на іншому обладнанні. Хоча насправді іноді доводилося дещо коригувати теми робіт, але напрям загалом лишався незмінним.

Проєкт UKRATOR є чотиристороннім: крім КАУ та IFW Dresden, у ньому також беруть участь Технічний університет Дрездена (TU Dresden) і Національна академія наук України. Виконуючи дослідження на базі IFW Dresden, українські студенти й аспіранти з КАУ та інших провідних українських університетів, зокрема Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника тимчасово вливаються у студентську програму Технічного університету Дрездена.

– Чи задоволені студенти і КАУ цим проєктом?

– Так, дуже задоволені, і ми і студенти! Для студентів ці стажування дали цінний досвід занурення у інтенсивну наукову роботу в сучасних дослідницьких лабораторіях, на європейських дослідниць-



ких інфраструктурах, наукового життя – участь у семінарах, конференціях, написанні статей. Для КАУ – це поглиблення міжнародної співпраці і, мабуть головне, практичне відпрацювання ефективних підходів до організації освітньо-наукового процесу в умовах такої співпраці – перетворення відтоку мізків у циркуляцію.

– Чи відстежуєте долю випускників КАУ? Скільки з них залишається в науці, зокрема в академічних установах?

– Звісно. Наприклад, доля наших стажерів UKRATOR першого року склалася по-різному. Двоє випускників одразу вступили до аспірантури в Україні – Павло Ханенко потім виїхав за кордон, а Микола Ковбаса залишився в Інституті фізики напівпровідників імені В.Є. Лашкарьова НАН України (його науковий керівник – завідувач фізики і технології низьковимірних систем цього Інституту член-кореспондент НАН України Федір Сизов). Ірина Ковальчук (зараз Путченко), після декретної відпустки також повернулася в науку, вступила до аспірантури КАУ та навчилася вирощувати чудові монокристали на німецькій установці, інстальованій в Києві. Цікаво, що ще під час стажування в Дрездені Ірині вдалося синтезувати новий матеріал, PtBi₂, який став одним з найбільш перспективних квантових матеріалів, що зараз активно досліджуються в усьому світі, а Ірина вже стала співавтором багатьох публікацій, зокрема в журналі Nature 2025 року.

Стажери другого року не змогли вчасно повернутися додому через пандемію, тож було вирішено продовжити їхнє стажування, після якого вони вступили до аспірантури у Дрездені й у такий спосіб вирішили для себе проблему подальшого навчання. Однак стажер-аспірант Володимир Безгуба провів за цією програмою два роки в лабораторіях у Дрездені та повернувся до КАУ, захистив кандидатську дисертацію, очолив одну з лабораторій КАУ та викладає новим студентам. Як і Олег Фея, який стажувався в Дрездені у якості постдока,

а зараз викладає в КАУ курс з розрахунків електронної структури, дуже популярний серед студентів.

Ще один яскравий приклад – Віра Шита, випускниця 2020 року. Віра прийшла до КАУ з КПІ і була дуже активною студенткою. За проектом UKRATOR вона стажувалась у Німеччині вже на першому курсі магістратури. Їй було нелегко виконувати дослідження за кордоном і одночасно дистанційно слухати лекційні курси в Інституті теоретичної фізики імені М.М. Боголюбова НАН України. Та, зрештою, така напружена праця дала позитивні плоди. Віра ще під час стажування опублікувала кілька статей, зокрема у *Physical Review Letters* – найкращому науковому журналі з фізики. Загалом за результатами проекту було опубліковано більше 40 статей.

– Чи матиме проєкт UKRATOR продовження?

– Безумовно. Українські студенти дуже добре себе зарекомендували в Німеччині, німецькі партнери задоволені співпрацею і готові продовжувати фінансувати такі студентські візити навіть із власних коштів IFW Dresden. Крім того, уряд ФРН запустив нову програму українсько-німецьких наукових проєктів “Core of Excellence”, за якою наша співпраця отримала продовження як проєкт GU-QuMat – Українсько-німецький центр квантових матеріалів.

Але і поза такими проєктами німецькі колеги готові вкладатись у розвиток цього Центру, зокрема передаючи обладнання. Кілька установок ми вже отримали від них як гуманітарну допомогу.

– Чим цікаве це обладнання? Які дослідження можна на ньому проводити?

– Фундаментальні дослідження певних фізичних властивостей, наприклад надпровідності, передбачають експериментальну перевірку гіпотез і теорій. Для цього потрібні високоякісні монокристали, адже тільки на монокристалах можна вивчати електронну структуру речовини і робити висновки про те, наскільки ця електронна структура відповідає пропонованим моделям, розрахункам. Коли з’являються нові матеріали на кшталт залізних надпровідників або високотемпературних купратів, дослідники чекають нових монокристалів, на яких можна вивчати не інтегровані, а конкретні характеристики. Вирощувати масивні монокристали з найрізноманітніших сполук дає змогу спеціальне оптичне джерело нагрівання – оптична піч, яку нам і подарували німецькі колеги. Її використовували передусім для вирощування високотемпературних надпровідників та інших оксидів.

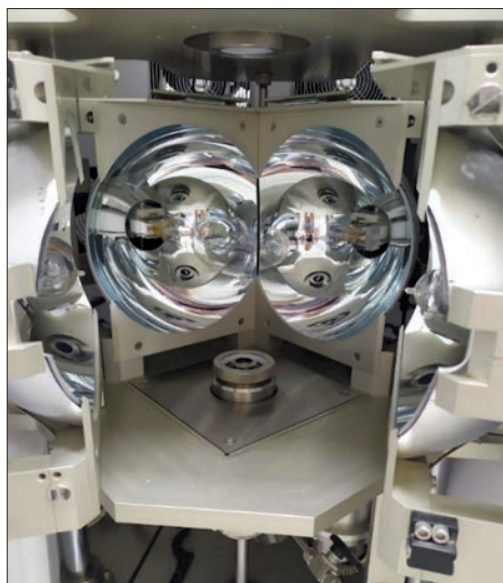
Ця оптична піч оснащена двома еліптичними дзеркалами: в одному фокусі стоять потужні люмінесцентні лампи, в другому – знаходиться ділянка розплавлення і формування стержня (завтовшки з

олівець) із того чи іншого матеріалу, на кінець якого ставлять «затравку», з якої у стержні, що повільно обертається (впродовж дня чи тижня), виростає в монокристал. Завдяки цій установці можна виростити монокристали, які важко отримати іншими методами, – наприклад, монокристали з широкого класу багатокомпонентних квантових матеріалів. Хоча це навіть і не установка, а цілий комплекс для вирощування монокристалів, куди входить ще й гідравлічний прес, за допомогою якого пресують уже згадані стержні.



Оптичну піч колеги з IFW Dresden збиралися передати нам іще 2018 року, але ми спочатку відмовлялись, бо, по-перше, тут бракує фахівців, які могли б на ній працювати, а по-друге, вона потребує доволі коштовних для нас витратних матеріалів, зокрема ламп і кварцових трубок. Другу проблему вже вирішено – витратні матеріали німецькі колеги теж нам подарували. Щодо першої, то зацікавлених студентів ми вже знайшли, а старших спеціалістів іще шукаємо.

Інша установка – криостат, призначений для дослідження матеріалів у високих магнітних полях. Адже що вище магнітне поле, то



більше можна дізнатися про матеріал. У нашому випадку надпровідний магніт дозволяє підняти поле аж до 16 тесла. Для України це рекордне значення, подібного обладнання у нас ніде більше немає, адже використання надпровідних магнітів потребує рідкого гелію, місця вироблення якого в Україні можна порахувати на пальцях однієї руки.

— Як на Ваше життя і наукову діяльність вплинула війна?

— Вплив, звісно, є, але нам поки щастило і руйнування інфраструктури нас поки оминули, тому негативний вплив ми відчуваємо переважно через людей та відключення електроенергії. Маю на увазі найперше вплив на психічний стан колег і особливо студентів. Тому спочатку в нас була мета якнайшвидше повернутись до звичного режиму роботи, викладання. Зате потім небезпека обстрілів і відключення електроенергії сприймались більше як виклики. Негативним чинником є вимивання молоді за кордон. Сильно зменшилася кількість вступників до українських університетів, і це особливо болюче відчувають фізичні й інженерні факультети. З іншого боку, дуже добре, що аспірантура дає відстрочку від мобілізації. Певний притік молоді, особливо на ті ж фізичні й інженерні спеціальності, є дуже важливим для розвитку технічного потенціалу України. Заборона вільного виїзду за кордон, звісно, вплинула на конкретні міжнародні проекти. Наприклад, нам не вдалося зробити особливий надпровідний кубіт, який ми планували використати як високочутливий сенсор за проектом програми НАТО «Наука заради миру». Чи завершити програму стажувань за проектом UKRATOR. З іншого боку, ці гроші дозволили надати тимчасову підтримку значній кількості наших науковців, які на початку великої війни виїхали до Німеччини як біженці, але змогли продовжувати наукову роботу і потім переважно повернулись назад в Україну.

Розвитком UKRATOR став новий проект уже в межах програми BMBF (від 2025 року це BMBFR – Федеральне міністерство досліджень, технологій та космосу Німеччини) «Cores of Excellence», GUMat, мета якого – створення в Києві Українсько-Німецької лабораторії з дослідження квантових матеріалів, на базі якої ми плануємо створити центр колективного користування приладами та ключову державну лабораторію. Зараз це дає і суттєве фінансування для нашої молоді, яка працює в Україні, і нове обладнання. Наприкінці 2024 року ми отримали від німецьких колег систему високовакуумного магнетронного напоршення, і вже придбали новий інноваційний спектрометр, який перевеземо до Києва 2026 року. Але головне – це розвиток міжнародної співпраці на новому рівні. І це є центром конденсації для молоді.

Взагалі від початку повномасштабного вторгнення багато наших колег-науковців не тільки питають, чим допомогти, а й пропонують конкретну допомогу. Наприклад, колеги зі швейцарського Інституту Пауля Шеррера (Paul Scherrer Institute – PSI) запропонували побудувати в Україні Східноєвропейський синхротрон. Цю ідею підтримала Ліга європейських фотонних джерел на основі прискорювачів (LEAPS), яка об'єднує 19 найбільших європейських експериментальних інфраструктур – синхротронів і лазерів на вільних електронах. Залишилось знайти 400 млн євро. Але маємо цю важливу підтримку, і як перший крок – проєкт української експериментальної лінії MAVKA на польському синхротроні SOLARIS. PSI вже передав для цього проєкту основний елемент – ондулятор, а також інші прилади вартістю понад 1 млн франків, а Швейцарський фонд наукових досліджень надав на його інсталяцію ще 1,5 млн. І це, знову ж таки, дуже важливо для розвитку й української науки, і міжнародної співпраці, і як центр конденсації молоді. Керівництво країни мало би усвідомлювати важливість технічної освіти і природничих наук для обороноздатності й нормального розвитку економіки. Поки я не бачу реальних кроків у цьому напрямі, але певен, що без цього не обійтися. Зате маємо очевидне підвищення національної гордості і, як наслідок, гуртування українців за кордоном, особливо українських науковців. Це, безумовно, позитивно для розвитку майбутньої співпраці, яка стимулюватиме і підтримуватиме розвиток науки в Україні.

**«АНТАРКТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ –
ЦЕ ВНЕСОК У МАЙБУТНЄ,
У ПРЕСТИЖ І ЕКОНОМІКУ КРАЇНИ»**



**АННА
СОІНА**



29

«АНТАРКТИКА НЕ ПРИВАБЛЮЄ ВИПАДКОВИХ ЛЮДЕЙ – ТУТ ЗУСТРІЧАЄШ ЛИШ УНІКАЛЬНИХ ОСОБИСТОСТЕЙ»

квітня 2021 року додому повернулася 25-та Українська антарктична експедиція (УАЕ), яка перебувала на крижаному континенті понад рік. Про життя та роботу на Українській антарктичній станції «Академік Вернадський» і поза нею Пресслужба НАН України розпитала учасницю експедиції, провідного інженера-дослідника відділу радіофізики геокосмосу Радіоастрономічного інституту НАН України Анну Соїну.

– Пані Анно, якими дослідженнями Ви займались у Радіоастрономічному інституті до експедиції і чи плануєте продовжити їх? Розкажіть, будь ласка, про напрями і результати своєї наукової діяльності.

– До сфери моїх наукових інтересів належить пошук тижневої циклічності, або вікенд-ефекту, в різноманітних параметрах довкілля. Що ж це таке? Як відомо, є низка природних циклів: зміна пор року, дня й ночі, 27-денний сонячний та 28-денний місячний цикли, 11-річний сонячний і багато інших, – але в останні десятиріччя було помічено, що деякі параметри довкілля підпорядковуються семиденному тижню, в якому можна виокремити вихідні та робочі дні. Отже, ми маємо справу з виключно антропогенними варіаціями. І якщо, наприклад, для великих міст і деяких показників поява вікенд-ефекту зрозуміла та прогнозована, то зараз дедалі частіше тижневі варіації знаходять у регіонах із мінімальним техногенним навантаженням. Перші наші роботи присвячувались пошуку вікенд-ефекту у глобальній грозовій активності, відновлюваній за даними наднизькочастотних шумів у діапазоні 5–25 Гц, отриманими на станції «Академік Вернадський». Згідно з нашою гіпотезою, важливу роль у цьому явищі відіграють атмосферні аерозолі. Згодом ми знайшли чіткі тижневі варіації у концентрації аерозолів (за даними мережі АЕРОНЕТ) у Європі, Азії, Північній Америці, а також окремо в Україні. Ці дослідження ми, звичайно, продовжуємо, бо, попри те, що інтерес світової наукової спільноти до проявів

вікенд-ефекту зростає, а робіт більшає, залишається ще чимало незрозумілих питань, які потребують ретельного вивчення.

– Як і коли Ви усвідомили, що хочете побувати в Антарктиді? Це була давня мрія чи спонтанне рішення?

– Працювати в Антарктиці я мріяла зі студентських років, саме тоді писала дипломну роботу бакалавра – якраз про вплив функціонування наукових станцій на довкілля цього регіону, – а також трохи займалася науковою діяльністю, пов'язаною зі вмістом озону над Антарктикою. Мені допомагали мій науковий керівник Юрій Моїсійович Ямпольський (член-кореспондент НАН України, головний науковий співробітник відділу радіофізики геокосмосу Радіоастрономічного інституту НАН України), Андрій Владиславович Залізівський (доктор фізико-математичних наук, завідувач відділу радіофізики геокосмосу Радіоастрономічного інституту НАН України) і Геннадій Петрович Міліневський (доктор фізико-математичних наук, головний науковий співробітник відділу атмосферної оптики та приладобудування Головної астрономічної обсерваторії НАН України). Спілкуючись із такими Вченими з великої літери, людьми, які зимували на станції або були на сезоні, важко було не «захворіти» Антарктикою. А ще були книжки: до дірок зачитувала «Антарктичну одісею» Реймонда Прістлі, історії про експедицію Роберта Скотта, Ернеста Шеклтона й інших. А коли вступила до аспірантури і прийшла працювати у відділ, де 80 % співробітників (зокрема, й мій начальник і мій учитель) працювали в Антарктиці, де на стінах усюди висіли карти цього регіону, світлини, картини, де дуже часто чуєш розповіді про зимівки та чарівні географічні назви – Мік, Стелла, Пенолла, Френч, – як тут було по вуха не закохатися в Антарктику? (посміхається).

– Як стати полярником/полярницею? Чи потрібна для цього якась додаткова підготовка? Якими навичками й фахом слід володіти, збираючись у тривалу подорож на далекий південь?

– Щоб працювати в Антарктиці, необхідне передусім бажання. Як, утім, і для будь-якої справи. Щороку Національний антарктичний центр України оголошує конкурс вакансій на зимівку. Якщо ви потрібний фахівець – просто беріть участь у конкурсі. Щоправда, науковців направляють їх установи, тож слід мати ще й наукову програму досліджень, пов'язаних з Антарктикою. Крім цього, важливий також хороший стан здоров'я, спокійний характер, комунікабельність, психічна стійкість, розуміння того, що доведеться рік жити без цивілізації та маленьким колективом, а ще потрібно буде багато працювати, не лише за спеціальністю, але й прибирати станцію, чистити сніг, брати участь у заготівлі продуктів харчування та інше.

– Чи швидко Вам вдалось адаптуватися до тамтешніх умов – погоди, освітлення, розкладу дня? Чого найбільше бракувало? Опишіть, будь ласка, свій звичайний будень і вихідний на станції та поза нею.

– Там гарна погода – не спекотно, мухи не кусають (сміється). Загалом у мене не було проблем з адаптацією. Завдяки Центру ми мали дуже комфортний одяг, на станції затишно і є все для нормального життя та роботи. Довго звикала до краси навколо: коли приходиш в «озоновий офіс», а за вікном дивовижний схід Сонця над горами або якісь надзвичайні хмари – перехоплює подих і не віриш своєму щастю, що можеш жити серед цієї краси.

Ми їхали з мінімумом речей, брали лише необхідне, тож бракувало гарного вбрання, косметики, парфумів, бо я це люблю, але воно не критичне, без цього можна щасливо жити.

Вихідних у мене не було, крім двох місяців, коли вимірювання озону не проводяться через низьке Сонце. Але й цей час я витратила на роботу – працювала над дисертацією. День завжди починався з кави, потім – вимірювання, робота, о першій – обід і спілкування з командою, знов робота й вимірювання, о сьомій – вечеря і спілкування. Щодня на станції потрібно було прибирати їдальню та кухню, ми це робили всі гуртом, дружно. Ще були чергування – денні, нічні, на кухні. Вільний час проводили по-різному – у прогулянках островом, якщо дозволяли розклад вимірювань і погода, у виїздах із біологом човником на інші острови чи материк, ввечері можна було пограти в настільні ігри, у більярд, подивитись фільм, почитати, позаїматися рукоділлям.

– В одному з відео, записаних напередодні відбуття 25-ї УАЕ з Антарктиди, Ви розповідали, що плануєте вишити картину для наступників. Вдалося?

– На жаль, ні, не встигла. Сподівалася, що матиму багато часу, але постійно було ніколи: то денне чергування, то нічне, то капусту шаткуємо, то сніг прибираємо, то куховаримо. Тому естафету довелося передати Оксані Савенко (учасниця 26-ї УАЕ, співробітниця Національного наукового антарктичного центру й Українського наукового центру екології моря, морський біолог) – вона теж трохи вишиває. Але ми всі дарували одне одному якісь подарунки на дні народження: хтось – зроблені власноруч, хтось – привезені з дому. Моєю «фішкою» були м'які подушки, зшиті з клаптиків тканини. Щоб створити їх, доводилося щоразу проходити своєрідний квест – шукати матеріал, вигадувати дизайн. Сподіваюся, хлопцям ці подарунки сподобались.

– А чи підтримують українські полярники британську традицію щотижневих урочистих обідів?

– Так, ця традиція зберігається. Раз на тиждень, у суботу, ми всі красиво одягались і накривали святковий стіл. До цього обіду черговий кухар із допомогою команди готував якісь особливі смаколики. Були у нас і пісні під гітару. Це дуже хороша традиція, вона чудово підтримує і розвантажує в умовах цілковитої ізоляції від світу. Крім цих субот, ми відзначали й українські державні свята – День Незалежності, Новий рік, День захисника України та інші. І, звичайно ж, дні народження.

– Які наукові завдання стояли особисто перед Вами на початку експедиції та чи вдалось їх виконати вповні? Які цікаві результати отримано (з того, чим уже можна поділитися з широким загалом)?

– Згідно з технічним завданням, моєю роботою було вимірювання озону за допомогою спектрофотометра Добсона. Моніторинг озонного шару на станції британці розпочали ще у 1950-х роках. Саме за даними станції «Фарадей» (Українська антарктична станція «Академік Вернадський» до 1996 року належала Великій Британії та називалась «Фарадей») було відкрито озонovu діру. На сьогодні це один із найдовших рядів даних концентрації озону, тож дуже важливо продовжувати вимірювання. Загалом, за розкладом – це від 5 до 60 вимірювань на день. Крім того, до грудня ми з колегою займались обробкою іонограм: ця робота виконувалась у рамках порівняння результатів роботи двох іонозондів – австралійського IPS-42, який давно працює на станції, та створеного співробітниками нашого відділу інноваційного і дуже сучасного макета цифрового іонозону (МЦІ). Рекордних показників не зафіксовано ні в концентрації озону (попри те, що цього року була максимальна за розміром за останнє десятиріччя озонova діра та найдовша, бо трималася майже до кінця грудня), ні у стані іоносфери. Але надалі ці дані оброблятимуться, використовуватимуться для різноманітних геофізичних досліджень і зроблять свій корисний внесок в українську та світову науку.

– Чому взагалі важливо досліджувати Антарктиду? Що вона може «розповісти» нам про минуле й, можливо, майбутнє Землі?

– Антарктика є міжнародним заповідником, тут мінімізовано локальний вплив людини на довкілля, але глобальні зміни простежуються дуже добре. Саме тут людство може простежити динаміку довгострокових змін клімату, вивчати особливості взаємодії атмосферної та космічної погодних систем, особливості руху тектонічних плит, без техногенних завад вивчати електромагнітний фон планети (Шуманівський, альфенівський резонанси й інше), досліджувати вплив геофізичних і антропогенного чинників на геосфери, «вимірювати температуру планети», простежувати зміни у магнітному полі, озонovому шарі, динамічні процеси у верхніх шарах ат-

Анна Соїна в «озоновому офісі» української антарктичної станції



мосфери (т. зв. іоносфері) та багато іншого. Про можливості наукових досліджень у цьому регіоні та задачі, що стоять перед науковцями, можна говорити годинами. Крім того, дослідження в Антарктиці – це внесок у майбутнє, у престиж країни, а також в її економіку, бо саме завдяки участі в Антарктичній програмі нашої країни, наприклад, дозволено здійснювати видобуток біологічних ресурсів (криля, риби).

Дослідження цього полярного регіону дають або у перспективі дадуть змогу значно краще зрозуміти природні процеси, а ще ступінь впливу людства на біосферу Землі та спрогнозувати його наслідки.

– Які ознаки глобальних кліматичних змін помітні саме в Антарктиці?

– За одним роком важко сказати, помітні чи ні. Але у нас, наприклад, була дуже тепла зима, акваторія майже не закривалась. Зазвичай вона замерзає, полярники можуть ходити на лижах на доволі великі відстані – до віддалених островів нашого архіпелагу. Нам, на жаль, не пощастило. Ми ходили тільки протокою Стелла і лише до сусідніх островів – Скуа та Вінтера. А хотілося побувати й на Барханах – двох островах нашої групи островів. Не вийшло. У вересні ми вирушили на Пітерман, що приблизно за 15 км від нашої станції. Що теж було дуже дивно, бо зазвичай у цей час навколо станції замерзає крига й ми не можемо виходити в океан.

Крім того, до нас доволі рано прийшли пінгвіни. Як правило, вони з'являються на Галіндезі з початком антарктичної весни – приблизно наприкінці вересня. Але торік першу групу пінгвінів (близько десяти особин) ми помітили вже в липні. У серпні-вересні вони почали обживатися – будувати гнізда. Причому умови були сприятливі: птахи могли дістатися до води і нормально харчуватись, що так само незвично для нашої місцевості о цій порі.



Сон пташеняти пінгвіна дженту

◀ Ранковий гість – футлярник – зазирає крізь люк у даху «озонового офісу»

– Як експедиція ладнала з сусідами по острову Галінгез – ссавцями і птахами? Поділіться, будь ласка, якимись цікавими спостереженнями і, можливо, курйозними випадками.

– Згідно з Договором про Антарктику, людям не можна підходити до тварин ближче ніж на шість метрів (виняток становить лише біолог, якщо це прописано в його науковій програмі). Але, звісно, коли пінгвіни будують гнізда під самою станцією, це дуже важко зробити (посміхається). Поморникам, мартинам і сивкам білим (футлярникам) теж не заборониш підлітати. Тож ми всі жили в мирі та злагоді. Антарктика – це регіон, де люди є гостями, і ми поводитись відповідно. Дуже часто, відкриваючи люк у даху для вимірів, я зустрічала зацікавленого футлярника, який зазірав до мого офісу, – отак і віталися (посміхається).

Серед курйозних випадків – візит тюленя-крабоїда, який випадково потрапив на станцію, дуже перенервував (можливо, не міг знайти виходу до води) і, в результаті, дві години носився вночі навколо станції, витоптав увесь сніг, ледь на провалився до дока в кабінет і дуже нас всіх розворохобив. Якось на виїзді ми випадково розбудили кита-горбаня. На одному з островів на мене по землі біг величезний буревісник, майже добіг, потім різко розвернувся і побіг в інший бік, я навіть зафільмувати його не встигла. Дуже допитливі молоді пінгвіни Дженту: коли я виходила у двір або на обхід, їхній молодняк, «пінгвінячі підлітки» натовпом ішли по п'ятах, а зупинялась – обступали й роздивлялися. Звичайно, ми їх не проганяємо.

Мої улюблені птахи – поморники, або скуа. Захоплююсь їхнім розумом, тим, як вони захищають свої гнізда, їхнім ставленням до людей. Якось такий птах дуже хотів відвідати станцію. Іншого разу на сусідньому острові, який і назву має Скуа, ми побачили зграю цих красенів, які відпочивали на березі озера. Я тоді сказала, що це мій рай (*посміхається*). Загалом увесь природний світ Антарктики дуже цікавий, за всіма його представниками можна спостерігати годинами, і це ніколи не набридне.

– Які стереотипи, міфи про цей континент найпоширеніші в українському інформаційному просторі? І яка вона насправді – Антарктида?

– Часто питають, чи були ми на Південному полюсі і чи ходимо в гості до інших станцій. Здається, люди вважають, що Антарктика – це щось таке маленьке, де всі вкупі, є гарні дороги, сучасний транспорт на кшталт потягів та літаків, а до полюсу рукою подати. Ще побутує думка, ніби по всьому регіону температура тримається на рівні $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, усе біле і навкруги лише сніг. Уже не кажу про переконаних, ніби в Антарктиці пінгвіни живуть поряд із білими ведмедями. Сумно, але й таких людей не бракує.

Яка ж Антарктика? Чудова та дивовижна! Вона наповнена кольорами: тут є всі відтінки блакитного та синього; гори й айсберги можуть бути золотими, рожевими, бузковими; тут величезні красиві гало, яскраві перламутрові хмари та дуже чіткі лентиккулярні, що висять над верхівками гір, наче справжні НЛО. Антарктика сповнена звуків. Вона тендітна й сувора, дуже мінлива – може порадувати сонечком і теплом, а за кілька годин засипле снігом. Саме там почувашся піщинкою, розумієш міць геологічних процесів, що відбувались і ще відбуватимуться на Землі, відчуваєш силу океану. Антарктика тепла – там я ніколи не мерзла, а ось тут постійно холодно. І ще вона не приваблює випадкових людей – тут зустрічаєш лиш унікальних особистостей.

– Які Ваші найяскравіші враження та спогади про 25-ту антарктичну експедицію та Антарктичний континент? Чи хотіли би повернутися туди?

– Найяскравіше в експедиції, звичайно, люди: наш найкращий у світі начальник Юрій Отруба, артистичний та мудрий дизеліст Юрій Юрійович Лищенко, веселий і активний адмін Євгеній Прокопчук, сміливий, талановитий та чудовий док Ігор Дейнека, Максим Білоус – поліглот і майстер на всі руки, Андрій Сопін – тихий та надійний, Олександр Салганський – людина, яка знає все про живий світ Антарктики, Вадим Жуковський – харизматичний вічний опонент, Ігор Артеменко – любитель лиж і підкорювач острова. Всі разом ми



Схід Сонця на краю Землі

пережили багато пригод і всі разом зробили зимівку, врешті-решт, гарною, унікальною та незабутньою.

Раніше, спілкуючись із полярниками, я помітила, що майже всі вони

прагнуть повернутися до Антарктики. Тепер я їх цілком розумію, бо й сама стала такою. Звичайно, я б хотіла побачити станцію та прилеглі райони ще, бо це щось рідне, своє, це другий дім.

— Відрядження до Антарктики стало поворотним пунктом у житті й кар'єрі головної героїні стрічки «Де ти поділась, Бернадетт?». А що у Вашому житті — як людини і науковиці — змінив цей більш ніж рік на станції «Академік Вернадський»? Чи з'явилися ідеї, які Ви хотіли би розвивати далі? І чи буде антарктичний досвід бонусом, наприклад, при налагодженні міжнародної співпраці й виборюванні грантів?

— Чогось я навчилася, щось ми пережили разом, якісь моменти були переломними. Але не можу сказати, щоб Антарктида кардинально змінила мене в особистісному чи науковому плані. Поки що я відпочиваю, на роботі не була (розмова відбулася 10 травня 2021 року), з колегами спілкувалася лише телефоном. Постійно підтримували зв'язок з науковим керівником Юрієм Моїсійовичем Ямпольським. Усі ідеї зараз іще дуже-дуже «сирі». Після Антарктиди потрібно все добре обміркувати, обговорити і тільки тоді вирішувати, як бути далі.

Щодо міжнародної співпраці також не наважусь нічого сказати напевно. Я брала участь у виконанні кількох міжнародних проєктів (але в жодному з них не була керівником), до яких залучено наш відділ. Наприклад, була спільна з норвежцями наукова тема «Шпіцберген», за якою проводились дослідження полярних регіонів. У 2014 році ми з Олександром Валерійовичем Колосковим (доктор фізико-математичних наук, завідувач лабораторії електромагнітного оточення Землі відділу радіофізики геокосмосу Радіоастрономічного інституту НАН України) та колегами з Інституту іоносфери НАН України та МОН України їздили на міжнародну конференцію в Арктич-

ний університет Норвегії у м. Тромсе, в Арктиці. Працювали також із нагрівним стендом і радаром некогерентного розсіювання в EISCAT. Як антарктичний досвід вплине на мої подальші дослідження – стане зрозуміло лише згодом.

– Як на Ваше життя й наукову діяльність вплинула війна?

– Мабуть, немає в Україні науковця, життя якого не змінила б війна. Я живу і працюю в Харкові – місті, яке росіяни дуже сильно обстрілювали з першого дня повномасштабної фази війни. 24 лютого 2022 року я і прокинулась від вибухів. Попри те, що не виїжджала далеко від міста, все одно військові дії сильно заважали нормально жити та працювати. Мій рідний Радіоастрономічний інститут НАН України дуже постраждав. Особливо «дісталось» одній з наших будівель у місті, де я працювала від 2006 року, а наш найбільший у світі радіотелескоп декаметрових хвиль УТР-2 і Низькочастотна обсерваторія, де відбувалися збори зимівників під час підготовки до зимівель (це наукові об'єкти, які становлять Національне надбання України) взагалі потрапили під окупацію. Радіотелескоп постраждав найбільше, бо саме там росіяни облаштували вогняну позицію, багато чого розікрали, будівля й частина антен постраждали від обстрілів, а територія досі замінована. Сталися зміни й у складі інституту і, зокрема, нашого відділу – хтось виїхав із країни і вже не займається наукою, а когось мобілізували до лав ЗСУ.

Робота в Антарктиці теж стала іншою. По-перше, зимувати тепер важче емоційно. Неможливо зберігати спокій, коли обстрілюють твоє рідне місто, коли ти постійно думаєш, як там рідні та близькі, чи все з ними гаразд. Під час кожного обстрілу я не розлучалася з телефоном і постійно читала харківські пабліки. Розумію, що з Південного полюсу нічого не можна зробити, і це ще важче. По-друге, дуже багато досвідчених полярників, зокрема й науковців, воює, а це люди, які могли б передавати досвід молодим і зробити багато корисного для розвитку науки та станції. По-третє, під час масованого ракетного удару РФ по українських містах 10 жовтня 2022 року зазнав ушкоджень офіс Національного антарктичного наукового центру в центрі Києва. Ніхто з працівників тоді не постраждав, але потужна вибухова хвиля вибила всі вікна будівлі. У внутрішніх бетонних перегородках з'явилися тріщини.

Повертаючись безпосередньо до антарктичних досліджень: слід відзначити й ускладнення з логістики перевезінок. Якщо раніше ми вилітали до Антарктики з Борисполя, то тепер треба їхати до Варшави, щоб вилетіти у Чилі (саме з міста Пунта-Аренас експедиції забирає криголам «Ноосфера», щоб доправити до станції).

**КОСМІЧНИЙ РАРИТЕТ.
АСТРОНОМИ НАН УКРАЇНИ
ВІДКРИЛИ НОВІ УНІКАЛЬНІ
ГАЛАКТИКИ**



**ДАР'Я
ДОБРИЧЕВА,
ІРИНА
ВАВИЛОВА**





Група українських науковців відкрила нові галактики з полярними кільцями. Результат цих досліджень опублікував міжнародний фаховий рецензований журнал “Astronomy & Astrophysics”. Чим галактики з полярними кільцями відрізняються від інших галактик? Чому їх важливо вивчати? І наскільки вагомим для науки є відкриття нових таких об’єктів? Розповідають співавторки публікації – науковиці відділу позагалактичної астрономії та астроінформатики Головної астрономічної обсерваторії (ГАО) НАН України: завідувач відділу член-кореспондент НАН України, професор Ірина Вавилова і старший науковий співробітник лабораторії великомасштабної структури Всесвіту цього відділу кандидат фізико-математичних наук Дар’я Добричева.

– Пані Дар’є, як виникла ідея цього дослідження? Чому важливо вивчати галактики з полярними кільцями? Чим вони особливі, цікаві?

– Зараз з’являється надзвичайно багато нової інформації про галактики. Ми з колегами, наприклад, користувалися даними Слоунівського цифрового огляду неба (Sloan Digital Sky Survey – SDSS). А незабаром запрацює один із найбільших телескопів – оглядовий телескоп Сімоні обсерваторії Вері Рубін і, відповідно, його база даних (LSST). І якщо SDSS щочоці давав 200 гігабайт даних, то LSST даватиме 20 терабайт (!). Це колосальні цифри, які не вкладаються в голову. Ми побачимо мільйони галактик різних морфологічних типів. Бо ж галактики, як і люди, неоднакові. Кожна має свої особливості, але їх можна класифікувати за основними ознаками й укладати каталоги.

Ми в ГАО теж створюємо каталоги галактик, дослідивши їх внутрішні особливості, форми, морфологічну структуру. Вивчаємо, яким є склад зоряного населення, в якому оточенні вона перебуває у великомасштабному розподілі галактик, чи взаємодіє з іншими галактиками. Навіщо? Щоб краще розуміти еволюцію галактик і чому вони саме такі. І, зокрема, спробувати спрогнозувати, що буде з нашою власною Галак-

тикою. Взагалі астрономія – це ж фундаментальна наука про те, як влаштований Всесвіт. Згодом дізнаємось, як це допоможе практично.

Галактики з полярними кільцями унікальні тим, що їх небагато – досі налічувалося всього близько 400 серед десятків мільйонів, та й то не всі з них підтверджені. Проаналізувавши три каталоги галактик, ми з'ясували, що полярні кільця насправді мають лише 80 із 400. Як так сталося? Річ у тім, що раніші каталоги містили зображення з гіршою розрізненістю, а сучасні телескопи показали, що галактиками з полярними кільцями могли здаватись, наприклад, галактики, які візуально накладались одна на одну, хоча розташовуються на різних відстанях від нас (тобто одна затуляє іншу). Або ж на кільце могла скидатися смуга пилу. Тобто галактики з полярним кільцями виявились навіть рідкіснішими, ніж вважали.

Одна з теорій стверджує, що галактика з полярним кільцем утворюється внаслідок злиття двох галактик під кутом. Одна з цих галактик ніби «розмазується» навколо іншої, але ж її речовина все одно залишається. А це – пил, міжзоряний газ, зорі і, звісно, планети біля цих зір.

– А як зрозуміти, що це дві різні галактики? У них зорі різного віку?

– Так, ми розрізняємо їх за складом. За нашими спостереженнями, у більшості випадків центральна частина галактики з полярним кільцем – це стара еліптична галактика. Вона жовта, бо у ній майже немає газу. А «розмазана» галактика, яка перетворилася на кільце, є переважно молодого галактикою синього кольору. В синє її забарвлює газ, з якого потім утворюються зорі.

Згідно з другою теорією, галактика з полярним кільцем утворюється не внаслідок злиття двох галактик, які «налетіли» одна на одну в космічному просторі, а через перетікання (акрецію) речовини однієї галактики до іншої галактики, розташованої неподалік. У підсумку одна галактика, яка перебирає, «накручує» на себе речовину, лишається цілою, а інша – змінює форму.

А є ще третя теорія. Відомо, що галактики можуть розміщуватись у скупченнях, які потім утворюють філаменти, а можуть – у порожнечі, або ж так званих войдах. У філаментах галактики розміщені так одна за одною, що їх вигляд у великомасштабній структурі нагадує ниточки. У ділянках, де газу більше в цих ниточках, речовина перетікає до галактики й утворюється кільце. Нові галактики, що їх ми відкрили, підтверджують першу або другу теорію – про злиття двох галактик або про перетікання речовини з однієї галактики в іншу. Точніше ще незрозуміло, потрібно досліджувати детально.

– Але всі три теорії можуть мати право на існування?



Чи не найпопулярніша в мережі серед галактик із полярним кільцем – NGC 660

– Так, абсолютно. Всесвіт такий великий, що знаходяться приклади різних сценаріїв. Є підтвердження на користь кожної з цих трьох теорій. Власне, тому їх і висунули. Якщо говорити саме про наші дослідження, то до однієї з галактик ми застосували мультитихвильовий аналіз – розглянули її в різних діапазонах електромагнітного спектра. І з'ясували, що у неї буремне минуле. Зараз вона трохи «прийшла до тями», тобто стабілізувалась, а колись давно стала результатом злиття. Але, повторю, можливі різні сценарії.

Чи принципово можливо дійти якогось висновку про утворення, еволюцію та руйнацію галактик?

– З одного боку, нам, людям, справді відведено дуже небагато часу. З другого – ми і за такий проміжок вже немало встигли. За великим рахунком, більшість напрямів астрономії зародилися за минуле століття, а доти ми навіть не здогадувались, що існують інші галактики. Знали лише, що є наша Галактика, а інші називали туманностями (саме тому галактика Андромеда зберегла свою давню назву «Туманність Андромеди») і вважали, що вони є частиною Чумацького Шляху. Зараз, як я вже сказала, ми очікуємо по 20 терабайт даних щоночі від LSST. Тож, думаю, встигнемо багато чого, та чи все – не знаю.

– А чи можна зазирнути у минуле конкретної галактики – на кшталт того, як реконструюють геологічні епохи? Наприклад, застосувати якесь моделювання, щоб зрозуміти – хай і не зі стовідсотковою точністю, – як вона розвивалася і до чого це призводить?

– Те, про що Ви говорите, називається “N-body simulation”. Це комп’ютерне моделювання множини з багатьох взаємопов’язаних об’єктів. Ми займаємося космологічними моделюваннями, а от сусідній відділ фізики зір та галактик – саме чисельним моделюванням. Там моделюють злиття надмасивних чорних дір, розташованих у центрі галактик. Адже побачити ці складні процеси в інший спосіб неможливо. У нашому ж випадку галактик так багато, що, напевно, цікавіше (і легше) порівнювати їх за особливостями середовища й оточенням. Хоча і ми для своєї роботи вдавалися до своєрідного моделювання, але іншого стибу. Щоб навчити комп’ютерну програму знаходити з-поміж галактик різних морфологічних типів саме галактики з полярним кільцем, реальних зображень цих об’єктів було не досить: менше ста – це екстремально мала кількість зразків. Тому ми генерували додаткові зображення. Вони відтворюють вигляд таких галактик не ідеально, не в усіх подробицях. Ми моделювали лише об’єкт центральної частини і нахилену частину – власне, оце полярне кільце. Під різними кутами. У такий спосіб дещо збільшили кількість варіантів, за якими навчали машину. Цього, щоправда, теж виявилось замало, бо алгоритмам все одно складно було впоратись із завданням. Водночас машина запам’ятовувала патерн кільця і знаходила об’єкти зі схожими на нього деталями. А отже, ми все-таки рухаємось у правильному напрямі. Зрештою, ми знайшли три нові галактики з полярним кільцем. Це вже великий результат. Тому загалом нам вдалося втілити задумане.

– Чи можна буде з допомогою машинного навчання розрізняти й автоматично відсортовувати галактики з полярними кільцями, утворені за різними сценаріями, про які Ви згадали?

– Можна. Якщо у нас буде дуже багато прикладів. Сотні тисяч.

– Але ж Ви кажете, що їх у принципі не може бути стільки?

– Так. Тому легше (і якісніше) передивитися зображення очима. Цікаво, що, готуючись до цієї роботи, в одній зі старих статей (здається, ще за 1960-ті роки) ми з колегами натрапили на припущення про те, що у нашого Чумацького Шляху теж може бути кільце. Але сучасні спостереження його не знаходять.

– А хіба ми отак, перебуваючи всередині Галактики, можемо побачити – є кільце чи немає?

– Кільця бувають різні. І галактик із кільцями вистачає – їх налічується до 5000 у Місцевому Всесвіті. Але це кільця, які розташову-

ються у тій же площині, що й сама галактика. Такі об'єкти утворюються і під час деяких злиттів, і тоді, коли рукава галактики закрутились, а потім еволюційно від'їждналися від центральної частини й утворили зовнішнє кільце. А нас цікавлять саме галактики з кільцем, розташованим під кутом до центральної частини. І таких зоряних систем — одиниці. До речі, існують галактики не лише із зовнішніми, а й зі внутрішніми кільцями.

— У вашій новій статті згадано про три каталоги, звідки ви з колегами виключили об'єкти, які, як ви з'ясували, насправді не є галактиками з полярними кільцями. Чи можна сказати, що ви на шляху до укладання власного каталогу?

— А так і є. Ми згодом викладемо його у вільний доступ.

Здійснювати ревізію — це частина роботи астрономів. Ми передивились ці три каталоги галактик із полярними кільцями і виявили, що більшість уміщених там об'єктів не належать до заявленого типу. А тепер з'явилися якісніші знімки і стало зрозуміло, що деякі «полярні кільця» зовсім такими не є. Крім того, за допомогою машинного навчання ми ще й знайшли додаткові об'єкти. Тож — так, новий каталог неодмінно буде.

— А чи популярна це взагалі тема у світовій науці — галактики з полярними кільцями?

— Ще донедавна ці галактики нікому не були цікаві. Зараз їх вивчають уже активніше. Наприклад, для нас стало великим здивуванням, що їх обговорювали в межах програми великої міжнародної конференції за даними бази LSST у США, до якої ми долучались онлайн. Це означає, що телескоп «Вера Рубін» теж шукатиме, серед іншого, і галактики з полярними кільцями. Можливо, тут є трохи і наша заслуга, бо ми багато, на всіх заходах представляли результати своєї роботи, пов'язаної з пошуками цих галактик методами штучного інтелекту (ШІ).

До розмови приєднується Ірина Вавилова. Зосереджуємося з нею на методологічних засадах цього дослідження і його значенні для науки.

— Ірино Борисівно, чому ви з колегами звернули увагу саме на галактики з полярними кільцями? Які лакуни у цій темі хотіли заповнити?

— У нашому відділі позагалактичної астрономії та астроінформатики накопичено досвід, підходи і програмні коди для застосування методів машинного навчання (або взагалі ШІ) до різноманітних задач, що стосуються об'єктів великомасштабної структури Всесвіту і їх класифікації, зокрема створення каталогів галактик із різними властивостями (наприклад, галактик із барами чи з кільцями, взає-

модійних галактик). Ми тут не унікальні, бо застосували свій досвід до вивчення галактик поширених типів, присутніх іще в класифікації Едвіна Габбла. Хоча зробили це чи не першими в Україні, і такий підхід було відображено вже в кандидатській дисертації Дар'ї Добричевої у 2017 році. Оскільки мова йде про поширені об'єкти, то методи машинного навчання з різною імовірністю дають хороший результат. В еру оглядових телескопів, які створюють величезні оглядові карти розподілу цих галактик на небі, ШІ дуже добре виконує ту частину роботи, яку раніше виконували астрономи візуально. Але мені не давало спокою питання: чи здатні методи машинного навчання знайти серед сотень тисяч об'єктів (принаймні в околі Місцевого Всесвіту) галактики з рідкісними особливостями? Наприклад, галактики з полярними кільцями.

Ідея застосувати методи машинного навчання до пошуку рідкісних галактик збіглась у часі з листом, який я отримала від Андрія Шпортька зі США. Це українець, який навчається в Північно-Західному університеті (Чикаго, штат Іллінойс). Він тоді закінчив тільки перший курс лінгвістичного факультету. Написав, що застосовує методи ШІ до розпізнавання текстів, а одночасно брав участь в астрономічній «пісочниці» (це такий формат популяризації астрономії) і дуже хоче приєднатись до астрономічних досліджень під час його літньої навчальної практики.

Ми саме працювали над іншими задачами, але його звернення спонукало мене звернути пильнішу увагу на галактики з полярними кільцями. Сформувалася група молодих людей (до неї увійшли Андрій Шпортько, на той час магістрант Олександр Гугнін і бакалаврант Олександр Гетманцев, а також Дар'я Добричева й Олена Компанієць), які добре знаються на ШІ, – і почалася робота.

Спершу ми вирішили створити тренувальну вибірку унікальних галактик, які далі шукатимемо за допомогою машинного навчання. А для цього потрібно було візуально продивитися вже наявні каталоги і зрозуміти, які саме об'єкти можуть слугувати зразками для пошуку.

Кінець-кінцем ми отримали позитивну відповідь на своє головне запитання: так, методи ШІ спромоглися знайти з-поміж 340 тисяч галактик три абсолютно нові галактики з полярними кільцями. А загалом імовірність віднайдення сягнула 70 %. Це приголомшлива цифра. Так, частину об'єктів довелося відсіяти вручну. У процесі Дар'я візуально виявила ще чотири такі галактики.

– Тобто ви його [штучний інтелект] ще й перевіряли?

– Так, йому все-таки ще потрібно допомагати. І це не було миттєво – загалом робота тривала півтора року. Траплялись і цікаві випадки. Наприклад, Андрій Шпортько налаштував свій софт так, що од-



Галактики з полярним кільцем, що їх відкрили науковці Головної астрономічної обсерваторії НАН України за допомогою методів машинного навчання

ним із найпростіших методів вдалося знайти галактику з полярним кільцем. Але ми не були впевнені, що вона належить до цього типу, бо кадр зображення був «засвічений» саме в тому місці, де мало б розташовуватися кільце. Зрештою, виявилось, що це справді потрібна нам галактика: ми знайшли її в іншому огляді неба – DESI (Dark Energy Survey Imaging).

У деяких галактик полярне кільце на знімках було затьмарене, або ж його яскравість майже порівнянна з тлом нічого неба. Проте і в таких ситуаціях наш ШІ упорався із завданням і знайшов їх. Вони дуже красиві. Щоб допомогти йому і збільшити тренувальну вибірку,



Ірина Вавилова в Європейській космічній агенції

цяма, який налічує 87 об'єктів зі статусом “good” і “strong” (тобто в деяких випадках тип галактики не викликає жодних сумнівів, а в інших підтверджений з високою імовірністю).

– Ірино Борисівно, а навіщо взагалі знати, скільки є таких галактик?

– Наш відділ не займається теоретичними дослідженнями динаміки таких систем. Але є науковці, які працюють саме над динамічними задачами еволюції галактик, вивчають взаємодійні галактики. І от для них це унікальний матеріал. Якщо раніше вони аналізували швидкості зіткнення, розподіл зоряного населення, криві обертання, спектрально-енергетичний розподіл та інші аспекти на прикладі лише 30 галактик із полярним кільцем, яке було видно на зображеннях оком, то тепер база їхніх досліджень суттєво збагатилася – до 80–100 об'єктів. Для теоретиків, які досліджують зіткнення галактик, це безцінна інформація.

Дар'я Добричева й Олександр Гетманцев створили симуляції шуканих зображень (це так зване “transfer learning”), на яких розташовували полярне кільце під різними кутами до центральної частини галактики.

Хочу наголосити: до нашого дослідження, напевно, ніхто й гадки не мав, що ШІ принципово здатен знайти аж настільки рідкісні об'єкти. Це однаково, що серед мільйонів фотографій людей шукати людину з родимкою, і до того ж не абиде, а саме на певній частині обличчя. Звісно, наші методи потрібно ще вдосконалювати, але загалом підхід зрозумілий. І в цьому ми взагалі перші у світі.

– Тобто для вас із колегами ще є робота на майбутнє?

– Так, завдяки застосуванню методів машинного навчання та ретельній візуалізації наявних вибірок ми створили власний каталог галактик з полярними кіль-

Зараз важко сказати, яким буде ефект від такого знання. На цьому етапі ми здійснили фундаментальне відкриття і вперше показали, що ШІ може допомогти знайти рідкісні об'єкти Всесвіту.

– Як на Ваше життя і наукову діяльність вплинула війна?

Окупація Криму в 2014 р. стала першою віхою ланцюга агресії РФ, а потім і повномасштабної війни проти України. На астрономічних дослідженнях це позначилося вже тоді – зупинкою спільних проєктів з астрономами Кримської астрофізичної обсерваторії та закриттям доступу до спостережних комплексів (телескопів) цієї установи, яка з 1990-х років підпорядковувалася Міністерству освіти і науки України. А ГАО НАН України втратила своє відділення – обсерваторію в Кацівелі. Зокрема, ми використовували Дзеркальний телескоп Шайна для спектروفотометричних досліджень галактик з активними ядрами і планували спостереження на радіотелескопі РТ-22 в Симеїзі.

Вихід знайшовся: згодом ми підписали меморандуми про співпрацю з установами інших країн для участі в оптичних спостереженнях на їх телескопах – наприклад, з Інститутом астрофізики на Канарських островах і з установами у Чилі. Разом із колегами з Радіоастрономічного інституту НАН України та Виробничого об'єднання «Сатурн» почали доукомплектовувати радіотелескоп РТ-32 в Золочеві на Львівщині, щоб він міг працювати для наукових спостережень, а у вересні 2021 р. вже виконали тестові спостереження.

24 лютого 2022 р. назавжди змінило наше життя і долю України. Війна вплинула й на астрономічну науку: втрачено спостережні комплекси на піку Терскол у Кабардино-Балкарії; пошкоджено найбільший у світі декаметровий радіотелескоп УТР-2 в Граковому на Харківщині, який певний час перебував під окупацією; в умовах воєнного стану не працюють телескопи РТ-32 й оптичні телескопи на спостережній станції в Маяках на Одещині. Зазначу, що останній небесний об'єкт, який спостерігали на УТР-2 в січні–лютому 2022 року, – це галактика NGC 3521. Її розглядають як галактику-аналог Чумацького Шляху. Ми досліджували її разом із харківськими колегами. Архів її спостережень зберігся, оброблений, і зараз, у 2026 році, виходить наша спільна стаття в журналі “Astronomy and Astrophysics”.

Оптимізмом заряджають також міжнародна підтримка, яка всі ці роки надходить від наших колег з-за кордону, виграні дослідницькі гранти і талановита молодь, яка залишилася працювати в Обсерваторії та виконує неординарні дослідження на світовому рівні.

Далі продовжуємо розмову з Дар'єю Добричевою.

— Пані Дар'є, чи правильно я розумію, що даними, на основі яких ви з колегами виконували своє дослідження, може скористатись будь-хто? Напевно, зручно, що вони є у відкритому доступі?

— Так. Хоча є один нюанс: оскільки зараз телескопи коштують сотні мільйонів, а інколи й мільярди доларів, то першими доступ до даних мають країни, які фінансували створення цих інструментів. Решті ж потрібно зачекати, доки доступ до даних буде відкритим для всіх. Зазвичай це стається за два-три роки. Відкриті дані можна завантажити у будь-якій точці світу. Слоунівського цифрового огляду неба це так само стосується.

— Ви сказали, що за день один лиш телескоп видаватиме 20 терабайт даних. Тепер, мабуть, головне — мати вільні руки і голови, щоб усе це опрацювати.

— Саме тому без машинного навчання — нікуди.

— А як далеко ми зараз можемо зазирнути у Всесвіт? І чи реально побачити і каталогізувати абсолютно все?

— Всесвіт розширюється, і побачити абсолютно все неможливо, бо випромінювання від деяких галактик так ніколи до нас і не дійде. Є певний горизонт. Але ми, астрономи, намагаємося зазирнути і за нього. На це запитання Вам дуже цікаво відповів би наш колега Максим Василенко. Це фантастична, надзвичайно талановита людина, яка просто пояснює складні речі. Але він з перших днів на фронті.

— Чи залучаєте наукових волонтерів до своїх досліджень? І чи знаходяться охочі допомогти науковцям?

— У нас є такий досвід. Три роки тому на одній з подій організації INSCIENCE до Олени Компанієць звернувся програміст Денис Каракуц, який працює в ІТ-фірмі. Розповів, що хоче займатися машинним навчанням. І вона переспрямувала його до мене. Ми долучили Дениса до вивчення екзокомет: він розробив дуже цікавий статистичний метод пошуку екзокометних транзитів, який ліг в основу його дипломної роботи (він саме здобував другу вищу освіту). Потім зацікавився позагалактичною астрономією, вступив до аспірантури у наш відділ. Це приклад того, як людина змогла адаптувати під такі різні напрями свій класний бекграунд у програмуванні.

— Чи допомагає міжнародна співпраця? Зокрема, у цьому дослідженні галактик із полярними кільцями.

— Так, бо науку не робить одна людина, але її не робить і одна країна. Великі дослідницькі проекти — це завжди міжнародні колаборації. На офіційному міжінституційному рівні наша Обсерваторія співпрацює з багатьма іноземними центрами. Один із них — італійська SISSA (Міжнародна вища школа передових досліджень — Scuola



Попереду (зліва направо): Інна Ізвєкова, Максим Василенко, Даниїл Іванов, Дар'я Добричева, Олександр Гетманцев. Позаду: Олена Компанієць та Ірина Вавилова

Internazionale Superiore di Studi Avanzati). Нам допомагає професор цього інституту і наш друг Карло Баччігалупі. Завдяки меморандуму про співпрацю із SISSA ми змогли провести літню школу з астрофізики та космології для молодих науковців – італійські партнери покрили частину витрат. Крім того, професор і сам приїжджає до України, і наших працівників запрошує виступати в SISSA.

Співпрацюємо також з Канарським інститутом астрофізики у Тенеріфе, професором Йоганом Кнапенем. Подаємо заявки на доступ до телескопа – для спостереження потрібних нам об'єктів. Але є й індивідуальна співпраця. Наприклад, з професоркою Агнешкою Полло з польського Національного центру ядерних досліджень, бо у цій установі теж вивчають галактики. Про Олександра Шпортька – українського студента у США, який захотів пройти у нас практику, – вже розповіла Ірина Борисівна. Наша колега Інна Ізвєкова зараз поїхала на спостереження до Грузії. Виграла вона час і для спостереження на канарських телескопах. Крім того, готуємо з іноземними колегами спільні проекти і подаємо їх на грантові конкурси.

Виступи на семінарах чи конференціях – теж співпраця. Коли вас запитують про ваші дослідження, вказують на якісь нерозв'язані проблеми – це корисний брейншторм, який поліпшує роботу.

– Над якими ще темами ви з колегами працюєте, пані Дар'є?

– Напрямів роботи у нас багато. Але ця робота завжди командна. Зараз уже не ті часи, що 400 чи 500 років тому, коли одна людина займалась і ботанікою, і астрономією, і медициною. Хтось пропонує ідею, хтось пише програмний код, хтось допомагає з цим кодом, хтось моделює, хтось здійснює візуальну інспекцію. Кожен робить свій внесок. Наприклад, для галактик із полярними кільцями Олена Компанієць виконала мультихвильовий аналіз. А наш аспірант Олександр Гетманцев написав частину програмного коду і разом зі мною здійснював моделювання. І результати цього дослідження ляжуть в основу його дисертації.

Наш відділ виконує також проєкт за грантом Національного фонду досліджень України. Проєктом керує Ірина Борисівна. Тема – пошук галактик-аналогів Чумацького Шляху. Оскільки ми перебуваємо всередині своєї Галактики, то є певні труднощі з її вивченням. Тому потрібен зовнішній, але схожий на неї об'єкт, який допоможе нам зрозуміти, як розвивається, як еволюціонує наша власна Галактика. Зараз складаємо каталог таких схожих об'єктів. І теж плануємо застосувати методи машинного навчання.

– Як на Ваше життя і наукову діяльність вплинула війна?

– Війна РФ проти України радикально змінила не лише моє життя, а й саму структуру наукової роботи. Поняття нормованого робочого дня зникло повністю. Як і багато хто з моїх колег, я не ходжу в укриття під час тривоги, продовжуючи працювати на власний страх і ризик. Війна означає постійно недоспані ночі від звуків вибухів, фонову напругу і хронічну втому. У періоди блекаутів наше життя перетворюється на безперервне балансування між пошуком електроенергії, побутовими справами і необхідністю максимально швидко виконати робочі завдання – писати статті, обробляти дані, відповідати на листи, не знаючи, чи буде світло за годину... У цих умовах намагаюся працювати передусім із собою – приймати реальність такою, як вона є, й адаптуватись до нестабільності, бо ми ніколи не знаємо, що буде завтра.

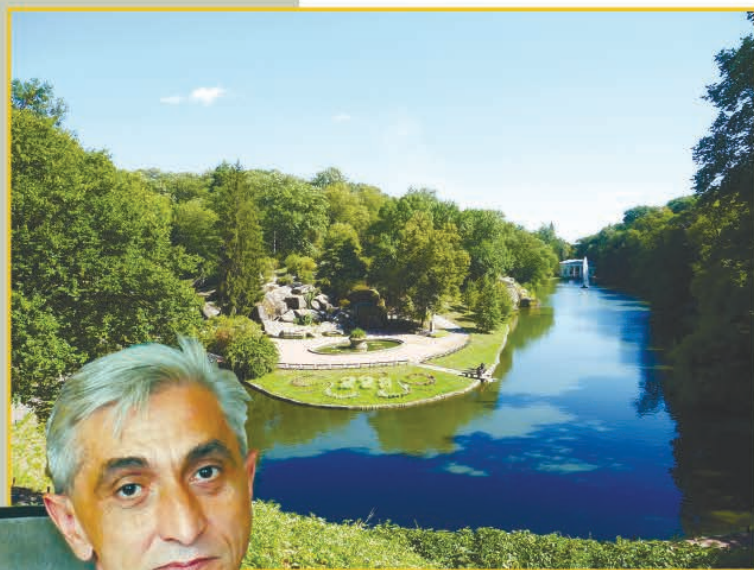
Водночас війна не зупинила нашу наукову спільноту. 2024 року Рада молодих вчених ГАО ініціювала проведення наукової школи, співорганізаторкою якої я є. Для мене це особливий привід для гордості: навіть під час війни нам вдалося залучити малий бізнес до підтримки науки та провести школу в 2024 і 2025 роках, де читали лекції астрономи з Києва, Харкова, Одеси, Львова й Івано-Франківська, а студентами школи стали майбутні астрономи – учасники з усієї України, а дехто – навіть з-за кордону. До речі, школа відбулася не онлайн: всі були присутні особисто. Це живе спілкування дарує ра-

дість і сили. Зараз опікуємось організацією наукової школи у 2026 році. Вважаю, що ми з колегами продовжуємо працювати на високому міжнародному рівні: публікуємо результати досліджень у провідних міжнародних журналах і водночас розвиваємо науку всередині країни, залучаючи молодь у ці страшні часи і передаючи тяглість наукових традицій наступному поколінню. Так, це вкрай важко, але ми це робимо. Докладаємо колосальних зусиль і для залучення міжнародних грантів, які дають змогу підтримувати наші дослідження — попри війну, втому і постійну невизначеність.

**МІСЦЕ КРАСИ І СИЛИ.
ЯК ДЕНДРОПАРК «СОФІЇВКА»
ПРАЦЮЄ ПІД ЧАС ВІЙНИ**



**ВОЛОДИМИР
ГРАБОВИЙ**



В

олодимир Грабовий упродовж 26 років був правою рукою легендарного директора не менш легендарного Національного дендрологічного парку «Софіївка» НАН України члена-кореспондента НАН України Івана Косенка. Коли навесні 2022 року, в надзвичайно важкий для нашої країни час, Іван Семенович раптово відійшов у вічність, його найвідданіший учень і помічник перебрав на себе тягар відповідальності за один із найбільших і найстаріших українських пам'ятників містобудування й садово-паркової архітектури. Нинішній очільник «Софіївки» зітхає, що це робота у режимі 24/7, що вже десятирочний рік поспіль не може піти у відпустку, але іншої долі для себе не бажає, бо парк став для нього, як і для його видатного попередника й наставника, любов'ю з першого погляду, справою всього життя. «Софіївкою» дійсно важко не зачаруватися. Та для збереження її краси й чарівності, а також для розвитку науки (так, дендропарк є ще й дослідницьким осередком) потрібна важка праця багатьох людей. Про те, як їм ведеться у воєнні часи, виконувач обов'язків директора Національного дендрологічного парку «Софіївка» НАН України кандидат біологічних наук Володимир Грабовий розповів пресслужбі НАН України.



– Володимире Миколайовичу, «Софіївка» – надзвичайно гарний парк, але і дуже великий. Як ви з колегами даєте всьому раду?

– Зараз доволі важко давати раду, фінансування незначне. Але колектив працює. Звісно, суттєво поменшало людей, які обслуговують «Софіївку». Бракує техніків-механіків, косарів, прибиральників. Важко повірити, що сьогодні парк прибирають усього четверо людей. Багатьох працівників мобілізували до Сил оборони України. Або ж вони мобілізувалися самі, як, наприклад, завідувач нашої лабораторії біотехнології, який з першого дня повномасштабного російського вторгнення пішов служити добровольцем. Дістав кілька поранень і перебуває на реабілітації. А щодо кадрового голоду, то історично це ще не критична для нас межа: у 1970-х роках на обслуговуванні парку лишалося всього 18 осіб (зараз у парку понад 100 працівників).

– Чому так сталося?

– У той час ослаб інтерес до парків на зразок «Софіївки». Крім того, «Софіївка» тоді була не самостійною науковою установою, а підрозділом Центрального республіканського ботанічного саду АН УРСР (нині це *Національний ботанічний сад імені М.М. Гришка НАН України*), тому отаким належало бути нашому внутрішньому кадровому ресурсу згідно зі штатним розписом. Окремою науковою установою вона стала лише 1991 року. А від 2005 року ми маємо статус науково-дослідного інституту в структурі Національної академії наук України. 2000-ні роки виявилися найкращим періодом для розвитку «Софіївки» – і за обсягами бюджетного фінансування, і за науковими досягненнями, і в інших виконаних роботах. Площа парку зростає на 54 гектари, було споруджено адміністративний корпус (вхід із вулиці Київської), облаштовано нову велику ділянку – Грекову балку. Мало хто з наших нинішніх відвідувачів знає, що це не справа рук подружжя Потоцьких. Балку в її сучасному вигляді створили працівники парку на чолі з Іваном Семеновичем Косенком, який протягом усього свого директорування дуже вболівав за «Софіївку». Тому не дивно, що неформальна, народна назва Грекової балки – парк Косенка.

– Дійсно, ця ділянка справляє враження цілком органічної для «Софіївки».

– Так, тому що вона вдало вписана у загальний контекст парку. Наш головний корпус теж для багатьох виглядає як архітектурна пам'ятка часів Потоцьких, хоча це сучасна будівля.

Під час війни ми змогли мобілізувати сили так, що в змозі утримувати парк належним чином і зберігати всі його історичні об'єкти. Хай там що, намагаємося розвиватись, залучати кошти благодійників, укладаємо меморандуми з партнерами.

– А чи допомагають «Софіївці» іноземні партнери, міжнародні організації?

– Наш парк став частиною Європейського маршруту історичних садів.

– Які можливості це відкриває?

– «Софіївка» з'явилася на шпальтах усіх європейських путівників і туристичних маршрутів. Якщо раніше нас знали передусім як наукову установу і ми співпрацювали переважно з іншими ботанічними садами (а в ботанічних колах нас знають дуже добре), то тепер ми стали помітні і для пересічних європейців, яких хочемо привабити як відвідувачів.

Тісні та плідні зв'язки «Софіївка» підтримує, зокрема, з Польською академією сільськогосподарських наук, закладом фізіографії і Арборетумом Болестрашице, Варшавським ботанічним садом Польської академії наук, ботанічними садами Варшавського, Люблінського та Познанського університетів, Курницьким арборетумом Польської академії наук, музеєм-замком у Ланцюті (Польща), Сільсько- та лісогосподарським університетом імені Менделя у Брно (Чехія), Ботанічним садом університету Гутенберга (Майнц, Німеччина).

Відколи про наш парк у Європі дізналися більше, до «Софіївки» приїжджають волонтери з Німеччини, Франції, Великої Британії й інших країн. Вони здивовані, що в Україні є надзвичайно цікавий парк, який не поступається європейським. Він у гарному стані, має велику історію і велике майбутнє.

Крім того, у складі Асоціації «Європейський маршрут історичних садів» чимало експертів ЮНЕСКО, і вони звернули на нас увагу. Сподіваємося, що під час війни «Софіївці» нарешті, після більш як 20 років спроб, вдасться потрапити до списку Світової спадщини ЮНЕСКО – за спрощеною процедурою. Як загроженій пам'ятці.

– Є надія, що «Софіївці» нададуть цей статус так, як його надали історичному центрові Одеси?

– Є надія. Велика надія. Номінаційне дос'є вже практично готове. Невдовзі подаватимемо його до ЮНЕСКО. Все через те, що «Софіївка» – унікальна, і це не просто слова. Кажуть, у нас тут багато чого перебудовано, є неавтентичні об'єкти, але люди, які так говорять, не зважають на автентичне й незмінне: гроти й решту мегалітичних споруд, створених наприкінці XVIII століття за технологіями, що досі лишаються загадкою (а для свого часу вони й поготів були на межі фантастики). Валуни не пересунути, не змінити їх структури та значення. А ще у нас діє єдина рукотворна підземна річка – теж результат творчості людського генія. Її природні аналоги є в інших куточках планети, а такої, як у нас, немає ніде. Усе це наша «родзинка». Взага-

лі мало де у світі є такі місця, як «Софіївка». Її неповторність потрібно використовувати і, звісно, максимально оберігати. Для цього ми залучали і залучаємо різних європейських партнерів.

Коли почались проблеми з енергетикою, ми одразу звернулись до Федерального уряду Сполучених Штатів Америки (посередником став Польсько-американський культурно-освітній благодійний фонд Костюшка) – нам виділили 20000 євро на придбання генератора. Це розв'язало частину проблем, і ми вистояли у найважчий період, оскільки під час перших непередбачуваних вимкнень світла працівники парку залишались ночувати на робочому місці, щоб не сталося ніякого лиха. Пізніше ми обладнали будівлі джерелами безперебійного живлення, поліпшили касове обслуговування, поставили фіскальні апарати. Сильна система контролю дала нам змогу отримувати максимально стійкі надходження навіть за малої відвідуваності.

– **А як змінилась відвідуваність під час війни?**

– Учетверо зменшилась.

– **Скільки раніше було в абсолютних цифрах?**

– Понад 600 тисяч відвідувачів на рік. Наприклад, 2021 року – близько 630 тисяч.

– **За даними Державного агентства розвитку туризму України, внутрішній туризм у нашій країні не просто розвивається, а виходить на показники, які фіксувались перед повномасштабним російським вторгненням. Чи відчувається це у «Софіївці», де ціни порівняно доступні?**

– 2023 року відвідуваність була непогана. Проте велику частку наших відвідувачів становлять громадяни пільгових категорій, передусім люди з інвалідністю. Серед внутрішніх туристів, що приїжджають у «Софіївку», також дуже багато громадян, які за законодавством не мають права безкоштовно відвідувати такі території, як наш парк, але потребують реабілітації. Тож з морально-етичних міркувань і, безумовно, з вдячності до наших захисників, ми не беремо плати за вхід із військовослужбовців і членів їхніх родин. Бо травмовані війною люди, які втрачали близьких і здоров'я, мають відпочити. І ми даємо їм цю розраду: наш парк прийняв понад 100 тисяч таких відвідувачів.

– **Чи покриває держава ці витрати?**

– Чинне національне законодавство не передбачає жодної компенсації для таких установ, як наша, за обслуговування пільгових категорій громадян.

Як бюджетна установа, «Софіївка» не може займатись благодійністю, але ми їй не можемо лишатись осторонь процесів, що відбуваю-



ться у нашій державі, і намагаємось максимально підтримати людей, які цієї підтримки потребують і заслуговують на неї. Для цього шукаємо інші варіанти: спільно з волонтерами і благодійниками проводимо заходи (ярмарки, виставки), де збираються кошти для допомоги Збройним Силам України.

– Чи підтримує «Софіївку» місцева влада, зокрема міська й обласна військові адміністрації?

– Ми розуміємо, що в цей час, на жаль, усім дуже складно. Так, нас підтримують, нагороджують грамотами і подяками. Але фінансування юридично неможливе, оскільки, повторю, чинне законодавство не передбачає компенсації чи грошової допомоги державним установам від місцевих бюджетів. Яюсь так склалось, що за всі 228 років існування від обласного чи міського бюджетів «Софіївка» не отримала жодної копійки...

– Ви сказали, що меценати таки знаходяться.

– Так, є небайдужі люди, які можуть собі дозволити допомогти нашому дендропарку. Наприклад, торік один великий підприємець власним коштом профінансував реконструкцію вхідної зони і ремонт двох павільйонів. Нам подарували вже готовий «продукт». Для «Со-

фіївки» це була негрошова допомога, а благодійникові виконані роботи коштували майже 5 мільйонів гривень.

До речі, 2023 рік ми завершили з непоганим фінансовим результатом. Попри те, що взимку пускаємо всіх відвідувачів без квитків. Оскільки ми не можемо надати повний пакет послуг (не працюють фонтани і водоспади, немає екскурсійного обслуговування, а через відсутність водопостачання громадські вбиральні у парку поки що не пристосовані до роботи в холодний період), то і не беремо плати за вхід. Крім того, у зимові місяці відвідуваність падає. Хоча, звісно, до нас приходять. Щонайменше уманці, які і в інший час гуляють у парку. Бігають спортсмени. Тому ми продовжуємо вивозити сміття. На решту, на жаль, не можемо витратити – заощаджуємо. Не запускаємо навіть самоплинні фонтани. Так, у нас чимало нових і гарних об'єктів, але кошторисна вартість обслуговування водоспадів і фонтанів сягає 10–12 мільйонів гривень на сезон. Це сумарна вартість електроенергії, консервації та розконсервації. Нинішній потік людей не покрие наших витрат. Настане час – усе запрацює. Але в сьогоднішніх реаліях така видаткова частина для нас непідйомна. Витрати мають бути виправданими.

– Як «Софіївка» підготувалася до зимового періоду? Ви сказали, що установа має генератор. Як іще забезпечуєте безперервність досліджень? І взагалі що зараз із науковою діяльністю в дендропарку?

– У науці так само працюємо. 2022 року наші молоді дослідники отримали премію Президента України для молодих учених. Серед молоді маємо також стипендіата Президента України. Цьогоріч благодійники подарували «Софіївці» 15 стаціонарних комп'ютерів і 2 ноутбуки. Це теж важливо для нашої роботи. Плануємо придбати хороше джерело безперебійного живлення, яке забезпечить постійність досліджень. Поки що освітлюємо рослини у лабораторії біотехнології механічним способом, але і там збираємося поставити безперебійник. А головне: зараз можемо закуповувати всі необхідні реактиви для цієї лабораторії. На додачу до придбаного за кошти Федерального уряду США, ми отримали ще 5 генераторів від благодійників. За потреби використовуємо їх, коли проводимо наукові заходи, зокрема конференції, а також якщо необхідно попрацювати з комп'ютерами й іншою технікою на робочих місцях. Ну, і завжди є можливість працювати дистанційно або за гнучким графіком. Тобто зараз наші фахівці мають усе, чого потребують, і загалом науковий процес у «Софіївці» триває без перерв. Завдяки цьому ми створили кілька живильних середовищ для деревних рослин, зокрема для біотехнології груші, а також для розмноження червонокнижних рослин у лініях.

Наприклад, досліджуємо мерингію бузьку (*Moehringia huranica*) – рідкісну рослину, яка практично зникла у природі, лишилися тільки невеличкі її локалітети. Ми ж отримали і регенеранти, і адаптовані рослини спанкусу, які квітують. Їх можна реінтродукувати, тобто повертати у природу.

Робимо все, щоби парк завжди був привабливий. Головне наше завдання зараз – запобігти деградації, руйнації. На самому початку великої війни, навесні 2022 року, «Софіївка» близько місяця стояла закрита і без догляду. Потім я запросив представників військової адміністрації і показав їм, які природні процеси відбуваються, якщо цю територію занедбати. Парк дичавіє, перетворюється на хащі. Тому потрібна постійна робота людей.

– Який саме догляд потрібен?

– Передусім потрібно боротися з інвазивними рослинами – хмелем, дівочим виноградом, кленом американським. Вони агресивні, швидко ростуть і поширюються на значні площі. Ми постійно контролюємо та видаляємо ці й інші чужорідні види. Це одна велика проблема. Друга: у «Софіївці» чимало столітніх дубів, ровесників парку. Їх особливість полягає в тому, що вони циклічно відмирають. І початок повномасштабного російського вторгнення збігся з черговим циклом відмирання дубів. Багато аварійних дерев, небезпечних для відвідувачів, падаючи, перекривали доріжки у центральній частині «Софіївки». Тобто популяцію дубів теж потрібно регулювати.

– Замінюєте відмерлі рослини молодими?

– Замінюємо.

– А звідки отримуєте садивний матеріал?

– Садивний матеріал на заміну ми вирощуємо самі. 2022 року посадили півтори тисячі рослин дубу для відновлення Дубинки. Люди цікавляться, чому ми не викошуємо цю історичну ділянку. А от саме для того, щоби ці висаджені дуби піднялися. Деревам зараз важко: триває війна, змінюється клімат (температура підвищується, а кількість опадів зменшується) – і Черкащина, розташована на межі Лісостепу і Степу, знову стає степовою зоною. «Софіївку» ж створили у місчині з переважно степовою рослинністю, де дерев налічувалось щонайбільше з півтора десятка.

– Як підтримувати таку штучну систему? Адже природний ліс, напевно, має механізми саморегуляції. А що з гендропарком? Чи може він сам себе підтримувати на якомусь мінімально прийнятному рівні, щоб висаджена рослинність зберігалась?

– Ні. Штучна система потребує постійного догляду, постійного штучного підтримання. Тобто цей парк існуватиме рівно стільки, скільки за ним доглядатимуть. Тут практично неможливе утворення

стабільного, стійкого природного угруповання, неможливий природний клімакс (*відносно стійкий стан рослинного покриву*). Але якщо людина вчасно втручається, то стороннє око не помітить деградаційних процесів. Скажу так: у нашому парку мають бути виключно стійкі й естетичні насадження. Для цього їх потрібно іноді замінювати. Безглуздо саджати молоді дуби під сухими старими...

Європейці, до речі, чудово розуміють різницю між природними і штучними об'єктами – національними природними парками і дендрологічними парками. У нас ця різниця нівельована, і це заважає утримувати штучні парки в належному вигляді.

– Україна ж ніби намагається гармонізувати своє законодавство з європейським.

– Зараз ми, на жаль, тільки калькуємо європейські норми, що стосуються природних об'єктів, лишаючи поза увагою штучно створені. Сформувати стійку систему в штучних умовах надзвичайно складно. Такі рослинні угруповання, як у «Софіївці», естетичні, але у природі вони не трапляються і без догляду людини швидко руйнуються – їх замінюють уже згадані агресивні інвазивні види, які, що правда, теж довго не витримують. Скажімо, ясен швидко «відвойовує» території у дуба, але і швидко гине. Майже всі 70–80-річні дерева ясена – аварійні, мають вади, зокрема серцевинні гнилі. Натомість дуб навіть у не природних для нього умовах може прожити значно більше.

– Володимире Миколайовичу, Ваші власні дослідження присвячені хвойним рослинам, естетичним і привабливим цілорічно. А проте які перспективи вони мають у «Софіївці», з огляду на зміни клімату і повернення Черкащини до степових умов?

– У деякі періоди хвойні становили 16 % серед усіх насаджень нашого парку. Але в останні 5–6 років через зависокі температури чимало цих рослин гине – як у нас, так і по всій Україні. Шкодить також короїд, а дерева, які не догриз він, знищують вторинні шкідники. Найбільше страждають сосна Веймутова і ялини. Треба пояснити, що для хвойних властива поверхнева коренева система, яка перестає працювати, якщо ґрунт пересихає на глибину 1–1,5 метра. Коли волога надходить знову, регенерація відбувається дуже повільно (завдяки мікоризам – симбіозу гриба з корінням рослини). Через це чимало хвойних випадають з угруповання. Але хвойна рослина у будь-яку пору оживляє будь-який ландшафт, тому пробуємо висаджувати інші види.

Наприклад, ми помітили, що віднедавна у «Софіївці» чудово почуваються кедрі, які раніше тут не росли. Є ще один вихід із ситуації. Попри те, що частина різноманіття ялівців теж доволі чутлива до клі-



матичних змін, серед інтродукованих видів трапляються особини, які мають вищу ніж інші, стійкість до аридних, тобто посушливих, умов – браку вологи й надмірних температур. Розмножуючи такі рослини, ми отримуємо клони, за допомогою яких зможемо озеленювати «Софіївку», навіть якщо температурний режим зміниться ще більше.

– «Софіївка», напевно, не лише приваблює відвідувачів з України та з-за кордону, а і є унікальною базою для студентської практики. Чи співпрацюєте із закладами вищої освіти?

– Практику в нас проходить дуже багато студентів, зокрема з Національного університету біоресурсів і природокористування України. Зараз, через війну, їх, зрозуміло, поменшало, але ми продовжуємо укладати угоди із закладами вищої освіти. Крім того, до «Софіївки» приїжджають не лише здобувачі освіти з факультетів садово-паркового мистецтва чи агрономічних факультетів, а й майбутні архітектори, будівельники (у нас діє Меморандум про співпрацю з Київським національним університетом будівництва і архітектури), художники (на пленерні заняття). Приймаємо студентів, які навчаються за спеціальністю «туризм»: на базі парку вони пробують себе і

як гіді, і в інших іпостасях туристичного бізнесу. Цього року практиканти працювали також у нашій біотехнологічній лабораторії. Ніде правди діти, практиканти трапляються різні, дехто формально відбуває тут якийсь час. Але є і дуже завзяті люди, яких їхня справа дуже надихає. Цього літа до нас пленери приїжджали студенти-художники: то вони були на локації вже о четвертій ранку.

– Володимире Миколайовичу, яким Ви бачите найближче майбутнє «Софіївки»?

– Плануємо співпрацювати з кластером наукових парків (і вже підписали відповідний меморандум), готувати молоді кадри, створити міжнародну школу садівників і ландшафтників, перейти на енергоощадні технології.

«Софіївка» повинна стати осередком обміну досвідом між українськими й іноземними фахівцями. Сюди мають приїжджати садівники з Франції, Німеччини, Великої Британії, інших країн, у кожній з яких застосовуються власні підходи, культура догляду, мистецькі особливості – залежно від традицій і кліматичних умов. Українські фахівці з садово-паркового мистецтва, зокрема працівники «Софіївки», побували в різних куточках світу і запозичили багато цікавого досвіду. А от про наш досвід за кордоном переважно не знають. Мусимо заповнити цю лакуну.

Ми також вважаємо, що потрібно більше фондів і більше додаткового фінансування для науки, тому що в нинішніх реаліях бюджетним установам буде дуже важко вижити, і навіть по закінченні війни вони не отримуватимуть належних коштів від держави. Тому варто вже зараз створювати дієві та життєздатні структури, які з різних джерел дофінансовували б такі установи, як наш дендропарк. Якась частина науки може бути прибутковою – їй потрібно дати можливість продавати свій продукт, щоб дотувати дослідження й одержувати результати високого рівня. Ми усвідомлюємо, що покладатись тільки на базове фінансування – це зараз шлях у нікуди. Тому «Софіївка» шукає альтернатив, боремося за гранти і самі збираємось долучитися до створення фонду для підтримки фундаментальної науки. Маємо пропозиції, великий досвід і велике бажання працювати. Головне – втілити це все у життя. За останні 20 років нам багато чого вдалося, і вірю, що в наступні 20 років вдасться ще більше. На мій погляд, немає безнадійних ситуацій і немає нічого неможливого. Часом потрібно вміти зробити те, що необхідно, навіть коли ресурси вичерпано. Найлегше сказати: не можу, бо немає коштів чи ще чогось. ...На початку вторгнення на рахунку «Софіївки» лишалось 19 000 гривень, а людям необхідно було платити зарплату, потрібне було пальне. Після того, як нафтопереробні заводи розбомбили, воно

продавалося тільки на чорному ринку. Але ми знайшли вихід, зрушили з мертвої точки. Зіштовхнули свій корабель з мілини – і він поплив. Світ не без добрих людей. Нам простягли руку допомоги. І не раз. Тому не варто просто сидіти і чекати, доки хтось дасть. Почніть із себе – працюйте, шукайте. Вдихайте життя у те, що робите, і ваша справа житиме.

Дуже хочемо привабити молодь, оскільки це рушійна сила всіх процесів, і науки – теж. В українській науці – і в академічній, і в університетській – існує великий віковий розрив: замало дослідників середнього віку, які є сполучною ланкою між старшим і молодшим поколіннями. Цю проблему теж необхідно розв'язувати, тому що її негативні наслідки даються взнаки протягом десятиліть. Передусім слід заохочувати молодь не тільки йти у науку, а й лишатись у науці і передавати досвід наступникам.

До 230-річчя «Софіївки», яке відзначатиметься 2026 року, готуємо стратегію її розвитку на наступні півстоліття. Плануємо багато амбітних і кардинальних кроків.

– Запитання наприкінці четвертого року повномасштабного вторгнення РФ: як війна вплинула на Вашу роботу і змінила життя «Софіївки»?

– Було складно, як я вже розповідав, але ми і під час війни продовжували працювати, виконали всі заплановані ремонтно-реставраційні роботи, не використовуючи бюджетних коштів, а тільки з допомогою тих-таки меценатів і позабюджетного фінансування. Ми навчилися працювати з багатьма фондами, зокрема й міжнародними. Розширили свою участь у грантових програмах, щоби мати додаткові можливості для досліджень.

Сподіваюся, «Софіївка» й надалі лишатиметься однією з ключових установ нашої Академії наук. Бо ми не стоїмо на місці, а розвиваємось і рухаємось уперед.

Крім того, ми стали частиною двох культурних маршрутів Ради Європи – маршруту Асоціації «Європейський маршрут історичних садів» і Європейського маршруту Леонардо да Вінчі. Це популяризує «Софіївку» серед європейців як науковий, туристичний та історичний об'єкт України. Адже наш парк одночасно і демонструє високий науковий рівень, і зберігає історико-культурну спадщину.

Маємо й інші плани на майбутнє. Хочемо створити на базі «Софіївки» науковий парк як неурядову організацію. А поки що працюємо і допомагаємо тим, хто обороняє нашу державу.

Щиро сподіваюся, що, попри війну і всі негаразди, «Софіївка» розвиватиметься. І розвиватиметься якнайкраще!

**«СЕРЕДНЬОВІЧНИЙ КИЇВ
БУВ СПРАВЖНІМ МЕГАПОЛІСОМ,
А ПОДІЛ – ТОРГОВЕЛЬНИМ ХАБОМ»**

**НАТАЛЯ
ХАМАЙКО**



квітні 2022 року журнал «Science» повідомив про наукові результати зі статті «Моржі на Дніпрі: нові докази міжконтинентальної торгівлі гренландськими моржовими бивнями в Середньовіччі», що вийшла друком у фаховому рецензованому виданні «Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences». Це спільна публікація молодшого наукового співробітника відділу «Наукові фонди» Інституту археології НАН України Наталі Хамайко та її норвезьких і британських колег. Про те, як ця робота розширює обрії науки, вчена розповіла в інтерв'ю пресслужбі НАН України.



Розчищення згорілої споруди II половини XII століття з німецьким мечем типу «BENEDICTUS» на території садиби I Спаського розкопу на Подолі. Звідси походить гральна кістка із моржевого бивня

— Пані Наталю, розкажіть, будь ласка, що Ви досліджували останнім часом.

— Дослідження у мене доволі різнопланові. Кілька останніх базуються на матеріалі зі Спаського розкопу (названого за вулицею Спаською, де й тривали археологічні дослідження) на київському Подолі, де ми з колегами працювали з перервами у 2007–2011 роках. Матеріал звідти численний і різноманітний (зокрема й остеологічний, тобто кістки тварин), на його основі опубліковано вже декілька наукових статей — про стратиграфію і геологічне формування Київського Подолу, середньовічні настільні ігри, плінфу, імпортоване флюоритове намисто, західноєвропейський (німецький) меч та інші. 2021 року вийшла наша спільна з археозоологами публікація «Не хлібом єдиним: м'ясо та риба в раціоні мешканців Київського Подолу за часів Ярослава Мудрого», що активно обговорювалася в українській науковій спільноті. Але матеріалу для опрацювання лишається ще багато.

Спаський розкоп — це взагалі величезний пласт інформації. Та ще й хронологічно дуже добре поділений завдяки подільській стратиграфії. Річ у тім, що Поділ — як територія та географічна структура — формувався за часів Київської Русі під впливом двох головних чинників. Перший з них — повені. Коли дніпровська і деснянська повені збігались у часі, на Поділ виносилася велика кількість річкового піску (бо ж Десна є дуже піщанистою річкою) і осідала алювіальними відкладами. Другий чинник — делювіальні змиви з київських пагорбів. Ці шари чергувалися, тож кожен культурний шар нарастив окремо. Саме вони й розділяли культурні нашарування, які лишали тут люди. І саме завдяки ним ми маємо добре уявлення про датування окремих житлових горизонтів.

— Це, мабуть, зручно.

— Так, для археологів це дуже зручно. Часто при розкопках поселень шари не такі потужні, нарастають значно повільніше, і тому можуть датуватись значно ширше, інколи — одразу кількома століттями. Але на Подолі хронологічні межі значно-значно менші — іноді по кілька чи кільканадцять років.

Рештки моржів, яким присвячується публікація, виявлено в шарах, датованих серединою — другою половиною XII століття. Це дуже цікаві шари. Один із них (горизонт 5) утворився внаслідок пожежі, перекритої через короткий час піщаними намивами після повені. Такі горизонти називають «умовно закритими», бо вони дають певний хронологічний зріз за доволі короткий час. І в цьому випадку теж: стихійні лиха — пожежа, а потім сильна повінь — дозволили зберегтись речам, що перебували тоді на згорілих садибах і законсервувались на багато століть до приходу туди археологів.

Гральна кісточка (давньоруською – «зернь») із моржевого ікла. Київ, Поділ, друга половина XII століття



Знахідки з цього шару мають дуже широкий торговельний контекст. Серед них виявлено, наприклад, німецького меча з написом типу +BENEDICTUS, що містить латинський молитовний напис із понад 60 символів. Ця й інші формули зі Святого Письма або молитов, нанесені на леза мечів, були поширені в Західній Європі за часів хрестоносців. Знайдено також імпортовані речі, що представляють візантійську культуру – фрагменти скляного та полив'яного посуду, зокрема «люстрову кераміку», оздоблену кольоровими малюнками з полиском (люстром). Є там речі також зі Скандинавії – гральні фігурки для настільної гри хнефатафль, різьблені з моржевої кістки і самі рештки моржа – фрагменти черепа (передні частини морд цих тварин) з іклами. Давні скандинави відрубували передню частину черепа разом з парою бивнів одразу там, де вполювали тварин, а потім продавали такими парами – частина черепа і пара ікл, що ростуть із нього. Потім оптові торговці видобували ікла з пазах, дрібнили їх і збували по одному або й окремими шматочками. До XIV століття зроблені з моржевої кістки речі були товаром, який зустрічався не лише по всій Європі, а й у всьому світі. Навіть в Африці й Індії, що дивно, бо там є власний матеріал – слонова кістка. Проте вона почала входити у вжиток лише в XIII столітті, і тільки з XIV століття почала домінувати на ринку. Доти ж саме моржева кістка використовувалась як дорогоцінна сировина для різьблення.

У Спаському розкопі на київському Подолі ми знайшли 10 фрагментів моржевих ростр. Це чимало. Більше зафіксовано лише в німецькому Шлезвігу і норвезькому Бергені – по 15 зразків. Але ми ще не до кінця розібрали свою колекцію знахідок, тож можливо додасться ще.

– Крім Києва, в Україні ще десь траплялися такі знахідки?

– Ні, більше ніде немає. Принаймні нам про них не відомо. Один фрагмент моржевого черепа є в Новгороді (РФ). Але здебільшого це відходи сировини. Можливо, там працював майстер-різьбяр.



Фігурки для скандинавської гри хнефатафль, виготовлені з моржевого бивня. Київ, Поділ, друга половина XII століття

– Вочевидь, не кожен міг дозволити собі речі з моржевої кістки. Чи були вони предметом розкоші?

– Звісно, це дуже дорогі, а отже, і статусні речі. Іоанн Цец, візантійський поет, філолог і літератор XII століття, в листуванні зі своїм знайомим єпископом із Доростола (так на Русі в давнину називали портове болгарське місто і середньовічну фортецю Дрѣстьѣр на Дунаї, на північному сході Болгарії; сучасна назва – Сілістра) згадував, що отримав у подарунок різьблену річ (найімовірніше чорнильницю) із «риб'ячого зуба», тобто кістки моржа, бо раніше рибою називали всіх тварин, що плавали у воді, а їхнє м'ясо, як і риба, дозволялось їсти навіть у піст. У давньоруських літописах збереглися згадки про те, що новгородський князь надіслав київському чимало дарів, зокрема й цього ж таки «риб'ячого зуба». До речі, саме з моржевої кістки виготовлено відомий на весь світ шаховий набір Lewis chessmen (XII ст.). Основна частина колекції зберігається в Британському музеї, значно менша – в Національному музеї Шотландії.

У Західній Європі є дорогі різьблені з моржевої кістки єпископські посохи та гребені, а також згадувані вже фігурки з наборів для гри хнефатафль, аналогічні до виявлених у Спаському розкопі. Це доводить, що Київ тоді був великим осередком далекої міжнародної торгівлі, що поєднувала різні куточки середньовічного світу, і, зокрема, засвідчує скандинавський вектор цієї торгівлі. Крім скандинавських, через Київ проходили західноєвропейські, візантійські, східні товари. Наприклад, флюорит, про який я згадувала раніше, ймовірно походить із карпатських теренів сучасної Угорщини або Словаччини – з регіону, де добували цей матеріал. Отже, на той час Київ був справжнім мегаполісом, а київський Поділ – торговельним хабом.

– Наскільки суттєво ці результати розсувають межі попередніх уявлень про історію України, Європи і, можливо, світу загалом?

– Дуже сильно розсувають. Передусім тому, що ніхто не очікував виявити в середньовічному Києві рештки моржів. Для культурних



Приклади різьблення з моржевої кістки

шарів XII століття Русі виготовлені з цього матеріалу речі більше ніде, окрім Новгороду, не відомі. З огляду на літописні повідомлення про подарунки новгородського князя київському, від 2008 року (коли вийшла друком наша стаття, яка містила інформацію про перші три київські зразки виробів із моржевої кістки) до останнього часу ми припускали, що маємо справу з товарами, отриманими внаслідок традиційних промислів народів крайньої півночі. Адже у XII столітті територія Русі значно розширилася, і північні території, де теоретично могли практикувати моржевий промисел, були данниками Новгороду. Проте археологія не підтверджує цієї гіпотези. Оскільки наразі у Новгороді знайдено всього один фрагмент моржевої кістки, а в Києві аж дев'ять, то, напевно, цей товар розповсюджували саме через Київ. Наявність же у Новгороді відходів виробництва з моржевої кістки підтверджує згадку доростольського священника про "різьбу таврів" (так за традицією візантійці називали на той час жителів Русі).

Британський колега з Кембриджа (*Інституту археологічних досліджень імені Макдональда факультету археології Кембриджського університету*) професор Джеймс Барретт (зараз він працює у норвезькому Трондгеймі, відділ археології та історії культури Музею Норвезького університету природничих наук і технологій), бо в Європі науковці дуже мобільні) взяв зразки із наших знахідок для ізотопного і ДНК-аналізу, які свідчать, що це рештки гренландських моржів, упольованих, імовірно, на західному узбережжі острова. Ясна річ, це дуже нас здивувало. Це не лише найбільша, а й найпівденніша така знахідка на теренах Русі. До речі, подібні гральні фігурки з кістки моржа виявлено також у Саркелі (на р. Дон у РФ) і в Доростолі (Сілістра, Болгарія). Вони цілком могли потрапити туди саме з Києва.

— Як склалася Ваша співпраця з іноземними колегами, котрі згодом стали співавторами статті про моржеві артефакти?

— Джеймс Барретт давно цікавиться морськими тваринами. Йому знадобилася фахова консультація з приводу виявлення моржів у Києві, і колеги порадили мене — як авторку двох наукових публікацій (2008 і 2018 років) з цієї тематики. Так ми й познайомилися. Поговорили про київську вибірку знахідок із моржевої кістки і про те, що було би добре дослідити їх ретельніше, аби зрозуміти, що це таке. Бо насправді схожих зразків у Європі небагато. Доктор Барретт зацікавився київською колекцією і, скориставшись методикою *chaîne opératoire*, він довів, що частина черепів була оброблена за такою ж технологією, що і черепи, виявлені у Бергені. А подальші аналізи виявили генетичну подібність більшості особин до західно-атлантичної клади.

Інший наш співавтор, доктор Бастіаан Стар з Осло (*Центру екологічного й еволюційного синтезу факультету біологічних наук Університету Осло*) виконував ДНК-аналіз київських знахідок. На його думку, дослідження дало достовірний результат, якому можна довіряти, завдяки хорошій збереженості кісткової тканини. Зазвичай, щоб упевнено оперувати результатами ДНК-аналізу остеологічного матеріалу з археологічних розкопів, достатньо їхньої збереженості на рівні близько 10–20%. У нашому ж випадку збереженість значно вища — 60–70 %. Але це не єдиний цікавий результат аналізів. Наприклад, ми виявили, що частина виявлених черепів належить самицям моржів. Це свідчить про те, що у другій половині XII століття значно поменшало самців, зокрема найбільших і найстарших, ікла яких були довгими й, відповідно, коштували дорожче, бо з них можна було виготовити великий виріб. А отже, задля збереження позитивного торгівельного балансу скандинави почали забивати самиць, просто винищувати колонії гренландських моржів, що, без сумніву, вплинуло на довкілля. Київські знахідки якраз фіксують перехідний момент, і Джеймс Барретт доводить це — серед іншого, й на основі нашого матеріалу. Тобто, крім історичного, наша робота має й екологічний аспект.

На щастя, моржеві колонії у Гренландії не зникли й існують досі. Можливо, через зростання популярності слонової кістки. Можливо, тому, що під час шлюбного періоду один самець цього виду може запліднювати одразу кількох самиць, тож втрата самців не сягнула критичного рівня. А можливо, тому, що популяція моржів на острові скоротилася настільки, що промисел став нерентабельним і занепав. А згодом зникли й тамтешні скандинавські поселення. Напевно, через віддаленість від континентального суходолу, бо власних продуктів харчування, деревини й інших товарів у Гренландії не було — все найнеобхідніше доводилося довозити, а такі експедиції були не лише

дорогими, а й небезпечними. Чому взагалі почали забивати цих моржів? У X столітті через глобальне потепління на Півночі підтанули льодовики – і скандинавам відкрилися не доступні доти шляхи. Вони допливли до Ісландії, Гренландії і навіть до берегів сучасної Канади, дослідили ці нові території, побачили нові можливості. Зокрема, почали торгувати моржевою кісткою. У XIV столітті клімат на планеті змінився знову. Це був початок тривалого періоду похолодання – Малої льодовикової доби.

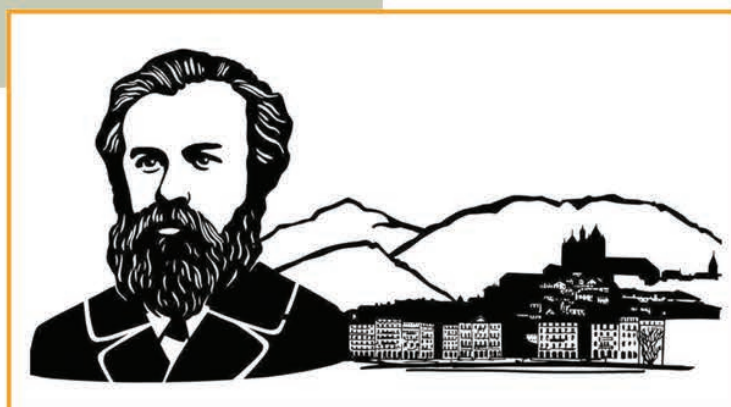
– Як на Ваше життя й наукову діяльність вплинула війна?

– Російське вторгнення, що застало нас 24 лютого 2022 року, кардинально змінило моє наукове життя. Буквально з перших годин я почала отримувати запрошення від іноземних колег з усього світу. І хоча спочатку навіть не замислювалася над тим, щоб виїхати, зрештою опинилась у Німеччині і почала працювати в складі GWZO (Інституту історії та культури Центральної і Східної Європи, який належить до Асоціації Ляйбніца). Для мене це стало одночасно викликом, випробуванням і відкриттям можливостей – передусім через те, що стиль роботи й організація процесу досліджень інші. Для науковців, які виїхали з України після початку повномасштабного вторгнення, це переважно можливість працювати завдяки стипендіальній підтримці. Тому ми намагаємось організувати наше наукове життя від проекту до проекту. До того ж, моя родина залишилась в Україні: чоловік залучений до військової служби, мама живе і працює на самому північному краю Чернігівської області, брат – у Чернігові. Щоб побачити їх, мені доводиться постійно їздити з Німеччини в Україну, витрачаючи два дні на дорогу в один бік, що складно не тільки через втрату цього часу, але і просто нелегко фізично. Тому намагаюсь допомагати, чим можу, збираю гуманітарну допомогу і сподіваюсь на краще.

З іншого боку, робота в Німеччині – це можливість отримати фінансування не лише на забезпечення особистих потреб, а й на дослідження. В Україні це і до початку повномасштабного вторгнення було складно зробити, а тепер і поготів. У Лейпцигу я не одна, там зібралось кілька колег з України. І це трохи допомагає морально, оскільки позбавляє відчуття ізоляції. Ми намагаємось використати цей час і можливості, які маємо, щоб зробити вартісні аналізи археологічних матеріалів і вивести наші дослідження на світовий рівень. І цей шанс теж варто використати сповна.

ШВЕЙЦАРІЯ, УКРАЇНА, ЄВРОПА У СВІТІ МИХАЙЛА ДРАГОМАНОВА. ТЕРНИСТИЙ ШЛЯХ ДО СВОБОДИ...

ОЛЕКСІЙ
ЯСЬ





Михайло Драгоманов – масштабна та парадоксальна постать української інтелектуальної історії, політики, культури, науки й освіти. А ще – недооцінений інтелектуал, який синергував ідеї соціалізму, лібералізму й анархізму, найбільший український адепт європейської цивілізації та культури ХІХ століття. Водночас Драгоманов – перший політичний мислитель, який однозначно пов’язав український проєкт із європейським поступом. Найменше відомо про його еміграційну, точніше – Женевську добу (1876–1889). Це й стало фокусом швейцарсько-українського проєкту, який об’єднав науковців з Інституту історії України НАН України й Університету Лозанни під керівництвом члена-кореспондента НАН України Олексія Яся і професора Бели Капоссі. Проєкт стартував на початку 2025 року в межах міжнародної конкурсної програми Національного фонду досліджень України та Швейцарського національного наукового фонду, яку фінансує швейцарська сторона.

Що варто знати про Михайла Драгоманова як одного з найвидатніших українських і європейських політичних мислителів ХІХ століття? Чи випадково він обрав Швейцарію, коли емігрував з осійської імперії? Яким бачив успішний український національний проєкт? Про все це Олексія Яся розпитала пресслужба НАН України.



– Олексію Васильовичу, чому саме Михайло Драгоманов? Чим ця постать цікава? І чого ми, українці, можливо, не знаємо чи не пам'ятаємо про нього такого, що варто було би?

– Перше: Михайло Драгоманов народився 1841 року і прожив майже 54 роки. На 14 років менше ніж Грушевський, і на 6 менше ніж Франко. Є багатотомне видання творів Франка – понад 50 томів і ще додаткові. У Грушевського видано приблизно половину томів із запланованих п'ятдесяти. А як щодо текстів Драгоманова? В його бібліографічному покажчику близько тисячі праць. За оцінками різних фахівців, це від 20 до 30 повноцінних, себто великих томів. І до сьогодні вони навіть попередньо не окреслені...

Друге: Драгоманов – це інтелектуал дуже великого масштабу. За своїми інтересами він – енциклопедист. Як і Грушевський, і Франко. Цікавився історією літератури, культури, політикою, етнологією, фольклористикою, освітніми, мовними, конфесійними питаннями. Він – автор спогадів і великого епістолярію. Та головне – Драгоманов був найбільшим українським прихильником європейської культури. Єфремов сказав колись про нього: «Посол української культури при європейському дворі». Історія Драгоманова – це значною мірою не тільки історія України, а й історія Європи. Він вважав світ і Україну частиною поступового загальнолюдського, космополітичного процесу. І стверджував, що успіх українського проекту – бути серед народів Європи, в європейській цивілізації. Це ще одна причина, щоби зацікавитися Драгомановим.

І третє: він був палким прихильником компаративістики ХІХ століття. Так, за взірцем знаменитої теорії мандрівних історій Теодора Бенфея. Драгоманов порівнював народи, країни, різні епохи, факти, особистості, явища, процеси. Крім того, ми маємо справу з особистістю, котра не є одномірною. Інтелектуалів ХІХ століття звикли уявляти дуже спрощено. Наприклад, якщо людина є прихильником поступу, то цей поступ тлумачиться як лінійний рух, від нижчих щаблів до вищих (це найпростіший приклад). Але у Драгоманова не так. Дуже часто ми вихоплюємо з текстів Драгоманова якісь окремі моменти, фрагменти його мислення, тоді як, напевно, найпроникливіший інтерпретатор його творчості, Іван Лисяк-Рудницький, зауважив: «Драгоманов – це системний мислитель».

– В останні роки особливо популярним став його вислів про те, що наприкінці ХІХ століття, коли Гетьманщина руками Російської імперії поквиталася зі своїми давніми ворогами – Османською імперією та Річчю Посполитою, – головною проблемою для Гетьманщини, для українців стає сама Російська імперія. Що ще з його доробку може бути релевантним для сучасної України?

– Останню ідею, про яку Ви згадали, Драгоманов виклав у своїй відомій праці з метафоричною назвою «Пропащий час. Українці під московським царством (1654–1876)» (вона вийшла вже після його смерті, 1909 року). Передусім варто розуміти контексти цієї праці. По-перше, чому «пропащий час»? Драгоманов вважав, що історія України рухається в орбіті європейської культури. Так, із запізненням, із проблемами, але рухається. А от Переяславську угоду 1654 року він вважав аномальною, бо злучалися республіканське Запоріжжя і боярсько-царська Московщина. Тобто поступово відбувався збій програми європейського розвитку. Відхід від європейських зразків – з культурного, політичного, соціального погляду, найбільше протягом XVIII і далі у XIX столітті. Проте не можна сказати, що цей розвиток завмер, зупинився повністю. Принаймні так гадав Драгоманов. 1861 року звільнили селян, і це важливо. Але не було політичної свободи, політичних прав, повсюдно затримувалась емансипація і майже всі її сфери – культурна, освітня, соціальна, господарська, гендерна...

Дуже невеликим був прошарок людей (земців), які виступали просвітниками. Той же громадівський рух із його культурною і науковою програмою у багатьох аспектах розгортався як спосіб модернізувати, поліпшити імперію. Громадівці прагнули створити початкові можливості для дальшого розвою українства... Бо що таке поступ для Драгоманова? Це не досягнення ідеального суспільства чи якогось вищого майбуття, як у багатьох позитивістів. Це поліпшення суспільної природи. За рахунок того, що, по-перше, ліпшою має стати людина, а по-друге, має кардинально змінитися громада, здолати свій шлях історичної еволюції. А чи можливо це без базових засад суспільної свободи? Звісно, ні. Тому «пропащий час» – це час, втрачений для такого політичного, культурного, соціального розвитку. Але реформа 1861 все ж відбулася, і пізніше, на початку 1870-х років, Драгоманов писав: «наша справа значною мірою зроблена» цією реформою, і тепер нам треба «рухатися дорогою європейського поступу». Але що далі? Відбулося польське повстання 1863 року, а в його результаті – зауважте, урядова і громадська компанія проти... українофілів і заборона... українського слова. Попри те, що це було польське повстання, польські видання в Російській імперії публікувалися, а українські – заборонялися. Після петербурзької «Основи» не виходило майже нічого. Парадокс! Уявіть як болісно сприймали таку ситуацію тодішні українські діячі...

Але і це ще не все. У Російській імперії розпочалася вторинна модернізація, запізнiла, сповільнена, суперечлива. Проте на якомусь етапі поступ став половинчастим, збився на манівці, як писали сучас-

ники... Драгоманов щиро сподівався, що ситуація зміниться і, хоч із запізненням, але імперія буде рухатися «спільною дорогою вселюдського поступу». Та цього не сталося, принаймні так, як на це сподівалися одразу після 1861 року. 1876 року вчергове заборонили українське слово. На додачу радикалізувався революційний рух: почалися терористичні практики, агітація, ходіння в народ. У відповідь – урядові репресії. 1881 рік – царевбивство. І знову урядові репресії проти революційного терору. Чи добре це було для поступу? На думку Драгоманова – звісно, ні. Вже в еміграції у Женеві він писав: «Ми не будемо танцювати над трупом ворога танок канібалів». Тобто до терору він ставився негативно. Та, разом із тим, вважав, що людина має право захищати себе, своє житло від вторгнення, провокацій «розбійників третього відділення» (орган політичної поліції).

Отже, «пропащий час» – це дуже цікава та влучна метафора. Але у Драгоманова є ще одна – «плебейська нація», тобто нація, яка втратила свою аристократію, або ж, якщо послуговатися сучасною термінологією, еліту. Через зросійщення, ополячення, онімечення. Як подала ця метафора? Драгоманов писав, що європейські соціалістичні організації, насамперед французькі, мають зважати на потреби й інтереси недержавних націй. І спершу поширював метафору «плебейська нація» на практики соціалістів Західної Європи, а потім переніс її на українські терени і застосував до українців. Пізніше, десь в останній чверті ХХ століття, в українській діаспорі точилася гостра дискусія про повну/неповну, комплектну/некомплектну націю щодо історії України та Східної, а почасти Центральної Європи. Певною мірою такі рефлексії походять саме від оцієї метафори Драгоманова.

Драгоманов показує, що попри все Україна у різні епохи за дуже несприятливих обставин жила європейським життям. Деякі вчені – наприклад, Омелян Пріцак і Джон Решетар – навіть писали про женецьку стадію українського національного руху. Отак високо вони оцінювали його діяльність в еміграції.

– Якою є рецепція постаті і доробку Драгоманова в Європі? Зокрема, в тій же Швейцарії? І з чого народився ваш спільний проєкт зі швейцарськими колегами?

Ідея з'явилась у наших швейцарських колег, точніше в українських науковців, які через російсько-українську війну 2022 року опинились у Швейцарії. Йдеться про нашу колегу з Університету Лозанни Анастасію Шевченко. Для Швейцарії постать Драгоманова дуже цікава, бо він ставив її в центр Європи. Він потрапляє до Європи спершу у трирічну вчену подорож, а від 1876 року стає емігрантом. Що його цікавить? Європа з погляду європейської Свободи. Де Свобода є найповнішою в Європі? Він складає уявний рейтинг держав

тодішнього світу. І на першому місці – Швейцарія, федеративна держава без домінуючої державної національності, де спокійно уживаються між собою кілька мов. Ще одна особливість – кантональна демократія і надзвичайно великі права місцевих громад. Вільна мовна, освітня і культурна політика. Те, чого не можна було навіть уявити в Російській імперії, особливо з її заборонами та репресіями.

І найголовніше: Швейцарія була для Драгоманова майже ідеальним балансом між Свободою людини та Свободою громади. Нарешті, у Швейцарії діяло загальне виборче право (з 20 років). На той час, як писав британський історик Ерік Гобсбаум, у світі було лише чотири такі країни (Швейцарія, Франція, Данія, США). Ба більше, у католицьких кантонах виборним було навіть духівництво.

На другому місці в цьому його уявному рейтингу була британська монархія, що несподівано. Чому? Завдяки дуже міцному шару корпоративних і муніципальних прав, традиції парламентаризму. Король, по суті, є гарантом конституційних прав і свобод. Ще один пункт на користь Великої Британії – ефективна бюрократія. А ще – розвинута британська філантропія. І, звісно, повага до жінки та початки емансипації жіноцтва.

На третьому місці для Драгоманова – Сполучені Штати. А Драгоманов вважав, що це перенесення новоєвропейського проєкту, голландської і англійської правових традицій, взірців конституціоналізму – в колонії. Окрім того, для Драгоманова багато важили федеративне об'єднання штатів і особлива роль сенату. Та найголовніше – найкраще виписані права особистості в американській конституції.

Наступні місця посідають Голландія, Бельгія та скандинавські країни (включно з Данією). Голландія – як колишня федеративна держава. Бельгія – тому що там намагались урівняти права фламандської та французької мов в освіті й культурі. Скандинавія – бо там не було дуже сильної централістичної системи, а отже, панував децентралізм і склались особливі відносини між громадами й окремими суб'єктами.

– Це, власне, теж до питання про рецепцію.

– Рецепція була дуже складна і неоднорідна. Уперше Драгоманов потрапив до Швейцарії 1873 року. Це була дуже коротка поїздка до Цюриха, де, як тоді казали, існувала велика «російська» (в лапках!) колонія. Насправді не-російська. Вона складалася з підданих Російської імперії, які належали до багатьох національностей. Чому саме там? Секрет дуже простий – у Цюриху місцевий університет і Вища політехнічна школа першими почали приймати на навчання жінок. З Російської імперії туди записалися більш аніж сто панянок (крім них, там навчались американки, представниці багатьох європейських

країн), бо не треба було навіть складати вступних іспитів. Що відбувалось у цій громаді студенток і студентів, а поруч – політичних емігрантів із Російської імперії, до якої по приїзді потрапив Драгоманов? Вони поділялись, умовно кажучи, на два радикальні табори: прибічників народника Лаврова (симпатика Маркса) і прибічників анархіста Бакуніна. Одні згодом стали пропагандистами, а інші – терористами (як писав Драгоманов, бомбістами). Але і перші, й другі сприймали його як ретрограда... Адже він пропонував здобувати спершу політичну Свободу, а потім – усе інше. Без Свободи нормальна суспільна еволюція не є можливою. Таку думку обстоював Драгоманов.

Європейська рецепція Драгоманова була ще складніша. Існували різні середовища. Серед них – доволі численне анархістське. З одним із колишніх анархістів – графом Анджело де Губернатісом, редактором італійського журналу «Revista Europea» – Драгоманов співпрацював, опублікував у цьому часописі низку публікацій. Товаришував зі знаменитим географом Елізе Реклю, який свого часу був учасником Паризької комуни. Приятелював зі швейцарським природознавцем Карлом Фогтом. Той був з-поміж небагатьох німецькомовних авторів, які негативно оцінювали імперський проект Німеччини (Другий райх), бо це об'єднання відбулося насильницьким шляхом. Тож, з одного боку, анархісти ставилися до Драгоманова стримано, але в багатьох аспектах усе ж симпатизували йому.

Соціалістичне сприйняття Драгоманова теж не було однорідним, бо він у багатьох аспектах був не дуже для них зручний. Наприклад, не сприймав економічного матеріалізму. У листі до Юліана Бачинського, автора «Україна Irredenta», він, як раціоналіст, писав, що людське життя не можна пояснити тільки через економічні проблеми. І в цьому сенсі економічний матеріалізм і класова боротьба Маркса за визнанням Драгоманова – справжня метафізика! Він про це однозначно пише Бачинському... Водночас Грушевський порівнював Драгоманова із соціалістом-ревізіоністом Едуардом Бернштейном. Бернштейн теж із Німеччини емігрував до Швейцарії, але на кілька років пізніше за Драгоманова.

А є ж іще інша дуже цікава рецепція – російська й українська. На ідеї Драгоманова значною мірою орієнтувалися майже всі українські партії лівацького, соціалістичного чи ліберального спрямування кінця XIX – початку XX століття. Все стало дуже складно вже пізніше – після революції і на початку війни України із більшовицькою Росією в 1918 році. Драгоманова одночасно багато діячів і не сприймали, і пристосовували його ідеї до своїх політичних потреб і зацікавлень. Ким його лиш не вважали: соціалістом, лібералом, атеїстом, релігійним вільнодумцем, протестантом, консерватором, революціонером,

еволюціоністом, поступовцем, націоналістом і водночас космополітом... Ситуація змінилася після 1918 року, а ще більше після поразки Української революції 1917–1921 років. Наприклад, драгоманівська ідея про федерацію громад і спілок, близька до ідеалу П'єра-Жозефа Прудона, стала предметом дуже гострої критики і навіть суцільного заперечення спадщини Драгоманова. За версією Драгоманова, федерація була динамічною рівновагою між правами особистості, громад, місцевих спілок, виборних органів самоуправління, котрі делегували обмежені й вибрані права центральній бюрократії. Причому на певний час і з багатьма конституційними обмеженнями. І хоча погляди Драгоманова не були суто соціалістичними – це дуже складний мікс анархізму, соціалізму і лібералізму (причому європейського зразка), – але наразилися з часом на повсюдну націоналістичну і консервативну критику. Донцов і Мухін вкрай негативно сприймали заклики Драгоманова до вселюдськості, гуманізму та космополітизму. На їхню думку, це...

– **...заважає українській національній справі?**

– ...шкодить, руйнує, відволікає від революційної чи жертвовної боротьби. Тому життєву історію й інтелектуальну біографію Драгоманова сприймали та репрезентували контроверсійно. На Драгоманова і його ідеї мимоволі переносили політичний досвід ХХ століття. Недаремно про нього писали пізніші дослідники: давніше – Степан Томашівський у своїй розвідці «Трагедія Драгоманова» (1925 рік), а в наш час – Анатолій Круглашов – у «Драмі інтелектуала...» (2000).

– **Які прогалини має на меті заповнити ваш проєкт? Які ваші пріоритети?**

– Ми зосередились передусім на женецькій, швейцарській добі. Наш проєкт – «Михайло Драгоманов: Швейцарія на українській інтелектуальній мапі Європи». Чому така назва? Мова йде не про ментальну географію чи ментальні мапи, хоч їх не можна виключати. Мапа – спосіб розповісти історію Драгоманова в центрі Європи, у Швейцарії, яка була для нього втіленням найбільшої європейської Свободи.

Ідея нашого проєкту – зрозуміти цей світ: і самого Драгоманова, і його уявлення про Європу. Бо драгоманівські уявлення – це частина інтелектуальної історії Європи. А щоб це осмислити, маємо спершу спробувати з'ясувати, як жив Драгоманов за тих часів. Це виявилось дуже непростою справою. Він лишив по собі багато текстів. Усього життя одного вченого навряд чи вистачить, аби навіть елементарно опанувати їх як слід. Масштаб Драгоманова саме такий. Тож ми міркували, радилися з колегами, що з тим усім робити? Первісно ідею проєкту, як я вже зазначив, виношувала наша колега з Лозаннського

університету Анастасія Шевченко. До речі, вона зі своїми українськими колегами в Європі започаткувала дуже важливу ініціативу «Українська наукова діаспора». Головна ідея – показати, як науковці-українці, які опинилися за кордоном, можуть долучитися і співпрацювати в наших сучасних проектах. Ця ініціатива, а де-факто неформальна мережа вже об'єднує кількасот науковців. Для воєнної й, очевидно, післявоєнної України – дуже важливий, повчальний і цікавий досвід.

Із теплим почуттям маю згадати іншого нашого партнера та колегу – професора Лозаннського університету Белу Фрідриха Капоссі, талановитого швейцарського історика, котрий є щирим другом України й українців. У 2022–2023 роках, коли було найважче, він організував кілька конференцій і заходів з українськими науковцями-біженцями, аби представити їхні здобутки та напрацювання, всіляко допомагав їм адаптуватись на чужині.

Але маю неодмінно сказати і про українських колег. У нашій команді – член-кореспондент НАН України Ярослава Верменич, чудовий фахівець з регіоналістики й історичної географії. У неї масштабне концептуальне мислення й дивовижна працездатність, про що свідчать її численні книжки.

Оксана Юркова, блискучий джерелознавець, один із найкращих в Україні. Вона дуже добре знається на спадщині Михайла Грушевського, передусім є авторкою і лідеркою проекту електронного архіву Михайла Грушевського. Тож ідею архіву Драгоманова запропонувала саме Оксана. Перед нами стояла проблема: як упорядкувати матеріали, особливо у випадку Драгоманова з його морем текстів? Адже будь-який проєкт колись закінчується. А що потім? Можливо, електронна платформа – спершу у вигляді архіву – це заділ на майбутнє. Щоби спробувати далі працювати в цьому напрямі або й ширше – в царині інтелектуальної, політичної та культурної історії XIX, а можливо, і XX століття.

Нарешті, маю сказати про Світлану Блащук, дослідницю з дуже великим хистом у царині цифрової гуманістики. Цифрова архітектура нашого електронного архіву побудована на новозеландській бібліотечній системі Коха. Повірте, це дуже непросто. Світлана й Оксана спеціально навчалися, щоб розробити модель цифрового сховища й адаптувати її до наших потреб. Світлана здобула для цього новий фах! Зауважу, що більшість наших бібліотечних систем досі базуються на модифікованих російських програмних продуктах. Це, на жаль, теж чимала проблема. Наша команда свідомо, хоч і небезболісно обрала інший шлях.

Наш проєкт має кілька завдань. Одне з них, звісно, це підготувати книгу про Михайла Драгоманова. Низку статей ми вже написали – в

експериментальному форматі. Потрібно долучити до цієї справи інших європейських й українських колег. Дехто з них брав участь у наукових семінарах у Лозанні та Києві, що організувала наша команда. Вони мають свої візії і це дозволяє показати Драгоманова з різних масштабів і ракурсів. Ну, і цифровий складник теж є дуже важливим, оскільки це спосіб заповнити певні прогалини.

Певна річ, потрібно ще дуже багато зробити, прочитати й осягнути чимало текстів Драгоманова, а також зрозуміти супутні контексти. А найголовніше – уявити його середовище: женецьке (і ширше – європейське) життя, з ким він спілкувався, контактував, яких впливів зазнавав і на кого сам впливав... Судячи з усього, це чимала кількість осіб. Наприклад, його старша донька згадує, що він був членом кількох наукових товариств у Женеві. Яких? Це теж непросто з'ясувати, хоча є вже певні зачіпки...

Анастасія Шевченко працює зараз у швейцарських архівах. Ми постійно спілкуємось, тому знаємо, що кожна знахідка дається дуже непростим шляхом і потребує тривалої праці. Особливо якщо зважити на мовні, культурні, технічні й інші відмінності швейцарської архівної мережі, порівняно з Україною.

Наша команда буде докладати всіх зусиль, аби успішно реалізувати проект. Провідна мета – представити Драгоманова не тільки як українського, а й європейського мислителя.

– Як на Ваше життя й наукову діяльність вплинула війна?

– Вочевидь, варто вести мову про кілька рівнів сприйняття війни... Передусім для людини (науковці у цьому сенсі не є винятком!) війна – це той момент, коли історія драматично вривається до кожного помешкання, кожної життєвої історії. І в цьому сенсі війна є тотальним, шоковим, катастрофічним часом: дуже сильно загострюються особисті відчуття, переживання, спостереження, повсякденні рефлексії. У певному розумінні війна суцільно маркує і поділяє життєвий час – на довоєнний і воєнний, а у перспективі – ще на післявоєнний. Як історик, я розумів, що війна від 2014 року триває і триватиме, хай як її маркують – як гібридну, приховану, війну малої інтенсивності тощо. Тому поворот до повномасштабної фази війни сприймав як уповні можливий сценарій. Однак одна справа припускати, а зовсім інша – прийняти психологічно й емоційно новітню реальність. Це болісний досвід, який очевидно поділяю з більшістю моїх співвітчизників. Утім, ніколи не вірив, що війна з російським агресором обмежиться відносно стислою тривалістю – протягом тижнів, місяців і навіть років. Гадав, що такі припущення суперечать історичному досвіду. Наприклад, достатньо згадати про

російську військову та політичну культуру XIX–XX століть, зорієнтовану на тривалі, виснажливі, спустошливі війни з величезною кількістю людських втрат...

Щодо фахової проблематики, то вповні очевидно, що воєнна проблематика ввійшла у тому чи тому вигляді до студій майже кожного українського гуманітарія, а тим паче історика. Від 2022 року війна де-факто набула статусу однієї з «вічних» проблем української соціогуманітаристики. Доти я працював переважно у царині української історіографії, інтелектуальної історії XIX–XX століть, а також методології історії. Саме з цієї перспективи намагався поглянути на новітню воєнну історію, позаяк завжди складно писати про події, в які сучасний автор є включеним мимоволі. Наріжний виклик для науковця — як компенсувати цю пізнавальну суперечність... Тому непростий пошук прийнятних сюжетів і контекстів. Одна з моїх книжок — «Темпоральності війни...» (<http://resource.history.org.ua/item/0018335>), присвячена суб'єктивній рецепції воєнного часу в компаративному світлі. Та ця книжка лиш окреслює можливі контури проблеми на дальшу перспективу...

ЗМІСТ

ПЕРЕДНЄ СЛОВО	3
Президент НАН України академік <i>Анатолій Загородній</i> : «Наука – це територія креативу, свободи і демократії».	4
«Інститут фізіології імені О.О. Богомольця НАН України – унікальна наукова установа, на якій тримається вся українська фізіологія». Про проблеми фундаментальної і клінічної фізіології. <i>Біжан Шаропов</i>	14
«Фундаментальні дослідження постачають знання для майбутніх прикладних робіт». Розмова про іонні канали. <i>Ярослав Шуба</i>	20
З пасіки у лабораторію. «Я відчуваю драйв від науки». <i>Олеся Гаврилюк</i>	28
Перехресні стежки науки. Тренд міждисциплінарності. <i>Сергій Костерін</i>	44
Учені Академії знайшли спосіб убезпечити полімерні вироби від вірусів і бактерій. <i>Максим Юрженко</i>	62
Хіміки Академії синтезують гетероциклічні сполуки, перспективні для терапії раку та інфекцій різного походження. Активні речовини для медицини. <i>Марина Качаєва</i>	70
Тріумф хімії. «Люблю хімію за те, що вона дає змогу постійно створювати щось нове». «Робота – моє джерело ендорфінів». <i>Наталія Щербань</i>	76
Тріумф хімії. «Щоб бути науковцем, треба постійно розвиватися». <i>Юлія Шлапа</i>	84
Тріумф хімії. «Хіміки – універсальні фахівці, вони можуть усе». <i>Олена Парійська</i>	92
Маленькі гризуни і великі переселення видів. <i>Лілія Попова</i>	102
Геометрія живого: птахи як біоконструктори. Птахи та їхні предки-динозаври. <i>Оксана Шатковська</i>	108
Дива природи. Кажани та китоподібні як еволюційні унікауми. <i>Ігор Дзевєрін</i>	118
Чорноморський перепис китоподібних. Унікальні китоподібні Чорного моря. <i>Павло Гольгін</i>	134
«Падіння популярності математики в Україні становить загрозу національній безпеці, але цьому можна протидіяти». Математика незвичних застосувань. <i>Олександр Тимоха</i>	146

Київський академічний університет отримав від німецьких партнерів унікальне наукове обладнання. Співпраця КАУ з іноземними партнерами. <i>Олександр Кордюк</i>	160
«Антарктичні дослідження – це внесок у майбутнє, у престиж і економіку країни». «Антарктика не приваблює випадкових людей – тут зустрічаєш лиш унікальних особистостей». <i>Анна Соїна</i>	168
Космічний раритет. Астрономи НАН України відкрили нові унікальні галактики. <i>Дар'я Добричева, Ірина Вавилова</i>	178
Місце краси і сили. Як дендропарк «Софіївка» працює під час війни. <i>Володимир Грабовий</i>	192
«Середньовічний Київ був справжнім мегаполісом, а Поділ – торговельним хабом». Київ – осередок міжнародної торгівлі. <i>Наталя Хамайко</i>	204
Швейцарія, Україна, Європа у світі Михайла Драгоманова. Тернистий шлях до Свободи... <i>Олексій Ясь</i>	212

Науково-популярне видання

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

МАЗУРЕНКО Сніжана Анатоліївна

ЛЮДИ НАУКИ

Розмови з українськими ученими

В оформленні книги використано фото з архівів пресслужби НАН України, науковців та з відкритих джерел (якщо у підписі до відповідного фото не зазначено інше)

Редактор *Олеся Чадюк*

Художнє оформлення *Євгена Ільницького*

Комп'ютерна верстка *Вікторії Каніщевої*

Підп. до друку 22.12.2025. Формат 70 × 100/16.

Ум. друк. арк. 18,20. Обл.-вид. арк. 16,86. Тираж 100 прим. Зам. № 7923.

Видавець і виготовлювач Видавничий дім «Академперіодика» НАН України
01024, Київ, вул. Терещенківська, 4

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 544 від 27.07.2001 р.