

ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор Інституту зоології ім. І. І. Шмальгаузена,
чл.-кор. НАН України
І. А. Акімов



(підпис)
М.П.

АНОТОВАНИЙ ЗВІТ
про виконану роботу у 2020 році в рамках реалізації проєкту
із виконання наукових досліджень і розробок
«Цілісність організму ссавців як фактор стійкості при водному та повітряному способах
життя (на прикладі скелетних ознак)»

Назва конкурсу: Конкурс НФДУ «Підтримка досліджень провідних та молодих учених»
Реєстраційний номер Проєкту: 2020.02/0247

Підстава для реалізації Проєкту з виконання наукових досліджень і розробок (реєстраційний номер та назва Проєкту) 2020.02/0247 «Цілісність організму ссавців як фактор стійкості при водному та повітряному способах життя (на прикладі скелетних ознак)»

Рішення наукової ради Національного фонду досліджень України щодо визначення переможця конкурсу Конкурс НФДУ «Підтримка досліджень провідних та молодих учених» протокол від 16-17 вересня 2020 року № 21

1. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО ПРОЄКТ

Тривалість виконання Проєкту
Початок – 21 жовтня 2020 р.;
Закінчення – 2022 рік.

Загальна вартість Проєкту, грн. 7568000 (сім мільйонів п'ятсот шістьдесят вісім тисяч)

Вартість Проєкту по роках, грн.:

- 1-й рік - 1931111 (один мільйон сімсот тридцять вісім тисяч)
- 2-й рік - 3968889 (три мільйони дев'ятсот шістьдесят вісім тисяч вісімсот вісімдесят дев'ять)
- 3-й рік - 1668000 (один мільйон шістьсот шістьдесят вісім тисяч)

Фінансування відповідає скоригованому фінансуванню.

2. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВИКОНАВЦІВ ПРОЄКТУ

до виконання Проєкту буде залучено 9 виконавців, з них:

- доктори наук 1;
- кандидати наук 3;
- інші працівники 5.

3. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ГРАНТООТРИМУВАЧА ТА ОРГАНІЗАЦІЮ(Ї) СУБВИКОНАВЦЯ(ІВ) ПРОЄКТУ

Інститут зоології ім. І. І. Шмальгаузена НАН України - найстаріша наукова установа загальнозоологічного профілю в Україні. Наукові дослідження проводяться у головних напрямках: Вивчення фауни, еволюційно-морфологічних основ філогенії та систематики тваринного світу України; Розробка наукових основ охорони і раціонального використання ресурсів тваринного світу, проведення його моніторингу в умовах впливу антропогенних факторів; Розробка зоологічних основ захисту і підвищення продуктивності рослин і тварин

4. ОПИС ПРОЄКТУ

4.1. Мета Проєкту (до 200 знаків)

Визначення шляхів інтеграції та перетворення, джерел еволюційних новацій скелетних систем ссавців при зміні адаптивних зон – переходу до повітряного та повністю водного способів життя. Увагу приділено процесам, пов'язаним з продовженням онтогенезу.

4.2. Основні завдання Проєкту (до 400 знаків)

Описати моделі інтеграції функціональних систем в обраних групах ссавців. Описати процеси дезінтеграції та реінтеграції в організмі. Описати закономірності виникнення еволюційних новацій при зміні способу життя. Оцінити швидкість еволюції, зокрема рушійного та стабілізуючого добору. Реконструювати шляхи еволюції цілісності організму в окремих філогенетичних лініях. Визначити гени і відповідні РНК та білки, залучені у молекулярно-генетичні шляхи, що забезпечують продовжений онтогенез.

4.3. Детальний зміст Проєкту:

- Сучасний стан проблеми (до 400 знаків)

Адаптація організмів до середовища відбувається завдяки морфологічній інтеграції, а еволюція і адаптація до зміни умов – завдяки дезінтеграції і реінтеграції. Таким чином, при кардинальній зміні способу життя організм одночасно збільшує та зменшує інтеграцію деяких структур – залежно від того, до якого чиннику він поступово адаптується, а до якого – вже адаптований. Зміна способу життя розглядається нами на прикладі переходів до польоту та плавання (повністю водного способу життя), а в якості модельних груп розглядаються рукокрилі та китоподібні. Показано також, що зменшення морфологічної інтеграції пов'язано з виникненням еволюційних новацій, та обидва процеси можуть бути викликані зміною адаптивних зон.

- Новизна Проєкту (до 400 знаків)

Проєкт є першим дослідженням з узагальнення відомостей з морфологічної інтеграції на рівні скелету як цілого для ссавців при зміні адаптивної зони, який одночасно охоплює адаптації до плавання та польоту. Вперше на прикладі найбільше трансформованих довгоживучих ссавців одночасно оцінюється еволюція інтеграції скелету на рівні організму. Вперше буде одночасно оцінено швидкість рушійного та стабілізуючого добору у морфологічних структурах та регуляторних генах ссавців (окрім приматів), що дозволить пояснити природу еволюційних новацій у ссавців. Крім того, буде проаналізовано можливий зв'язок між генами, що відповідають за регуляцію онтогенезу в групах ссавців з найбільшою абсолютною та відносною (співставно з розмірами) тривалістю життя.

- Методологія дослідження (до 400 знаків)

Традиційна та геометрична морфометрія, побудова багатовимірних морфологічних моделей: збір первинних даних – фотограмметрія, рентгенографія, фотографія, вимірювання. Підготовка мікроморфологічних препаратів (в тому числі, палеогістологія), мікроскопія та комп'ютерна томографія. Математичні методи – факторний аналіз, філогенетичний аналіз, аналіз графів. Біоінформатика – створення пайплайну для пошуку і анотації цільових послідовностей у

відкритих базах даних, встановлення та прогнозування нуклеотидних і білкових послідовностей, аналіз даних.

5. ОТРИМАНІ НАУКОВІ АБО НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ (до 2 сторінок) в поточному році, зокрема:

5.1. Опис наукових або науково-технічних результатів, отриманих в рамках виконання Проекту (із зазначенням їх якісних та кількісних (технічних) характеристик)

1. У ссавців, вторинно адаптованих до водного та повітряного способу життя, знайдені прояви низької інтеграції скелету та його відділів. Для аналізу інтегрованості та модульної структури їх скелету перспективним є використання моделей-графів.
2. Методи дослідження кластеризації складних систем, зокрема, метод головного вектора дозволяють сформулювати альтернативні гіпотези щодо модульної структури об'єктів дослідження на основі моделей-графів. Зокрема, моделі-графи було застосовано для аналізу модульної структури черепа у нічниць на основі 30 краніометричних ознак.
3. Для детального морфометричного аналізу перебудови окремих елементів та скелету в цілому, було створено архів існуючих 3D моделей кісток китоподібних. Наразі в нього входить 52 розділи, окремі з яких включають декілька моделей (окремо відскановані елементи скелету однієї тварини). Дев'ять розділів складаються з моделей, створених виконавцями проекту. Серед них – гігантський еоценовий кит "*Platyosphys einori*" з еоценових відкладів України та *Eocetus schweinfurthi* з Єгипту. Додатково створено архів 2D зображень кінцівок китоподібних. Для скелету вторинноводних ссавців (китоподібних, ластоногих та сирен) запропоновані схеми міток для геометричної морфометрії: череп – 34 мітки, тіло хребця – 14 міток, плечова кістка – 21 мітка, стегнова кістка – 21 мітка.
4. Для аналізу філогенії напівводних китоподібних – протоцетід (21 таксон) запропоновано 116 морфологічних ознак. Отримані значення цих ознак для еоценового кита *Eocetus schweinfurthi*, що дозволить з'ясувати його таксономію та філогенію.
5. Палеогістологічне дослідження китоподібного *Basilotritus* показало унікально високу щільність грудинних ребер та унікальний розподіл компактної кісткової тканини в ребрах, що свідчить про специфічність його адаптацій при переході до повністю водного способу життя. Крім того, в ребрах, а також в компактній кістковій тканині хребців знайдені численні ерозійні отвори. Це може бути пояснене використанням речовин, розміщених в пахіостеосклеротичних частинах скелету, протягом онтогенетичного розвитку, подібно деяким сучасним китоподібним. Це є показником нестабільності середовища.
6. У процесі еволюції нічниць із групи видів *Myotis myotis* — *M. blythii* в напрямку збільшення розмірів відбувалося не тільки зростання загальної інтеграції черепа, а й перебудова системи кореляційних плеяд: зменшення модульності. Схеми модульності черепа досліджених нічниць, одержані різними методами, помітно відрізняються. До того ж, одержані схеми помітно відрізняються від схем, одержаних у інших кажанів. Причини розбіжностей потребують спеціального аналізу. Є потреба у вдосконаленні наявних методів опису модульності — для більш надійного тестування гіпотез і порівняння результатів. Прийнято вважати, що зростання загальної інтеграції має поєднуватися в еволюції зі зменшенням модульності. Стосовно дослідженої групи нічниць це означає, що в процесі їхньої еволюції не тільки зростали загальний розмір черепа та його інтеграція, а й зменшувалася модульність. Це припущення має стати об'єктом перевірки і подальшого дослідження на наступних етапах роботи.
7. Запропоновані схеми міток для геометричної морфометрії черепу рукокрилих: череп – 11 міток, нижня щелепа – 11 міток.
8. Розроблено схему для біоінформатичного еволюційного аналізу генетичних послідовностей, реалізовано перший етап з пошуку та обробки даних - створено датасет, що містить наявні гомологічні послідовності, розроблено скрипт для пошуку та первинної обробки послідовностей. Анотовано гени *Nox13* та *Noxd13* морської свині *Phocoena phocoena*.

9. Підбрано послідовності праймерів для ЗТ-ПЛР для генів Noxa13 та Noxd13 китоподібних з урахуванням їх поліморфізму. Оскільки в зворотному праймері для Noxa13 присутня однонуклеотидна заміна в деяких китоподібних, було запропоновано прямий праймер, зворотний з зворотно-комплементарної послідовності до іншого прямого праймеру.

5.2. За наявності науково-технічної продукції обґрунтування її переваг у порівнянні з існуючими аналогами

Подано до публікації в журнали першого квартиля Scopus рукописи трьох статей, одна з них прийнята до друку.

5.3. Практична цінність отриманих результатів реалізації Проєкту для економіки та суспільства (стосується проєктів, що передбачають проведення прикладних наукових досліджень і науково-технічних розробок)

5.4. Опис шляхів та способів подальшого використання результатів виконання Проєкту в суспільній практиці.

Розроблені та запропоновані методи дослідження – зокрема, схеми міток, алгоритми аналізу, скріпти та праймери після відкритої публікації можуть знайти широке використання в практичних дослідженнях.

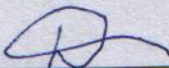
Стратегічні шляхи використання результатів проєкту в цілому:

- а) особливим характером інтеграції організму пояснюються гігантизм, довголіття і стійкість до раку і інфекційних хвороб, а реконструкція оптимальних фенотипів є передумовою проєктування нових біоміметичних структур та апаратів (в тому числі, роботизованих).
- б) дослідження факторів та механізмів довголіття ссавців є актуальним завданням сучасної науки, оскільки містить потенційні рішення для збільшення тривалості життя людини. Суспільна значимість досліджень полягає в можливості застосування отриманих даних з механізмів дії регуляторних генів для розуміння потенційних механізмів пригнічення ракових клітин у людини. В подальшому ці знання стануть корисними при розробці методів боротьби з онкологічними захворюваннями.
- в) потенційний напрям для комерціалізації – використання отриманих даних в розробленні прототипів нових біоміметичних структур, в тому числі, поверхонь, а також механізмів, в тому числі, внутрішніх деталей та каркасів безпілотних водних та повітряних суден прикладного та розважального призначення, різноманіття яких стрімко збільшується.

Примітка: Анотований звіт не повинен містити відомостей, заборонених до відкритого опублікування

Науковий керівник Проєкту
Пров. н.с. відділу еволюційної морфології,
к.б.н., доц.

П. Є. Гольдін



(підпис)