



ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. директора Інституту зоології
ім. І.І. Шмальгаузена НАН України

Віталій ХАРЧЕНКО

(підпис)

АНОТОВАНИЙ ЗВІТ

про виконану роботу в 2021 році в рамках реалізації проєкту
з виконання наукових досліджень і розробок
Цілісність організму ссавців як фактор стійкості при водному
та повітряному способах життя (на прикладі скелетних ознак)

Назва конкурсу: «Підтримка досліджень провідних та молодих учених»

Реєстраційний номер Проєкту: 2020.02/247

Підстава для реалізації Проєкту з виконання наукових досліджень і розробок
(реєстраційний номер та назва Проєкту) 2020.02/247 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 «Підтримка досліджень провідних та молодих учених»
протокол від «16-17» вересня 2020 року № 21

1. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО ПРОЄКТ

Загальна тривалість виконання проєкту 2020 рік – 2022 рік

Тривалість виконання Проєкту у 2021 році

Початок – 30 квітня 2021 р.

(дата укладання Договору про виконання наукового дослідження і розробки)

Закінчення – 15 грудня 2021 р.

Загальна вартість Проєкту, грн. 7330675 грн 00 коп (сім мільйонів триста тридцять тисяч
шістсот сімдесят п'ять грн 00 коп)

Вартість Проєкту по роках, грн.:

1-й рік 1931111 грн 00 коп (один мільйон дев'ятсот тридцять одна тисяча сто одинадцять
грн 00 коп)

2-й рік 3731564 грн 00 коп (три мільйони сімсот тридцять одна тисяча п'ятсот шістдесят
чотири грн 00 коп)

3-й рік 1668000 грн 00 коп (один мільйон шістсот шістдесят вісім тисяч грн 00 коп)

2. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВИКОНАВЦІВ ПРОЄКТУ

до виконання Проєкту залучено 9 виконавців, з них:

доктори наук 2;

кандидати наук 2;

інші працівники 5.

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

Інститут зоології ім. І. І. Шмальгаузена Національної академії наук України

4. ОПИС ПРОЄКТУ

4.1. Мета Проєкту

Метою проєкту є визначення шляхів інтеграції та перетворення, джерел еволюційних новацій скелета ссавців при переході до повітряного та водного способів життя. Проєкт охопить еволюцію і онтогенез тварин з високою тривалістю життя, природний добір у морфологічних структурах та регуляторних генах.

4.2. Основні завдання Проєкту

1. Описати моделі інтеграції скелета в обраних групах ссавців.
2. Описати процеси дезінтеграції та реінтеграції (рудиментації, еволюційні новації) при зміні способу життя.
3. Оцінити швидкість еволюції, рушійного та стабілізуючого добору морфологічних структур та регуляторних генів.
4. Реконструювати шляхи еволюції цілісності організму в філогенезі.
5. Визначити гени, що забезпечують продовжений онтогенез, встановити закономірності їх еволюції у вибраних груп.
6. Проаналізувати зв'язок між механізмами продовження онтогенезу та біологічними показниками.

4.3. Детальний зміст Проєкту:

- Сучасний стан проблеми

Адаптація організмів до середовища відбувається завдяки морфологічній інтеграції, а еволюція і адаптація до зміни умов – завдяки дезінтеграції і реінтеграції. При зміні способу життя організм одночасно збільшує та зменшує інтеграцію деяких структур, часто зі збереженням інтегрованих систем. Зміна способу життя розглядається нами на прикладі переходів до польоту та плавання, а в якості модельних груп розглядаються рукокрилі та китоподібні. З інтеграцією організму пов'язані різноманітні розмірів, довголіття і стійкість до раку. Довголіття притаманне і китоподібним, і кажанам. Водночас всім групам довголітніх ссавців притаманна онкорезистентність, але у китоподібних цей механізм недостатньо з'ясований.

- Новизна Проєкту

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 китів і кажанів одночасно оцінено еволюцію інтеграції скелета. Вперше проводиться філогенетичний аналіз проявів гетерохронії та хід еволюції на рівні груп ссавців з різноманітними розмірами, що зв'язує еволюцію онтогенезу, розмірів тіла та тривалості життя. Вперше одночасно оцінюється швидкість рушійного та стабілізуючого добору у морфологічних структурах та регуляторних генах ссавців (окрім приматів), що дозволяє зв'язати еволюційні процеси на морфологічному та геномному рівнях.

- Методологія дослідження (до 400 знаків)

Блоки роботи: макроморфологія, мікроморфологія, генетика, філогенетика.

Методи досліджень:

1. Традиційна та геометрична морфометрія, побудова багатомірних моделей.
2. Підготовка мікроморфологічних препаратів, мікроскопія, комп'ютерна томографія.

3. Генетичні методи.
4. Математичні методи.
5. Біоінформатика.

Об'єкти досліджень:

1. Таксони: рукокрилі, китоподібні, в тому числі, сучасні та викопні вусаті кити, зубаті кити, «археоцети», представники споріднених таксонів (аутгрупи).
2. Структури: елементи скелету – череп, під'язиковий апарат, хребет, ребра, грудина, пояси кінцівок та кінцівки, бакулюм, зуби; гени: 5'-кінцеві Нох-гени, гени шляху GH-IGF1, їх енхансери, інтрони, некодуючі РНК.

5. ОТРИМАНІ НАУКОВІ АБО НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ в поточному році реалізації Проєкту, зокрема:

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

Зібрано морфологічні дані – проведено 3D сканування, фотографування і обмірювання екземплярів сучасних і вимерлих морських ссавців, зокрема, китоподібних, ластиногих і сирен з колекцій європейських і американських наукових установ, зокрема, України і Грузії, Молдови і Румунії, Данії, Мексики, проведено первинне оброблення 3D сканів та інших зображень, створено 3D моделі. Проведено філогенетичний аналіз тривалості життя китоподібних (54 види), показано, що її еволюція несе філогенетичний сигнал, який у випадках максимального збільшення довголіття не пов'язаний зі змінами загальних розмірів тіла і має розглядатись у багатовимірному морфологічному просторі з урахуванням еволюції вимерлих форм. Здійснено апробацію нових методів кількісного опису та аналізу модульності та інтеграції організму на різноманітному емпіричному матеріалі на прикладі кажанів – представників роду нічниць *Myotis* та їх порівняння з результатами, раніше одержаними іншими методами; результати використано в аналізі структури скелета китоподібних. Показано, що метод провідного власного вектора, застосований для анатомічних мереж топографічних зв'язків елементів скелета і кореляційних плеяд краніометричних і одонтометричних показників, надає істотну додаткову інформацію про структуру складних систем. Здійснено аналіз інтеграції елементів скелета (зокрема, кінцівок) китоподібних і споріднених таксонів методом аналізу анатомічної мережі, побудованої на основі топографічних зв'язків між кістками. Для досліджень різноманіття і еволюції анатомічних мереж скелета ссавців запропонований загальний принцип їх створення за комбінацією: єдина мережа – осьовий скелет (з кінцівками та окремо від них); череп; грудна кінцівка; тазова кінцівка. Цей принцип, реалізований на прикладі китоподібних, дозволяє описати еволюцію і онтогенез скелета в цілому методами теорії графів з можливістю порівняння на широкому колі таксонів. Проведено філогенетичний аналіз анатомічних мереж скелета кінцівок китоподібних і споріднених таксонів (56 видів), виявлено філогенетично значущі показники, описано еволюцію інтеграції скелета кінцівок. Проведено аналіз макроанатомії і мікроанатомії елементів скелета, зокрема, кінцівки еоценових китоподібних. Досліджено кінцівку вимерлого кита, яка є прикладом раніше невідомого для ссавців морфологічного типу. Зведено матеріали для генетичного аналізу. Реалізовано пайплайн для пошуку і анотації цільових послідовностей, встановлені послідовності обраних регуляторних генів – загалом у 117 видів ссавців. Проведено аналіз філогенії та еволюції деяких регуляторних генів ссавців – ортологів 5'-кінцевих НохD-генів, генів шляху GH-IGF1 та відповідних білків китоподібних у порівнянні з іншими ссавцями, а філогенетичний аналіз еволюції генів HOXD10, HOXD11, HOXD12 і HOXD13 проведено для плацентарних ссавців в цілому, проаналізовано тенденції їх еволюції, визначено типи і напрями добору. Показано, що китоподібним притаманні множинні інсерції і делеції гена HOXD13, що призводять до утворення

унікально широкого різноманіття послідовностей, що загалом є вкрай консервативними у наземних ссавців. Також показано, що переважна більшість проявів релаксації добору та рушійного добору 5' НохD-генів притаманна водним ссавцям – зокрема, китоподібним, сиреновим, ластоногим. Серед китоподібних ці прояви переважно зосереджені у зубатих китів класу Delphinida. Розпочато аналіз генетичних даних у порівнянні з морфологічними на прикладі елементів кінцівки китоподібних. Визначена група випадків, коли дезінтеграція морфологічної структури і зростання релаксації добору призводить до зменшення тривалості життя. Виявлені особливості одночасних морфологічних і генетичних еволюційних змін, зокрема, інтеграції скелета кінцівки довголітніх китоподібних. Оpubліковано статті в журналах Evolutionary Biology, Canadian Journal of Zoology, підготовлено для публікації низку статей (зокрема, методичні).

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

В ході проекту отримані оригінальні наукові результати, що не мають світових аналогів, для низки тваринних таксонів, розроблені нові методи, підготовлені наукові публікації (статті у журналах світового рівня Q1-Q2). Отримані нові 3D моделі будови скелета та створені коди для реалізації алгоритмів пошуку і аналізу розміщені у відкритому доступі.

5.3. Практична цінність отриманих результатів реалізації Проекту 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 Проекту в суспільній практиці.

Результати виконання проміжних етапів проекту надають можливість для оцінки потенціалу майбутнього застосування в суспільній практиці (можливості застосування одержаних даних з механізмів дії регуляторних генів для розуміння потенційних механізмів пригнічення ракових клітин у людини, розробленні прототипів нових біоміметичних структур тощо) та вказують на перспективи подальшого розвитку досліджень у найбільш важливих напрямках, зокрема, розроблення відповідних методичних підходів протягом подальших заключних етапів проекту.

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

Науковий керівник Проекту
провідний науковий співробітник
відділу еволюційної морфології
Інституту зоології ім. І. І. Шмальгаузена НАН України

Павло ГОЛЬДІН



(підпис)