

ПЕРСПЕКТИВИ АКВАКУЛЬТУРИ В УМОВАХ КОСМІЧНИХ ПОЛЬОТІВ

А.І. Дворецький, Л.А. Байдак

НДІ біології Дніпропетровського Національного університету

Висвітлений розвиток в Україні напрямку аквакультури в умовах космічних польотів. Підкреслена роль іхтіологічної школи Дніпропетровського університету та її лідера професора Г.Б. Мельникова в його розвитку.

Початок космічного напрямку рибиництва — вивчення механізмів пристосування риб до перебування в космічних умовах та розробки технологій їх вирощування в умовах довготривалого космічного польоту, полягає в дослідних роботах першої в Україні лабораторії космічної гідробіології Дніпропетровського університету. Поява та подальший розвиток цієї лабораторії був зумовлений стрімким розвитком науково-технічного прогресу, актуальними питаннями якого в 50-ті роки ХХ ст., стала підготовка до польотів людини в космос. Теорія та експериментальна методологія лабораторії космічної гідробіології базувалися на ідеях К. Е. Ціолковського, який ще в кінці ХІХ ст. передбачав, що здійснення польоту людини в космос, окрім розв'язання низки технічних проблем, пов'язаних зі створенням та експлуатацією космічних кораблів, зумовить також і необхідність успішного вирішення питань оптимального життєзабезпечення людини в умовах космічного польоту. Під час подолання земного тяжіння біологічні об'єкти зазнаватимуть дії великих навантажень. Як ці навантаження вплинуть на них, чи не зашкодять їм? Для вирішення цих питань в 1891 р. К.Е. Ціолковський висуває ідею "о предохранении слабых вещей и организмов от ударов и толчков и усиленной тяжести посредством погружения их в жидкость равной их плотности" [1], виявивши при цьому глибоке розуміння біологічних проблем. Поглиблюючи цю ідею, він починає розробку загальних принципів організації **замкненої екологічної системи (ЗЕС)**, тобто організації за межами Землі, в герметично замкненому просторі космічного корабля,

системи забезпечення людини повітрям, їжею, водою та утилізації продуктів їхньої життєдіяльності. ЗЕС повинна була забезпечити перебування людини на орбітальних навколосемних станціях та під час тривалих космічних польотів.

З наближенням часу реального здійснення космічного польоту зусилля розробників систем забезпечення перебування людини в космосі зосередилися, в першу чергу, на питаннях розробки надійної системи забезпечення дихання космонавтів (регенерації кисню та очищення повітря від шкідливої вуглекислоти). К.Е. Ціолковський зазначав, що в короткотермінових перельотах космонавти цілком зможуть дихати запасами кисню із Землі. Вуглекислота при цьому буде знешкоджуватися хімічними речовинами-поглиначами (наприклад, лугами). Але в майбутніх довготривалих міжпланетних, а тим більше міжзоряних перельотах, дихання космонавтів зможуть забезпечити лише зелені рослини. Він писав: "Как земная атмосфера очищается растениями при помощи солнца, так же может возобновляться и наша искусственная. Она должна будет, так же как и земная, поддерживать круговорот необходимых для жизни человека веществ кислорода и воды и очищать воздух от углекислого газа" [2].

Після запуску в Радянському Союзі в 1957 р. першого штучного супутника Землі, першого кроку до польоту людини в космос, у СРСР, США та інших країнах світу широко розгорнувся пошук рослин, максимально здатних виділяти кисень та поглинати вуглекислоту. Досить перспективним у цьому плані вважалося культивування на борту космічного корабля

одноклітинної протокової водорості — хлорели (*Chlorella*). До того ж вона виявилася цілком придатною для споживання і спочатку планувалося використовувати її під час польоту для харчування космонавтів. Однак досить швидко з'ясувалося, що як продукт рослинного походження хлорела низькокалорійна і базувати харчування космонавтів тільки на її споживанні не можна. Для повноцінного збалансованого харчування космонавтів, особливо під час майбутніх довгострокових космічних польотів, будуть необхідні свіжі продукти тваринництва (м'ясо, молоко і т.д.). Виходячи з цього, ЗЕС, запропонована К.Е. Ціолковським, мала б складатися з: системи забезпечення дихання космонавтів (зелені рослини — хлорела, автотрофна ланка ЗЕС) і системи постачання продуктів тваринництва космонавтам (гетеротрофна ланка ЗЕС). Але утримання на борту космічного корабля худоби зумовило б необхідність виділення на дуже дорогій і обмеженій території космічного корабля додаткових площ під тваринницькі ферми. І чим довшим планувався політ, тим більші площі під ферми треба було б виділяти. А це б збільшило собівартість польоту та знизило б його ефективність.

У кінці 50-х років ХХ ст. до розв'язання проблем життєзабезпечення майбутніх космонавтів під час довготривалого космічного польоту підключився видатний вчений-іхтіолог, професор Дніпропетровського університету Георгій Борисович Мельников (1904–1973 рр.). Він висунув ідею, що кардинально змінювала підхід до організації майбутніх довготривалих космічних польотів. На його думку, для комплексного розв'язання проблем життєзабезпечення людини в умовах космічного польоту замкнута екологічна система має бути **водною замкненою екологічною системою**. В ній разом співіснуюватимуть водна автотрофна і водна гетеротрофна ланки ЗЕС; під час польоту космонавти будуть забезпечені і киснем для дихання (водна автотрофна ланка ЗЕС) і повноцінним харчуванням рибопродуктами (водна гетеротрофна ланка ЗЕС).

У 1960 р. Г.Б. Мельникова було затверджено науковим керівником нового відділу космічної біології Інституту

фізіології ім. акад. О.О. Богомольця АН УРСР. У 1961 р. він ініціював створення в Дніпропетровському університеті першої в Україні лабораторії космічної гідробіології. Дніпропетровський університет став місцем заснування нового напрямку в рибористві — космічного рибориства. Під керівництвом Г. Б. Мельникова була розроблена оригінальна методика вивчення дії екстремальних космічних факторів (космічного опромінення, невагомості тощо) на поведінку риб — головного об'єкта “гетеротрофної ланки ЗЕС”; були проведені експериментальні роботи з вивчення поведінки риб у герметичних акваріумах, а також раціонів харчування риб на основі хлорели. В 1965 р. в своїй доповіді на І з'їзді Всесоюзного гідробіологічного товариства організатор та науковий керівник дослідних робіт професор Г.Б. Мельников сформулював проблематику, методологію та завдання космічного рибориства і шляхи його подальшого розвитку [3, 4]. Роботи лабораторії космічної гідробіології з розробки водної гетеротрофної ланки ЗЕС, тобто вивчення процесів життєдіяльності риб та чинників, що впливають на життєдіяльність риб в умовах космічного польоту, проводили за трьома напрямками.



Засновник космічного напрямку рибориства в Україні професор Г.Б. Мельников

1. Біологічне обґрунтування включення до водної гетеротрофної ланки ЗЕС риб та зоопланктерів.

Вирощування риб та зоопланктерів (водна гетеротрофна ланка ЗЕС) спільно з одноклітинними мікроскопічними водоростями (автотрофна ланка ЗЕС) в умовах довготривалого космічного польоту було і залишається оригінальним і досить перспективним. Був розроблений метод вирощування риб і зоопланктерів при максимальному використанні для їх харчування хлорели.

На першому етапі досліди проводили на карасі сріблястому (*Carassius auratus gibelio Bloch*). Відпрацьовували методику експериментів, визначали умови утримання риб та оптимальний склад харчових раціонів для них. Паралельно також проводили відпрацювання методики культивування та промислового вирощування хлорели — основи космічних раціонів риб. Уже на цьому етапі була показана можливість використання живих культур хлорели як для біологічної регенерації кисню, так і для годівлі риб у замкнених акваріальних установках, що імітували умови герметичної kabіни космічного корабля. Таким чином, була доведена принципова можливість біологічного співіснування хлорели та риб за умов їх сумісного утримання в довгостроковому космічному польоті [5, 6].

Теоретичне та практичне значення і в наш час мають результати дослідів лабораторії космічної гідробіології з тривалої годівлі живою культурою хлорели зоопланктеру *Daphnia magna*, “живого” корму риб. Була отримана популяція дафній, швидкість розмноження якої при утриманні на монокармі з хлорели протягом понад 7 років, не зменшилась. За біохімічними показниками ця популяція виявилася навіть більш цінною в харчовому відношенні, ніж дафнії, що мешкали в природних умовах. Дафнії утримували разом з живою культурою хлорели в умовах, що імітували герметичний об’єм. При цьому була доведена також і біологічна сумісність хлорели та дафній в умовах космічного польоту. Хлорела забезпечувала біологічну регенерацію кисню для дихання дафній [7–9].

На другому етапі робіт об’єктом досліджень була обрана тропічна теплолюб-

на всеїдна риба тиляпія (*Tilapia mossambica Peters*), яка може рости та розмножуватися в акваріальних умовах з обмеженим вмістом води. Завдяки цьому її можна включати до складу водної гетеротрофної ланки ЗЕС. Треба зауважити, що вибір тиляпій для подальших робіт з космічного рибництва було досить вдалою знахідкою колективу лабораторії космічної гідробіології. Тиляпія — ідеальний об’єкт для експериментів з утримання риб в обмеженому об’ємі води, має достатньо високі смакові якості і є вірогідним претендентом до меню космонавтів.

В експериментах вивчали вплив різних груп кормів: гранульовані корми, що містили або не містили хлорелу; монокарми, що містили тільки хлорелу чи тільки дафнії; полікарми, які, крім хлорели, також мали і такі кормові добавки, як кормові дріжджі або сухі дафнії, та комплекс показників, що характеризували життєдіяльність тиляпії в акваріальних умовах. Було встановлено, що гранульовані корми з хлорелою (I група кормів) забезпечували більш високі темпи вагового та лінійного приросту тиляпій, ніж не гранульовані корми без хлорели (II група). Після 10 міс. годівлі в риб, у раціоні яких були корми I групи, маса збільшилася в 7,1–9,5 рази; довжина тіла в 2 рази. Відповідно у риб, яких годували кормами II групи, — в 3–4 та в 1,5 рази. Корми I групи забезпечували підвищення вгодованості риб приблизно на 10%; тоді як у II групі риб вгодованість зменшилась на 12–15%. Особливо ефективними виявилися корми, що містили як добавки кормові дріжджі. Але надлишок дріжджів за тривалого годування спричиняв функціональні розлади у риб та їхню загибель. У всіх інших варіантах риби залишалися живими до кінця експерименту. Їх фізіологічний стан за динамікою відносних розмірів, масою внутрішніх органів та гематологічними показниками був задовільний. Насамперед це стосувалось риб, яких годували кормами з високим вмістом хлорели. За найважливішими біохімічними компонентами, зокрема вмістом протеїну, м’ясо тиляпій, що одержували гранульовані корми з хлорели, залишалось на початковому досить високому рівні (більше 72% з розрахунком на суху масу) [10, 11]. У м’ясі риб зрос-

тав вміст деяких важливих незамінних амінокислот та провітаміну Д.

Проведені досліді показали високу харчову цінність гранульованих кормів з хлорели для тилапій. Вони забезпечували досить високі темпи вагових та лінійних приростів риб, зберігаючи при цьому задовільний фізіологічний стан організму та високу поживність м'яса. Цей висновок став важливою складовою біологічного обґрунтування включення тилапій до водної гетеротрофної ланки ЗЕС [10, 12].

2. Утилізація продуктів життєдіяльності водних автотрофних та гетеротрофних організмів у складі ЗЕС.

Ці питання ще становлять особливі труднощі при організації довготривалих космічних польотів. Проведені в лабораторії космічної гідробіології експерименти показали, що центрифугат з продуктами життєдіяльності культури хлорели може використовуватися як основа для вирощування кормових дріжджів, які мають для риб високу харчову цінність. Виявилося, що продуктивність дріжджів при вирощуванні на центрифугаті продуктів життєдіяльності хлорели значно більша, ніж вихід біомаси самої хлорели. Біохімічний склад центрифужних дріжджів (передусім амінокислот), давав змогу застосовувати їх як кормові добавки в раціонах риб. Таким чином, утилізація відходів культивування хлорели шляхом вирощування на цих відходах кормових дріжджів може істотно підвищити ефективність ЗЕС.

Вивчали також утилізацію продуктів життєдіяльності риб, рекомендованих для включення до гетеротрофної ланки ЗЕС, шляхом вирощування на цих відходах штамів хлорели, що можуть гетеротрофно рости на органічних речовинах [13].

У серії тривалих експериментів було показано, що дафнії можуть бути використані для утилізації відходів риб. Істотне значення має виявлений в лабораторії космічної гідробіології той факт, що внесення розчинених продуктів життєдіяльності риб у культуру хлорели, а потім згодовування її як єдиного корму дафніям, стимулювало їхній ріст та розмноження. Це ще раз підтверджує доцільність включення риб та дафній до водної ланки ЗЕС [8, 14].

3. Вплив факторів космічного простору та космічного польоту на життєдіяльність організмів-членів водної гетеротрофної ланки ЗЕС.

Біологічне обґрунтування включення тих чи інших організмів до складу ЗЕС було б неповним без вивчення характеру та ступеня впливу факторів космічного простору та космічного польоту на життєдіяльність цих організмів. У лабораторії космічної гідробіології Дніпропетровського університету вивчали дію низки факторів космічного польоту (космічне опромінення, радіальні навантаження, невагомість тощо) на життєдіяльність риб. Визначали межі цих параметрів, за яких порушення в організмі ще не набувають незворотного характеру.

Найбільшу загрозу під час космічного польоту становить вражаюча дія космічної радіації.

У лабораторії космічної гідробіології вивчали вплив рентгенівського опромінення на склад крові у рослиноїдних риб, які разом з тилапією могли бути включені до водної гетеротрофної ланки ЗЕС. Була проведена серія експериментів, під час яких вивчалася дія різних доз опромінення на риб.

Встановлено, що зі збільшенням шару води в опромінюваних ємкостях за інших рівних умов, зростає стійкість риб до рентгенівського опромінення [15, 16]. Проводили також роботи з вивчення впливу рентгенівського опромінення на склад крові та ацетилхолінеразну активність риб.

Також вивчали дію вібрацій на рухові функції риб. Вплив вібрації з частотами 20–40 Гц був слабким або помірним; частота 80–90 Гц найсильніше впливала, призводячи до летального результату. В цьому діапазоні можливі також резонансні явища. За подальшого підвищення частот від 100 до 1000 Гц дія вібрації на організм риби знижувалась від помірного до слабого та дуже слабого. На основі цих експериментів дійшли висновку, що на космічному літальному апараті з рибами на борту слід передбачити віброізоляцію акваріуму, особливо для вібрації в діапазоні частот 50–100 Гц.

Досліді дії радіальних навантажень на риб під час прискорень показало, що за цих навантажень слід враховувати

ступінь та частоту заповнення водою ємкостей, в яких містилась риба.

В умовах короткочасної невагомості (до 25 с) риби втрачали орієнтацію в просторі і плавали в будь-якому положенні — на боку, головою вниз, черевцем до верху та ін. В акваріумах, заповнених водою на 1/10 об'єму, в стані невагомості, риби виплигували в повітря, де втрачали властивість до нормальних плавальних рухів (безпорадно перекидалися при різко зростаючій швидкості переміщень).

Результати робіт лабораторії космічної гідробіології Дніпропетровського університету в галузі космічного рибництва використовували при проектуванні радянських орбітальних космічних станцій. Також вони знайшли широке застосування в “земних” напрямках рибництва. Досліди з вирощування теляпій на гранульованих кормах з хлорели були позитивно оцінені в рибницьких господарствах Казахстану та Середньої Азії, в яких проводили роботи з акліматизації цієї цінної риби в місцевих умовах.

Відкриття явища стимулювання росту та розмноження дафній на кормі з хлорели із добавками продуктів життєдіяльності риб стало основою при розробці рекомендацій з використання протокової водорості хлорели в ставкових господарствах для регулювання в них

первинної продукції та якісного складу зоопланктону. Але при цьому через зоопланктон може відбуватися зараження риб специфічною паразитофауною.

Також перспективними є досліди з розробки ЗЕС вирощування риби у скидних очищених побутових водах. Розробка цього метода може значно підвищити за рахунок отримання додаткової рибної продукції рентабельність очисних споруд [17].

Серед колективу співробітників Георгія Борисовича Мельникова — розробників космічного напрямку аквакультури слід назвати: **Л.М. Анцишкіну**, яка вивчала вплив космічного польоту на паразитофауну риб та культивування дафній; **Н.С. Кириленко**, яка досліджувала якість риби в складі ЗЕС; **В.Я. Мамонтова**, що розробив конструкції установок для організмів в складі ЗЕС, які імітували б умови реального космічного польоту, проводив апробацію результатів досліджень у провідних установках з проблем космонавтики; **Ф.П. Рябова** — автора установки для культивування хлорели та кормових дріжджів, виготовлення кормових сумішей для організмів у складі ЗЕС; **В.Т. Хлебаса**, який вивчав вплив факторів космічного польоту та космічного простору на життєдіяльність організмів у складі ЗЕС.

ЛІТЕРАТУРА

1. Циолковский К.Э. Как предохранить хрупкие и нежные вещи от толчков и ударов // Тр. отделения физ. наук Об-ва любителей естествознания, 1891. — Т. IV, Вып. 2. — С. 17–18.
2. Циолковский К.Э. Собрание сочинений. — М.: Изд-во АН СССР, 1954. — Т. 2. — С. 128.
3. Мельников Г.Б. Задачи гидробиологии в связи с освоением космического пространства // Вопросы гидробиологии. — М., 1965. — С. 283–284.
4. Анцишкіна Л.М., Кириленко Н.С., Мамонтов В.Я., Мельников Г.Б., Рябов Ф.П. Некоторые итоги работ по космической гидробиологии // Вопросы рыбохозяйственного освоения и санитарно-биологического режима водоемов Украины. — К., 1970. — Ч. 1. — С. 5–6.
5. Кириленко Н.С. Использование азотистых веществ хлореллы серебряным карасем // Физиологические основы экологии водных животных. — Севастополь, 1965. — С. 50–51.
6. Анцишкіна Л.М., Кириленко Н.С., Мельников Г.Б., Рябов Ф.П. Об использовании хлореллы как корма для рыб в условиях ограниченного объема воды // Вопросы ихтиологии. — 1966. — № 1. — С. 105–111.
7. Анцишкіна Л.М., Кошель Л.Ф., Мельников Г.Б. Выживаемость *Daphnia magna* в герметических сосудах с хлореллой и без нее // Экспериментальная гидробиология. — Днепропетровск, 1968. — С. 32–37.
8. Анцишкіна Л.М., Апалькова Е.И. Выращивание дафний на среде, содержащей продукты жизнедеятельности рыб // Экспериментальная гидробиология. — Днепропетровск, 1968. — С. 42–45.
9. Анцишкіна Л.М., Дыга А.К., Кириленко Н.С., Мельников Г.Б. Методика разведения *D. magna* в лабораторных условиях // Гидробиологический журнал. — 1970. — № 4. — С. 141–144.
10. Кириленко Н.С. Влияние хлореллосодержащего корма на биохимический состав мяса рыб // Биологические основы рыбного хозяйства республик Средней Азии и Казахстана. — Балхаш, 1967. — С. 166–167.

11. Кириленко Н.С., Мельников Г.Б. Влияние кормления хлореллой на вес, упитанность и биохимический состав различных возрастных групп *Tilapia mossambica Peters* // Экспериментальная гидробиология. — Днепропетровск, 1968. — С. 22–25.
12. Анцышкіна Л.М., Кириленко Н.С., Мельников Г.Б., Рябов Ф.П. К вопросу о содержании рыб (*Tilapia mossambica Peters*) на гранулированных хлореллосодержащих кормах // Биологические основы рыбного хозяйства республик Средней Азии и Казахстана. — Балхаш, 1967. — С. 25–26.
13. Кравец В.В., Мельников Г.Б., Рябов Ф.П. Выращивание культур хлореллы на органических выделениях рыб // Экспериментальная гидробиология. — Днепропетровск, 1968. — С. 12–16.
14. Рябов Ф.П., Кириленко Н.С. Выращивание кормовых дрожжей на прижизненных выделениях хлореллы // Экспериментальная гидробиология. — Днепропетровск, 1968. — С. 17–21.
15. Хлебас В.Т., Кораблева А.И. Влияние рентгеновского облучения на состав крови рыб белого амура // Вопросы радиационной и химической экологии организмов. — Днепропетровск, 1970. — С. 43–49.
16. Хлебас В.Т., Кораблева А.И. Влияние рентгеновского облучения на выживаемость рыб белого амура // Вопросы радиационной и химической экологии организмов. — Днепропетровск, 1970. — С. 50–59.
17. Балан А.И., Калашник В.И., Кириленко Н.С., Мельников Г.Б., Никитин В.Ф., Яланский И.С. Эколого-физиологические исследования по выращиванию растительноядных рыб в очищенных сточных водах // Рыбное хозяйство, 1960. — Вып. 11.

ПЕРСПЕКТИВЫ АКВАКУЛЬТУРЫ В УСЛОВИЯХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ

А.И. Дворецкий, Л.А. Байдак

Освещено развитие в Украине направления аквакультуры в условиях космических полетов. Подчеркнута роль ихтиологической школы Днепропетровского университета и её лидера профессора Г.Б. Мельникова в развитии этого направления.

PERSPECTIVES OF AQUACULTURE IN THE CONDITIONS OF SPACE FLIGHTS

A. Dvoretzky, L. Baydak

The development of aquaculture direction in the conditions of spaceflights in Ukraine is shown. Authors pointed the role of ichthyology school headed by Professor G.B. Melnikov at the Dniepropetrovsk University as a provider in that scientific field.