

## АНОТАЦІЯ

*Трохимчук Р. Р.* Систематика та закономірності географічного поширення тихоходів (*Tardigrada*) Атлантичного океану. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії 091 «Біологія» – Міністерство освіти і науки України. – Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Харків, 2025.

Дисертація присвячена дослідженню систематики та патернів поширення морських тихоходів Атлантичного океану. Морські тихоходи належать до типу *Tardigrada* *Doyère*, 1840 та мають представників як у класі *Heterotardigrada* *Marcus*, 1927, так і у класі *Eutardigrada* *Richters*, 1926. Вони є компонентом мейобентосу (мейофауни) – групи мікроскопічних організмів, які виступають переважно консументами першого порядку або детритофагами в харчових мережах водних угруповань. Відомий так званий «парадокс мейобентосу», який пов'язаний з широким поширенням деяких видів, проте з відсутністю у представників мейобентосу дисперсійних стадій в життєвому циклі. Морські тихоходи є малодослідженою групою через їх мікроскопічні розміри та складність виявлення видоспецифічних ознак. Знахідки морських тихоходів пов'язані передусім з “мілководними” зразками мейобентосу та мають мозаїчний характер. Дослідження географічного поширення морських тихоходів в літературі нечисельні. Це все зумовлює необхідність проведення дослідження систематики, біорізноманіття та біогеографії з поглибленою увагою до глибоководних зразків, та з використанням найбільш детальних методів морфологічних досліджень.

Для здійснення цієї мети нами було проаналізовано літературні дані про знахідки морських тихоходів Атлантичного океану та його прилеглих вод. В результаті, ми наводимо систематичний список 124 видів з району дослідження. Розглянули також дані про батиметричне поширення цих видів.

Проведено інвентаризацію матеріалів з восьми експедицій: PS101 – з підводної гори Карасік, IceDivA1 – з Іберійського басейну, IceDivA2 – з басейну Ньюфаундленду, BIODIAZ – з Азорських островів, Andeep-I, Andeep-II, Andeep-III та Andeep-Systco – з Південного океану. Зразки збирали з батіально-абісальної глибини, від 294 м глибини (BIODIAZ), до 5194 м глибини (Andeep-I). Загалом проаналізовано 1255 особин морських тихоходів.

Дослідження морфології тихоходів проводили методами світлової мікроскопії (диференційно-інтерференційний контраст) та растрової електронної мікроскопії на базі інституту Zenckenberg am Mer, Вільгельмсгафен, Німеччина. В ході роботи ми адаптували методику виготовлення постійних мікропрепаратів як для світлової, так і для електронної мікроскопії. Визначення видової приналежності перевіряли за оригінальними описами, вносили авторські зауваження та примітки.

Виявлення патернів географічного поширення проводили з використанням статистичних методів, що застосовуються в біогеографії (кластерного аналізу та неметричного багатовимірного шкалювання). Створена колекція морських тихоходів, зберігається в Zenckenbergському музеї (Франкфурт-на-Майні, Німеччина).

В результаті аналізу літературних джерел та проведення власних досліджень виявлено, що фауна Атлантичного океану налічує 134 види морських тихоходів, які належать до 11 родин класу Heterotardigrada

(Anisonychidae, Archechiniscidae, Batillipedidae, Coronarctidae, Halechiniscidae, Neostygarctidae, Renaudarctidae, Stygarctidae, Styraconyxidae, Tanarctidae, Echiniscoididae) та 1 родини класу Eutardigrada (Halobiotidae).

Оригінальними дослідженнями в батіально-абісальній зоні Атлантики виявлено 19 видів тихоходів: *Batillipes wyedeleinorum*, *Coronarctus dissimilis*, *C. tenellus*, *Moebjergarctus clarionclippertonensis*, *Chrysoarctus briandi*, *Quisarctus* sp., *Neostygarctus oceanopolis*, *Angursa abyssalis*, *A. capsula*, *A. antarctica*, *A. lanceolata*, *A. lingua*, *Rhomboarctus aslaki*, *Styraconyx qivitoq*, *S. nanoqsunguak*, *S. takeshii*, *Tholoarctus oleseni*, *Tanarctus* aff. *gracilis*, *Isoechiniscoides* aff. *sifae* sp. can.

Використання растрової електронної мікроскопії виявило нові ознаки кутикулярної структури, кігтиків, сенсорних органів та репродуктивної системи семи видів: *Batillipes wyedeleinorum*, *Moebjergarctus clarionclippertonensis*, *Angursa abyssalis*, *A. capsula*, *A. lanceolata*, *Tholoarctus oleseni*, *Isoechiniscoides* aff. *sifae* sp. can. Тихоходи *Quisarctus* sp. та *Isoechiniscoides* aff. *sifae* sp. can. є кандидатами на нові види з огляду на особливості їхньої морфології. Шість видів (*Moebjergarctus clarionclippertonensis*, *Quisarctus* sp., *Angursa capsula*, *Styraconyx takeshii*, *Tholoarctus oleseni*, *Isoechiniscoides* aff. *sifae* sp. can.) вперше виявлено для регіону дослідження.

Показано, що роди *Angursa* та *Coronarctus* поширені по всій абісалі Атлантичного океану. Види *Angursa antarctica*, *Batillipes wyedeleinorum*, *Styraconyx qivitoq*, *Tholoarctus oleseni*, а також роди *Batillipes*, *Styraconyx* і *Isoechiniscoides* та родина Echiniscoididae мають широке батиметричне розповсюдження; вони характерні, зокрема, і для абісальної зони.

На основі результатів кластерного аналізу знахідок морських тихоходів виявили два великі біогеографічні регіони: “Південний океан” та “Абісаль Атлантики”.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в отриманні даних фундаментального характеру, пов’язаних з комплексною оцінкою біорізноманіття та географічного поширення морських тихоходів Атлантичного океану. Представлені значні (1255 особин) знахідки глибоководних тихоходів. Здійснено опис нових видів та наведено нові дані щодо морфології вже відомих видів тихоходів. Результати роблять внесок у розумінні біогеографії морських тихоходів та парадоксу мейобентосу в цілому. Результати досліджень можуть бути використані для формування регіональних фауністичних списків та екологічного аналізу мейобентосних угруповань. Матеріали досліджень можуть бути використані під час викладання курсів “Зоологія безхребетних”, “Навчальна практика з зоології безхребетних”, “Методи мікроскопії в зоології” тощо.

**Ключові слова:** тихоходи, Tardigrada, мейобентос, мейофауна, Heterotardigrada, Eutardigrada, Атлантичний океан, систематика, таксономія, біогеографія, батіальна зона, абісальна зона.

## SUMMARY

*Trokhymchuk R. R.* Systematics and geographical distribution patterns of the Atlantic Ocean tardigrades (Tardigrada). – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation (thesis) for the degree of Doctor of Philosophy 091 “Biology” – Ministry of education and science of Ukraine. – V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, 2025.

The thesis is devoted to the study of the systematics and distribution patterns of Atlantic marine tardigrades. Marine tardigrades belong to the phylum Tardigrada Doyère, 1840 and have representatives in the class Heterotardigrada Marcus, 1927 and the class Eutardigrada Richters, 1926. They are part of the meiobenthos (meiofauna), a group of microscopic organisms that act mainly as first-order consumers or detritophages in the food webs of aquatic communities. There is a so-called “meiofauna paradox” associated with the widespread distribution of some species, but the absence of dispersal stages in the life cycle of meiobenthos representatives. Marine tardigrades are a poorly studied group due to their microscopic size and the difficulty of identifying species-specific characteristics. Finds of marine tardigrades are primarily associated with “shallow” samples of meiobenthos and are mosaic in nature. Studies of the geographical distribution of marine tardigrades in the literature are few. All of this necessitates a study of systematics, biodiversity, and biogeography with in-depth attention to deep-sea samples, and using the most detailed methods of morphological research.

To accomplish this goal, we analyzed the marine tardigrades literature records from the Atlantic Ocean and its adjacent regions. As a result, we present a systematic list of 124 species from the study area. We also considered data on the bathymetric distribution of these species.

An inventory of materials from eight expeditions was made: PS101 – from the Karasik Seamount, IceDivA1 – from the Iberian Basin, IceDivA2 – from the Newfoundland Basin, BIODIAZ – from the Azores, Andeep-I, Andeep-II, Andeep-III and Andeep-Systco – from the Southern Ocean. Samples

were collected from bathyal-abyssal depths ranging from 294 m depth (BIODIAZ) to 5194 m depth (Andeep-I). A total of 1255 individuals of marine tardigrades were analyzed.

The morphology of the specimens was studied by light microscopy (differential interference contrast) and scanning electron microscopy at the Senckenberg am Meer institute, Wilhelmshaven, Germany. In the course of this work, we adapted the methodology of making permanent microslides for both light and electron microscopy. Species identification was checked against the original descriptions, and the author's comments and notes were made.

Patterns of geographical distribution were identified using statistical methods in biogeography (cluster analysis and non-metric multidimensional scaling). A collection of marine tardigrades was created and is stored in the Senckenberg Museum (Frankfurt am Main, Germany).

As a result of the literature analysis and our own research, it was found that the fauna of the Atlantic Ocean marine tardigrades includes 134 species, which belong to 11 families of the class Heterotardigrada (Anisonychidae, Archechiniscidae, Batillipedidae, Coronarctidae, Halechiniscidae, Neostygarctidae, Renaudarctidae, Stygarctidae, Styraconyxidae, Tanarctidae, Echiniscoididae) and 1 family of the class Eutardigrada (Halobiotidae).

The original research from the bathyal-abyssal zone of the Atlantic revealed 19 species of tardigrades: *Batillipes wyedeleinorum*, *Coronarctus dissimilis*, *C. tenellus*, *Moebjergarctus clarionclippertonensis*, *Chrysoarctus briandi*, *Quisarctus* sp, *Neostygarctus oceanopolis*, *Angursa abyssalis*, *A. capsula*, *A. antarctica*, *A. lanceolata*, *A. lingua*, *Rhomboarctus aslaki*, *Styraconyx qivitoq*, *S. nanoqsunguak*, *S. takeshii*, *Tholoarctus oleseni*, *Tanarctus* aff. *gracilis*, *Isoechiniscoides* aff. *sifae* sp. can.

The use of scanning electron microscopy revealed new features of the cuticle structure, claws, sensory organs and reproductive system of seven species: *Batillipes wyedeleinorum*, *Moebjergarctus clarionclippertonensis*, *Angursa abyssalis*, *A. capsula*, *A. lanceolata*, *Tholoarctus oleseni*, *Isoechiniscoides* aff. *sifae* sp. can. *Quisarctus* sp. and *Isoechiniscoides* aff. *sifae* sp. can. are candidates for new species due to their morphology. Six species (*Moebjergarctus clarionclippertonensis*, *Quisarctus* sp., *Angursa capsula*, *Styraconyx takeshii*, *Tholoarctus oleseni*, *Isoechiniscoides* aff. *sifae* sp. can.) were reported first time for the study area. It is shown that the genera *Angursa* and *Coronarctus* are distributed throughout the Atlantic Ocean abyssal zone. The species *Angursa antarctica*, *Batillipes wyedeleinorum*, *Styraconyx qivitoq*, *Tholoarctus oleseni*, as well as the genera *Batillipes*, *Styraconyx* and *Isoechiniscoides* and the family Echiniscoididae have a wide bathymetric distribution; they are present, in particular, in the abyssal zone.

Based on the results of the cluster analysis of the findings of marine tardigrades, two large biogeographic regions were identified: “Southern Ocean” and “Atlantic abyssal zone”.

The scientific novelty of the results obtained is the acquisition of fundamental data related to a comprehensive assessment of the biodiversity and geographical distribution of the Atlantic Ocean marine tardigrades. New species have been described and new data on the morphology of already known species have been presented. The results contribute to the understanding of the biogeography of marine tardigrades and the meiofauna paradox in general. The research results can be used for the creation of regional faunal lists and ecological communities analysis. The research materials can be used in teaching the courses “Invertebrate Zoology”, “Educational Practice in Invertebrate Zoology”, “Microscopy Methods in Zoology”, etc.

**Key words:** tardigrades, Tardigrada, meiobenthos, meiofauna, Heterotardigrada, Eutardigrada, Atlantic Ocean, systematics, taxonomy, biogeography, bathyal zone, abyssal zone.