ANNOTATION

Julia Ivanchikova. Harbour porpoise *Phocoena phocoena relicta* in the Black Sea: spatiotemporal activity patterns, habitat use, conservation. – Qualifying scientific work printed as a manuscript.

The dissertation for a scientific degree of the Doctor of Philosophy on a specialty 091 – «Biology». I. I. Schmalhausen Institute of Zoology, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2024.

The dissertation is focused on uncovering spatiotemporal patterns of activity and assessing habitat use of the harbour porpoise in the Black Sea to help inform conservation.

Increasing knowledge about the ecology of the species can enhance the effectiveness of conservation policies. Understanding sub-regional distribution, spatiotemporal activity patterns and habitat use of harbour porpoises in the Black Sea could provide valuable insights to develop conservation measures aimed to minimize human impact on this endangered population. The elusive behaviour of harbour porpoises has led to the development of acoustic methodologies for studying these small echolocating cetaceans, adding to traditional methods of cetacean research.

Black Sea harbour porpoise (*Phocoena phocoena relicta*) is a small cetacean, a subspecies distributed only in the Black Sea and adjacent waters. It is listed as Endangered by the IUCN (2008) and is threatened by pollution, noise, and very high bycatch – 11,800-16,000 animals annually (Popov et al., 2023). Black Sea harbour porpoises behave cryptically, making the investigation of the ecology of this species challenging. Taking advantage of the very large dataset from the international passive acoustic monitoring BlackCeTrends project (2020-2022), seasonal and diel variation in harbour porpoise acoustic activity was interpreted in the context of the movements and behaviour of their key prey species at the scale of the whole region. The dataset totalled 154,052 hours, recorded at 19 stations along the Black Sea coastline. 1,312,076 Detection

Positive Minutes were extracted from the data, as the measure of presence of harbour porpoises in the direct vicinity of the F-POD.

A total of 16,805 Detection Positive Minutes of harbour porpoise presence were validated manually by the author; error-rates of false-positive signals were determined, which confirmed that the data could be used without editing. The main sources of error for each species group were identified, and the associated error-rates were estimated, which allows F-PODs to be used in other static passive acoustic monitoring projects in the Black Sea.

Strong seasonal and diel patterns were found, which varied between regions. In the south-eastern part of the Black Sea, harbour porpoise acoustic activity was higher from January to May, with a peak in April. This pattern reflects the seasonal anchovy migration from the winter spawning grounds in warmer waters in the south-eastern region to feeding grounds on the productive shallow Northwest Shelf. The diel pattern showed strong nocturnal acoustic activity, which is consistent with anchovy vertical migration. On the Northwest Shelf, harbour porpoise acoustic activity was mostly recorded during the warm period from April to October. The diel pattern showed activity mainly during daylight with two peaks: a smaller one at sunrise and a larger one before sunset. This pattern is similar to the vertical migrations of sprat. Porpoises on the western side of the Black Sea exhibited a bimodal seasonal pattern in acoustic activity, with a larger peak in April and a smaller one in October. Such a pattern suggests a transition between the two extreme patterns observed in the seasonally contrasting south-eastern and north-western parts of the Black Sea. Diel activity was primarily nocturnal. Overall, the results of the study were consistent with prey being the important driver of seasonal and diel dynamics of harbour porpoise acoustic activity.

The main covariates influencing harbour porpoise acoustic activity in the north-western Black Sea were month and temperature. Several other covariates –

Detection Positive Minutes of dolphin presence, distance to the 20 metre depth contour, hour, type of seabed and moon phase, were also found to be significant. Temperature is suggested to be a proxy for prey presence. Preference of porpoises for the seabed types sand or mud, rather than a mixed "sand & mud" type, – was found, which could be connected with benthic prey. Detection Positive Minutes of dolphins showed a negative c correlation with porpoise DPMs, which aligns with the visual observations of the author: porpoises avoiding common dolphins in Hryhorivsky estuary (Ukraine). Moon phase influenced acoustic activity of harbour porpoise but moon illumination did not. This could mean that it is not the amount of light that influences harbour porpoise activity but another factor, such as spring and neap tidal cycles, or distance from the Earth. Generally, this work supported the idea of high heterogeneity in harbour porpoise responses to the environment with prey being the key driver for that.

Static passive acoustic monitoring, used for the first time in the Black Sea, showed its value in research on ecology of the harbour porpoise. A new tool for passive acoustic monitoring, the F-POD, has been validated and its effectiveness demonstrated. Diverse spatiotemporal patterns of porpoise distribution, activity and habitat use were shown within a single water mass, providing evidence for high ecological plasticity of a marine mammal in a limited range. An unusual type of diel activity associated with daytime was discovered for the harbour porpoise.

The practical value of the work is its utility in informing conservation. The results obtained in this work can be used in assessing the conservation status of the Black Sea harbour porpoise populations in the IUCN and Red Book of Ukraine. They are useful for planning conservation measures in this geographic region, especially in bycatch mitigation actions. Consideration of seasonal and diel patterns of porpoise activity when determining management action for the fishery could help optimise bycatch mitigation. Time-area fishing closures have demonstrated their relevance in the other areas.

Knowledge about the atypical diel pattern of harbour porpoise acoustic activity could inform conservation in helping to establishing an IMMA site in the waters of the current area of interest “North-western waters around sandy islands”.
The dataset generated in this study, is the first acoustic database of cetacean monitoring in Ukraine and could be used for further detailed investigation of Black Sea harbour porpoise acoustic behaviour. Modelling used in the study could be applied for monitoring of seasonal presence of animals for developing bycatch mitigation techniques.

Key words: cetaceans, harbour porpoise, Black Sea, ecological modelling, acoustic activity, spatiotemporal distribution, habitat use, seasonality, fish, feeding.

АНОТАЦІЯ

Іванчикова Ю. Ф. Морська свиня *Phocoena phocoena relicta* в Чорному морі: сезонно-добові ритми активності, біотопічний розподіл і охорона. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 091 – «Біологія». Інститут зоології імені І. І. Шмальгаузена НАН України, Київ, 2024.

Дисертаційна робота присвячена виявленню просторово-часових закономірностей активності чорноморської морської свині та оцінці використання оселищ морськими свинями, що покращує планування заходів їх охорони.

Знання про особливості екології виду підвищує ефективність заходів його охорони. Розуміння субрегіонального розподілу, просторово-часових закономірностей активності та використання оселищ морських свиней у Чорному морі надає інформацію для розроблення природоохоронних заходів, спрямованих на мінімізацію впливу людини на популяції цих тварин, яким загрожує небезпека. Через криптичну поведінку морських свиней для вивчення цих малих ехолокуючих китоподібних впроваджено акустичні методи, що доповнило традиційні методи їх дослідження. Морські свині (Phocoenidae), як і інші представники зубатих китоподібних (Odontoceti), використовують ехолокацію для навігації та живлення. Морські свині, зокрема, звичайна морська свиня (*Phocoena phocoena*) видають високочастотні вузькосмугові сигнали в ультразвуковому спектрі 118-150 кГц, що принципово відрізняє їх від широкосмугових сигналів (20-160 кГц) дельфінів – наприклад, афалін (Tursiops truncatus) та звичайних дельфінів (Delphinus delphis), які також населяють Чорне море.

Чорноморська морська свиня (*Phocoena phocoena relicta*) – підвид морської свині, поширений лише в Чорному морі та прилеглих водах. Чорноморська морська свиня внесена до списку МСОП (2008); їй

загрожують забруднення моря, підводний шум та дуже висока випадкова загибель у знаряддях рибальства (прилов) – 11,800-16,000 особин щорічно. Чорноморські морські свині проявляють потайливу поведінку, що ускладнює їх дослідження. В цій роботі з використанням великого набору даних з міжнародного проекту пасивного акустичного моніторингу BlackCeTrends сезонні та добові зміни акустичної активності морської свині проаналізовано та оцінено в контексті сезонних переміщень та поведінки найважливіших об'єктів їх живлення в масштабах Чорного моря. Набір даних складено з 154,052 годин записів акустичними детекторами F-POD, отриманих з 19 станцій уздовж узбережжя п'яти причорноморських країн протягом періоду з 12 вересня 2020 року до 30 жовтня 2022 року. З записів отримано відомості про хвилини присутності (Detection Positive Minutes, DPM) – хвилини, протягом яких було зафіксовано присутність сигналів китоподібних. Загалом у дослідженні проаналізовано 1,312,076 хвилин присутності морських свиней.

Вибірку з 16,805 хвилин присутності китоподібних, морських свиней та дельфінів, перевірено візуально та оцінено на наявність хибно позитивних сигналів. Визначено частку хибно позитивних сигналів, яка виявилася достатньо низькою (0,01%) для того, щоб уможливити використання набору даних без попереднього редагування. Крім того, визначено основні джерела хибно позитивних сигналів – для морських свиней це радари човнів, які можуть видавати ультразвукові сигнали на тих самих частотах, що і морські свині – біля 120 кГц, а для дельфінів основним джерелом помилок стали сигнали морських свиней. Частота продукування помилок цими джерелами також була визначена і виявилася прийнятною для проведення подальших екологічних та моніторингових досліджень в Чорному морі за допомогою F-POD логерів.

В ході роботи виявлено сезонні та добові закономірності активності морських свиней, які відрізнялися між районами Чорного моря. У південно-

східній частині Чорного моря акустична активність морської свині переважно проявляється з січня по травень з піком у квітні. Такий сезонний розподіл узгоджується із сезонною міграцією хамси, яка переміщується з зимових місць нересту в тепліших водах у південно-східному регіоні до місць нагулу на продуктивному мілководному північно-західному шельфі. У добових ритмах у південно-східній частині Чорного моря переважає нічна активність, що співпадає з добовими вертикальними міграціями хамси. Морські свині у західній частині Чорного моря мають бімодальний характер сезонної акустичної активності з піками у квітні та жовтні. Добова активність, як і в південно-східному регіоні, переважно нічна. На північно-західному шельфі акустичну активність морської свині переважно виявлено у теплий період року з квітня по жовтень. Добовий ритм виявив активність переважно протягом світлої пори доби з двома піками: меншим на сході сонця та більшим перед заходом сонця. Цей ритм схожий з добовими вертикальними міграціями шпрота. Загалом результати дослідження показують, що здобич є найважливішим фактором сезонної та денної динаміки акустичної активності морської свині.

На акустичну активність морської свині в північно-західній частині Чорного моря значно впливають місяць року та температура води. Крім того, значущими виявились декілька інших факторів – присутність дельфінів, відстань до ізобати 20 метрів, година, тип донних відкладів та фаза Місяця. Ймовірно температура є показником присутності об’єктів живлення. Виявлено також уподобання морськими свинями окремих типів донних відкладів – окремо піску або окремо мулу, але не змішаного типу «пісок і мул», що може бути пов’язане з особливостями бентосних об’єктів живлення. Присутність (DPM) дельфінів має значущий негативний зв'язок із присутністю (DPM) морських свиней, що узгоджується з візуальними спостереженнями автора: морські свині уникали білобочок у Григорівському лимані (Україна). Показано вплив фази Місяця на

акустичну активність морської свині, тоді як освітленість Місяця як фактор не виявила впливу на моделі. Це може означати, що на активність морських свиней впливає не світло від Місяця, а якийсь інший пов'язаний з Місяцем фактор (серед яких, наприклад, високі та низькі цикли припливів та відпливів, відстань Місяця від Землі тощо). Загалом, робота підтвердила ідею високої неоднорідності реакцій морських свиней на фактори навколишнього середовища і те, що головним серед них є здобич.

Статичний пасивний акустичний моніторинг, застосований вперше в Чорному морі, показав свою доцільність у дослідженні екології морських свиней, як недорогий та відносно невибагливий метод. Проведено валідацію F-POD – нового приладу для пасивного акустичного моніторингу, і показано його ефективність. Різноманітність просторово-часових закономірностей розподілу морських свиней, їх активності та використання оселищ показано в межах єдиного водного басейну – Чорного моря, що свідчить про високу екологічну пластичність цих морських ссавців в обмеженому ареалі. Для чорноморської морської свині було виявлено рідкісний – денний – тип добової активності.

Практична цінність роботи полягає в можливості її застосування для планування мір збереження та охорони китоподібних. Результати, отримані в цій роботі, можуть бути використані для оцінки природоохоронного статусу популяцій чорноморської морської свині у МСОП та Червоній книзі України. Вони корисні для планування природоохоронних заходів у Чорному морі, особливо в діях, направлених на зменшення прилову. Врахування сезонних і денних ритмів активності морської свині при визначенні заходів для рибного промислу може допомогти зменшити прилов. Зокрема в інших частинах світу довели ефективність точкові сезонні обмеження риболовлі у визначених районах.

Знання про нетиповий для Чорного моря характер акустичної активності морської свині є доказом необхідності визначення акваторії, важливої для

морських ссавців (IMMA), у водах акваторії, яку станом на зараз визнано як перспективну для аналізу, – «Північно-західні води навколо піщаних островів і кіс».

Набір акустичних даних, зібраних у цьому дослідженні, став першою акустичною базою даних моніторингу китоподібних в Україні, і він є основою для подальших досліджень особливостей акустичної поведінки чорноморських морських свиней. Моделювання, використане в дослідженні, є перспективним для моніторингу сезонної присутності тварин та для розробки методів зменшення прилову.

Ключові слова: китоподібні, морська свиня, Чорне море, екологічне моделювання, акустична активність, просторово-часовий розподіл, використання оселищ, сезонність, риба, живлення.

The list of publications in which the main scientific results of the acquirer have been published, including those which are listed in international databases:

1. **Ivanchikova J.** and Tregenza, N. (2023) Validation of the F-POD – a fully automated cetacean monitoring system. PLoS One 18, e0293402. doi:10.1371/journal.pone.0293402

2. Popov, D., Meshkova, G., Vishnyakova, K., **Ivanchikova, J.**, Paiu, M., Timofte, C., et al. (2023). Assessment of the bycatch level for the Black Sea harbour porpoise in the light of new data on population abundance. Front Mar Sci 10. doi: 10.3389/fmars.2023.1119983.

3. Gladilina, E.V., Vishnyakova, K.A., Neprokin, O.O., **Ivanchikova, Yu.F.**, Derkacheva, T.A., Kryukova, A.A., Savenko, O.V. and Gol'din, P.E., (2017). Linear transect surveys of abundance and density of cetaceans in the area near the Dzharylgach Island in the north-western Black Sea. Vestnik Zoologii, 51(4): 335-342. doi: 10.1515/vzoo-2017-0038

4. Savenko O., **Ivanchikova Yu.**, Hulak B., Derkacheva T., Sightings of ceataceans in the waters of Yuzhny sea port (Hryhorivsky estuary, Black Sea) in 2015–2016, Proceedings of the Theriological School. 14 (2016): 134–138. http://doi.org/10.15407/ptt2016.14.134

Presentation of dissertation materials

5. **Ivanchikova J**, Tregenza N, Popov D, Meshkova G, Paiu M, Timofte C, Öztürk A A, Tonay A M, Dede A, Özsandıkç U, Kopaliani N, Dekanoidze D, Gurielidze Z, Vishnyakova K, Hammond P, & Gol'din P. (2023). Seasonal and diel patterns in Black Sea harbour porpoise acoustic activity in 2020- 2022. In Séverine Methion, Nathalie Dunel Roig, Joyce G. A. Neves, Olga Mosca, & Bruno Díaz López (Eds.), 34th European Cetacean Society Conference Abstract book (p. 113).

6. **Ivanchikova J.** and Tregenza N., The Error Rate of Acoustic Detections of Cetaceans in the Black Sea, Book of Abstracts of the 17th Annual Conference UK and Ireland Regional Student Chapter of the Society for Marine mammalogy, St Andrews, Scotland, 2023, (p.26)

7. **Ivanchikova J. F**., Gol'din P. E., Tregenza N. Seasonal and diel patterns of behaviour of cetaceans in the north-western Black Sea in 2020-2021, Abstract book of the Conference of young zoologists – 2022 (Kyiv, Institute of zoology, October 11-12, 2022). – Kyiv, 2022. – 21 p. – (Zoological courier, No 14.), 10.

8. D. Popov, P. Gol'din, G. Meshkova, K. Vishnyakova, **J. Ivanchikova**, M. Paiu, C. Timofte, A. Ozturk, A. M. Tonay, M. Panayotova, E. Duzgunes "Assessment of bycatch level for the Black Sea harbour porpoise in the light of new data on population abundance", Abstract book of the 33rd Conference of the European Cetacean Society - 2022 (Ashdod, Israel, 5-7 April,2022) p. 72

9. **Ivanchikova Y. F**., Kondakov A. O., Vishnyakova K. O., Abramiuk I. I., Feya O. D., Gol'din P. E. Activities of the Black Sea harbour porpoise Phocoena phocoena relicta Abel, 1905 in the rivers of the Northern Black Sea in 2012-2019, Abstract book of the Conference of young zoologists – 2019 (Kyiv, Institute of zoology, November 13-14, 2019). – Kyiv, 2019. – 26 p. – (Zoological courier, No 13.), 12

10. **Ivanchikova Yu. F**., Migush T.O., Gulak B. S., Savenko O.V. Seasonal distribution of the Black Sea harbour porpoise Phocoena phocoena relicta Abel, 1905 in the waters of Hryhorivsky Estuary and the adjacent area of the Black Sea in 2015-2018, Abstract book of the Conference of young zoologists – 2018 (Kyiv, Institute of zoology, November 14-15, 2018). – Kyiv, 2018. – 26 p. – (Zoological courier, No 12.), 13.

11. Gol'din P., Gladilina E., Savenko O., Vishnyakova K., Neprokin O., **Ivanchikova Yu**., Hulak B., Derkacheva T., Kryukova A., Polyanska K., Voit T. 2018. Dzharylgach: a newly discovered important area for cetacean conservation

in the north-western Black Sea. Abstract Book 32nd Annual Conf. European Cetacean Society, La Spezia, Italy, 162.