XI НАЦИОНАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ВОДНЫЕ БИОРЕСУРСЫ, АКВАКУЛЬТУРА И ЭКОЛОГИЯ ВОДОЕМОВ»

XI NATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE "AQUATIC BIORESOURCES, AQUACULTURE AND ECOLOGY OF WATER RESERVOIRS"

СОДЕРЖАНИЕ
CONTENTS

СЕКЦИЯ «БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ ВОДОЕМОВ, АКВАКУЛЬТУРА, ИХТИОПАТОЛОГИЯ И ГИДРОБИОЛОГИЯ»

SECTION "BIOLOGICAL RESOURCES OF THE WATER RESERVOIRS, AQUACULTURE, ICHTHYOPATHOLOGY AND HYDROBIOLOGY"

Dbar R.S., Gamakhariya P.J. Factors influencing the formation of wintering aggregations of the Azov Black Sea anchovy (*Engraulis encrasicolus*, Linnaeus, 1758) off the coast of Abkhazia in the period 2011/2023 3

Авдеева Е.В., Казимирченко О.В. Микрофлора карпа и растительноядных рыб, выращиваемых в учебно-опытном хозяйстве КГТУ в 2022-23 годах 10

Алдушина Ю.К. Некоторые морфометрические параметры густеры (*Blicca bjoerkna*, L.) озера Мариново Калининградской области 14

Антонов А.М., Пастухова Н.О. Влияние экспериментального стартового корма на динамику роста кумжи 19

Архипов А.Г., Халматова Э.Р., Пак Р.А., Гулюгин С.Ю. Особенности распространения миктофид (сем. Myctophidae) на разных стадиях онтогенеза у атлантического побережья Марокко в 2021-2022 гг. 24

Воробьева Л.В., Борисов Р.Р., Ковачева Н.П. Сообщества зоопланктона и зообентоса искусственных прудов для разведения австралийского красноклешневого рака на территории Астраханской области 29

Гринберг Е.В. Новый взгляд на привычный рыбоводный показатель 41

Дворянкин Г.А., Новоселов А.П. Перспективы развития аквакультуры в водоемах Соловецкого архипелага 46

Дельмухаметов А.Б., Ромашова Ю.А. Перспективы использования масла рыжика посевного в кормах для рыб 52

Дименко О.С., Рудченко А.Е., Андрущенко С.В. Биохимическая ценность организмов зообентоса р. Енисей и р. Обь как основных источников пищи осетровых рыб Сибири 60

Климова Т.Н., Субботин А.А., Вдодович И.В., Забродин Д.А. Динамика видового состава и численности ихтиопланктона в связи с особенностями гидрологического режима Черного моря в 2016-2022 гг. 65

Кобяков К.А. Биологическое состояние и состав пищи у креветки *Spirontocaris murdochi* (Rathbun, 1902) из Сахалинского залива (Охотское море) в августе 2016 года 74

Лагуткина Л.Ю., Хамад Х.А., Мартьянов А.С., Нгуен Т.Х.В., Кузьмина Е.Г. Комбикорма кардиопротекторного действия для осетровых рыб 78

Новожилов О.А., Гулина Т.С. Бычок-песочник *Neogobius fluviatilis* (Pallas, 1814) как новый вид в ихтиофауне Калининградской области 85

Рудченко А.Е., Карпов В.А. Аквакультурный и дикий сазан (*Cyprinus carpio*, Linneus, 1758) как источник омега 3 полиненасыщенных жирных кислот для населения Сибири 91

Судник С.А., Колесникова А.Д. Репродуктивное состояние особей антарктического криля Euphausia superba (Dana, 1850) (Euphausiacea: Euphausiidae) из двух районов Южного океана в 2020 г. 97
Токранов А.М., Орлов А.М., Емелин П.О. Биологическая характеристика люмпена Фабрициуса *Lumpenus fabricii* (Stichaeidae) Карского моря 106
Тюкина О.С., Кравец П.П., Деркач С.Р. Эколого-биологические, санитарно-микробиологические и токсикологические исследования естественных сублиторальных поселений мидии губы Печенга Баренцева моря 114
Хрусталева А.М., Ревель-Муроз А.Ж. Разнообразие вариантов гена Onne-DAB из главного комплекса тканевой совместимости (MHC) нерки (*Oncorhynchus nerka*) Азиатско-Тихоокеанского побережья 120
Челядина Н.С., Попов М.А., Капранов С.В., Смирнова Л.Л., Бобко Н.И. Тяжёлые металлы в мидии *Mytillus galloprovincialis*, Lam. на Черноморском побережье Крыма 131
Шахова Е.В., Трофимов Р.В., Шульга А.Т. Сравнительная характеристика морфофизиологических показателей молоди сига (*Coregonus lavaretus*), выращенной на кормах "BioMar" и "Coppens" 137

СЕКЦИЯ «ЭКОЛОГИЯ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ»

SECTION "ECOLOGY AND RATIONAL ENVIRONMENTAL MANAGEMENT"

Гамов М.К., Литвиненко А.В., Христофорова Н.К., Метревели В.Е., Цыганков В.Ю. Токсичные микроэлементы в малоглазом макрурусе (*Albatrossia pectoralis*, Gilbert, 1892) и нерке (*Oncorhynchus nerka* Walbaum, 1792) из Берингова моря 143
Дубравин В.Ф., Цветкова Н.Н. Водные массы на поверхности Атлантического океана и их сезонные миграции 152
Журбас В.М., Голенко М.Н., Пака В.Т., Корж А.О. Изменчивость придонной солености в Финском заливе по данным моделей реанализа NEMO и ERA5 164
Кривопускова Е.В. Изменение экологического состояние прибрежной части озера Виштынецкого в многолетнем аспекте 170
Кривопускова Е.В., Шибаев С.В. Рекреационный потенциал прибрежной части озера Виштынецкого 175
Миронова Е.К., Метревели В.Е., Донец М.М., Цыганков В.Ю. Стойкие загрязняющие вещества в малоглазом макрурусе (*Albatrossia pectoralis*, Gilbert, 1892) из Берингова моря 182
Моисеенко В.В., Цупикова Н.А., Шибаев С.В. Исследование экологического состояния обводненного карьера возле п. Ушаково 192
Севостьянова Е.А., Цупикова Н.А., Суэтина О.С. Фитопланктон как индикатор экологического состояния городских водоёмов Калининграда 198
Якимова Е.А., Михневич Г.С. Определение субмаринной разгрузки и ее характеристика в Балтийском море 203

УДК 597.554.5(262.5)

FACTORS INFLUENCING THE FORMATION OF WINTERING AGGREGATIONS OF THE AZOV-BLACK SEA ANCHOVY (ENGRAULIS ENCRASICOLUS LINNAEUS, 1758) OFF THE COAST OF ABKHAZIA IN THE PERIOD 2011/2023

[1]Dbar Roman Saidovich, PhD of Biology, professor of the Department of Morphology and Ecology of Animals, specialist of the marine fish laboratory, leading researcher, Department of Biotic Research
[2]Gamakhariya Paata Jeiranovich**,** post-graduate student of the Abkhaz State University, researcher of the Department of Biotic Research

[1]Institute of Ecology of the Academy of Sciences of Abkhazia (IE ANA), Sukhum 384900, Abkhazia, e-mail: [2]pgamakhariya@mail.ru
[1,2]Azov-Black Sea Branch of the FSBSI "VNIRO" ("AzNIIRKh"), Rostov-on-Don 344002, Russia, e-mail: [1]romandbar@mail.ru

We analyzed data for a twelve-year period (2011/2023) on the commercial and biological structure of the population of the European anchovy wintering in the coastal waters of Abkhazia (Engraulis encrasicolus L., 1758). Our studies are of great theoretical and applied importance for the fishery industry, since they allow us to explain the dynamics of anchovy stocks wintering off the coast of Abkhazia. An intraspecific analysis of the population parameters of the Azov-Black Sea anchovy was carried out. Standard methods for collecting and processing ichthyological material were used to obtain the relevant data. It was possible to identify the cyclical changes in the stock, in addition, changes were noted in population characteristics in the composition of catches, as well as in the spatial distribution of wintering anchovy aggregations in the Abkhazian water area of the Black Sea. The absolute values of catches and their interannual fluctuations are given.

Introduction

The European anchovy, or anchovy (Engraulis encrasicolus, L., 1758) can be classified as one of the most widespread fish species in the Azov-Black Sea basin. Since this species has a large number, it plays an extremely important role in the ecosystem of the sea. At the same time, it is an intermediate link between zooplankton and representatives of the highest trophic level - large predatory fish, dolphins and birds. In addition, the anchovy is an important fishery object that is actively exploited by all Black Sea countries, steadily ranking first in terms of total catch according to Zuev, 2019.

According to Dbar, Gamakhariya, 2020, the main fishery is carried out in the coastal waters of Turkey and Georgia, where anchovy migrates in large numbers from the northern half of the Black Sea and from the Sea of Azov for wintering, forming dense and stable aggregations. A relatively small part of the total herd winters near the Caucasian coast, as well as along the southern and southwestern coasts of Crimea. Anchovy fishing is one of the traditional types of Black Sea fishing. This is quite convincingly proved, in particular, by the results of archaeological excavations of Tauric Chersonese. How large the scale of this fishery was in the ancient world is evidenced by the volumes of pickling (arable) pits carved in the rocks of the ancient city, containing up to 500-1000 pounds of fish.

Vessel winter fishing for anchovy in the Azov-Black Sea basin began in the late 1960s. In 1970-1980 anchovy catches accounted for more than half of the total catch. In 1988, a fish catch record was set

- 800 thousand tons, while almost 70% of the total catch was anchovy. Over the past 50 years (from the late 1960s to the beginning 1970s) the share of the anchovy catch in the Black Sea fishery increased from 55-60 up to 80-85% - leads a number of authors (Gamakhariya, 2021, Zuev, 2019). Currently, the anchovy is the main fishing object in the Azov-Black Sea basin according to Zuev, 2019. The fishing of the Azov-Black Sea anchovy in Abkhazia began in 2006, but was of an irregular nature, the biomass of the anchovy catch in these years was no more than 2-3 thousand tons. Starting from 2008 to the present, fishing has become regular, the biomass of the catch has reached values exceeding 50 thousand tons per fishing season. Fishing is carried out by Turkish fishing vessels; the share of Abkhazian fishing vessels is insignificant.

In the Abkhazian water area of the Black Sea, the average catch in 2011/2022 amounted to 35358.4 tons, while fluctuations in the annual catch vary from 10,000 to 60,000 tons of the Black Sea anchovy, in which the average annual share of the Azov anchovy was less than 5% of the biomass of the catch.

The range of the Black Sea ecological form of anchovies occupies the entire area of the Black Sea. The functional structure of the population range includes the reproductive-feeding and wintering parts, which are significantly spatially separated from each other according to Zuev et al., 2012. The wintering part of the range, which occupies the coastal waters of Turkey, Georgia, and the Republic of Abkhazia, is of interest for commercial purposes, where the Black Sea anchovy is fished, which is exclusively seasonal according to Zuev et al., 2019.

Regulation of the anchovy fishery in the Abkhazian water area of the Black Sea is decisive for the formation of the population structure, abundance and biomass of future generations, since it is the Abkhazian water area that is the terminal wintering point. The condition for stable replenishment of the stock is strict observance of the rules of fishing and the calculated total allowable catch for each fishing season.

The aim of the work was to analyze the dynamics of fishing and the size-age structure of the catches of the Black Sea and Azov anchovy in the waters of the Republic of Abkhazia, to assess its current subpopulation state based on ongoing research, as well as to study the possibility of regulating commercial exploitation and its impact on the state of wintering anchovy populations.

Material and methods

The collection of biological material was carried out in 2011/2022 fishing seasons in the coastal waters of the Black Sea from the mouth of the Ingur River to the mouth of the Psou River. The range of depths where fishing was carried out was 20–90 m. of commercial catches, 30,070 specimens of the Azov-Black Sea anchovy were subjected to a complete biological analysis, the age was determined for all specimens, and mass measurements of body length (FL) were carried out. The individual weight of the fish was determined on an electronic scale with an accuracy of 0.1 g. The age of the anchovy was determined by otoliths. To analyze the dynamics of catches, we used official fishing statistics obtained from the State Committee of the Republic of Abkhazia for Ecology and Nature Protection. In addition, the monitoring materials of the anchovy fishery (fishing logs) in the 2011/2022 fishing seasons, presented by the State Committee of the Republic of Abkhazia for Ecology, were analyzed. Samples for complete biological analysis were collected in December-March of each fishing season during the wintering trip from commercial fishing gear - purse seines.

The collection and processing of materials was carried out in accordance with the methods of Chugunova, 1959, and Pravdin, 1966.

Results and discussion

Fishing in the anchovy fishing season in the studied fishing seasons began in the first half of December and lasted until the end of March. The largest daily catch exceeded 4000 tons. The fishing area (Fig. 1) covered the eastern, central and western parts of the Abkhazian water area of the sea. The water temperature in the long-term average aspect tends to increase. On average, over the period under review, it increased by 0.3°C according to Dbar, Gamakhariya, 2020. In the fishing season 2021/2022 the average temperature throughout the Abkhazian Black Sea area was comfortable for wintering anchovy. We estimate the number of anchovies that came for wintering at an average level - about 130-150 million individuals, the predominant modal group in body length is 8-10 cm and in weight - 6-9 g. At the end of February, a massive spring runs of anchovy with a sharp decline in numbers in March.

It is important to note that the intensity of fishing in the current fishing season was quite high compared to the previous year, while estimating the magnitude of fishing effort and catch per effort, one can speak of their average values.

Fig. 1. Schematic map of the Azov-Black Sea anchovy fishing area in the 2011/2023 fishing season.

During the research period, the catch of anchovies in the waters of the Republic of Abkhazia varied from 39261.6 to 46982.0 tons (Fig. 2). In different years, the intensity of fishing varies significantly, which is associated both with intrapopulation changes, such as variations in the number of age groups, sex ratio, and external factors: temperature dynamics, changes in the direction of currents, fishing efforts.

The Putin catch in the years under study averaged 35,358.4 tons. Anchovy fishing in the waters of the Republic of Abkhazia usually begins in the second half of December and ends in late March - early April. However, in the last few years, starting from 2017, fishing actually ended in February-March. The duration of fishing on average does not exceed 3 - 3.5 months.

Fig 2. Dynamics of the catches of the Azov-Black Sea anchovy off the coast of Abkhazia for the period from 2011 to 2023.

On the basis of long-term data, a cyclical change in the anchovy biomass is clearly traced, which is associated not only with intraspecific size-age dynamics, but also with climatic changes in sea temperature. Since there is an average long-term change in the temperature of the Black Sea waters, the annual biomass of the anchovy stock off the coast of Abkhazia is also subject to fluctuations.

Size composition of anchovy catches in 2011/2022 was represented by individuals 5.5–14.0 cm long (FL length), the age structure was five generations (year classes): underyearlings, 2-, 3-, 4-year-olds, and very rarely 5-year-olds.

The size-age composition of catches during this time did not remain unchanged (Fig. 3): two types are clearly distinguished, one of which is represented by 2011/2012, 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 and 2020/2021 fishing seasons, - everyone else.

Fig 3. Size-age composition of catches of anchovy wintering off the coast of Abkhazia in 2011/2023.

The first type of size-age structure is characterized by the presence in the composition of catches of five age (annual) classes with constant dominance of underyearlings - from 35.2 to 73.7% (average 54.5%), as well as a low proportion of five-year-olds with a maximum in biomass - 5.0% in 2014/2015, with an average age of anchovy of 1.25 years and an average length of 9.66 cm.

The second type of size-age structure is characterized by the presence of only four age classes - underyearlings, 2-, 3-, 4-year-olds with the dominance of two-year-olds (average 49.4%) with an average age of 1.29, the average length is 9.31 cm.

In turn, under the influence of fishing, there is an intraseasonal change in the age structure of the anchovy wintering in the waters of the Republic of Abkhazia: from winter to spring, the proportion of underyearlings naturally increases and the proportion of all other age classes decreases.

The increase in the number of individuals of younger age groups by months within the season is natural. The rejuvenation of the anchovy observed in the long-term aspect is probably also partly associated with intraspecific structural changes, namely, with the redistribution of the numerical ratio of representatives of the “marine” and “coastal” forms in the composition of the commercial herd. A well-known fact is that in wintering aggregations there is a group of individuals that has morphological features of both the Azov and Black Sea forms of anchovy and at the same time spends most of the time in the waters of Abkhazia. During the formation of wintering aggregations, it mixes with the Black Sea and Azov anchovy, which comes to winter from other areas of the sea according to Zuev, 2019.

Fig 4. The ratio of the yields of the stock and juveniles of the Azov-Black Sea anchovy in the coastal zone of the Abkhazian water area of the Black Sea for the study period 2011/2023.

These ratios of the yield of stock and juveniles show the relationship between the yield of stock and juveniles. With a low average yield of juveniles, the yield of the stock decreases next year, with a relatively high average yield of juveniles, an increase in stock yield is observed next year. The most high-yielding years for juvenile anchovy were 2014/2015, 2015/2016, 2018/2019 and 2019/2020, the least productive years were 2016/2017 and 2020/2021, when the number of juveniles was noticeably lower than in harvest years.

Based on the regression analysis, a functional relationship was established between the length and age, weight and age, as well as the mass and length of the anchovy. In all cases, the coefficient of determination was quite high (fig. 5). The dependence of length on age was approximated by an equation of a power-law growth function, and weight on age was approximated by an exponential function, where the coefficients of determination were equal to 0.92, 0.87, and 0.92. This equation has a concave graphic form, the growth rate decreases with age. The decrease in linear growth in fish of older age groups is explained by the fact that in anchovy, energy expenditure for generative metabolism increases with age, therefore, the feed coefficient increases, i.e., the efficiency of using food for growth decreases. With an increase in body length, the mass of anchovies naturally increases. The associated change in the average values of mass and length indicates a close functional relationship between these indicators, while the coefficient of determination is 0.91.

To understand the processes influencing the formation of the stock of the Azov-Black Sea anchovy in the waters of Abkhazia, in addition to biometric analysis, it is necessary to analyze the relationship between the biomass of the stock and environmental factors. Since in recent years, sharp fluctuations in stocks have been increasingly observed. It was necessary to establish a relationship with which you can assess the state of the stock and explain the reasons for the failed route.

Taking into account the available data on the structure of the anchovy stock, we conducted a regression analysis of the relationships between the size of the stock and the main environmental factors.

Fig 5. Linear growth (a), weight growth (b) and the relationship between the length and body weight of the anchovy in the period 2011/2023.

To assess the relationship between temperature and biomass anchovy wintering in the waters of Abkhazia, 10 points were selected in the coastal part of the Black Sea. Six of them were in Turkish waters, three in Georgian and three in Abkhazian. The data were analyzed from September to December inclusive every day. As a result, according to the regression analysis of the dependence of the biomass of migrating anchovy on temperature during the winter migration period, we see a correlation between these data, which is 0.8754.

Data on regression analysis in the summer and winter months were not carried out.
Data on the correlation analysis of the dependence of migrations on currents gave a negative indicator.

The data on the regression analysis of the dependence of the biomass of wintering and migrating anchovy on winds did not give a positive correlation in any of the months of the period under review.

Therefore, it can be assumed that the biomass of the migrating and wintering anchovies depends on the temperature in the autumn months and partially depends on the currents in the autumn months of the anchovy migrating and wintering in the waters of Abkhazia. In this case, the speed of the currents matters. A greater dependence is observed on currents, the speed of which is higher. We did not observe dependence on winds.

Fig 6. Data of regression analysis of the dependence of water temperature on the biomass of anchovy wintering in the waters of Abkhazia during the fishing season 2011/2023.

Conclusion

The studies carried out show that the regulation of anchovies fishing is reasonable, expedient and necessary, especially in those years when the share of underyearlings and two-year-olds sharply increases in catches in the spring months. This is of paramount importance, since it is important to preserve individuals of younger age groups of anchovies migrating both to the Sea of Azov and to the northwestern and central parts of the Black Sea for spawning and feeding. During the period of our research, this happened every year, except for the season of 2014/2015, when the proportion of individuals aged 0+ and 1+ was 42.4%.

In other years, catches of underyearlings and two-year-olds in February, March and April catches reached high values (above 56%). Given the low nutritional value of underyearlings, on the one hand, and at the same time their key role in shaping the reproductive potential of the population and maintaining its abundance, on the other hand, intensive catching of underyearlings at the end of wintering is undesirable. In such cases, the timing of the end of the fishery should be determined on the basis of operational monitoring of the size structure of catches with the establishment of the proportion of individuals of non-commercial length in the amount of 25% of the catch (in terms of abundance).

References

1. Castilla-Espino D, García-del-Hoyo, J. J., Metreveli M., Bilashvili K.// Fishing capacity of the southeastern Black Sea anchovy fishery. Journal of Marine systems, 2014. P. 161-170.

2. Chugunova N.I. Guide to the study of age and growth of fish (methodological guide to biology) M.: AN SSSR, 1959. 125 p.

3. Vodyasova E.A., Abramson N.I. Genetic variability of anchovies in the Azov-Black Sea basin // Genetics. St. Petersburg, Zoological Institute RAS, 2017, volume 53, number 6, pp. 696-704.

4. Vodyasova E. A., Abramson N. I. Phylogeography of the European anchovy Engraulis encrasicolus // Marine biological research: achievements and prospects, Sevastopol, ECOSY-Hydrophysics, 2016. P. 381-384.

5. Vodyasova E. A., Soldatov A. A. Identification of subspecies of the European anchovy Engraulis encrasicolus (Engraulidae) in wintering aggregations based on morphological parameters of the otolith // Problems of Ichthyology. Institute of Marine Biological Research RAS - IMBI, Sevastopol, 2017, Volume 57, Number 4. P. 408-414.

6. Gamakhariya P.D. Long-term dynamics of the fishery and the size-age structure of catches of anchovy (Engraulis encrasicolus Linnaeus) wintering off the coast of Abkhazia // Pont Evksinsky - 2021: mater. XII All-Russian. scientific-practical. conf. for young scientists from the international participation on the problems of aquatic ecosystems, dedicated to the 150th anniversary of the Sevastopol Biological Station - FRC "Institute of Biology of the Southern Seas named after A.O. Kovalevsky RAS" (Sevastopol, September 20–24, 2021). Sevastopol: Publishing House of the Federal Scientific Center "Institute of Biology of the Southern Seas named after A.O. Kovalevsky RAS", 2021, pp. 18–19.

7. Dbar R.S., Gamakhariya P.D. Long-term dynamics of catches of anchovies (Engraulis encrasicolus Linnaeus, 1758), wintering off the coast of Abkhazia // Modern problems and prospects for the development of the fishery complex: mater. VIII scientific-practical. conf. young scientists from the international participation (Moscow, November 5–6, 2020). M.: VNIRO Publishing House, 2020, pp. 41–43.

8. Dbar R. S., Gamakhariya P. D. Long-term dynamics of fishing and size-age structure of catches of anchovy (Engraulis encrasicolus, L., 1758), wintering off the coast of Abkhazia // Biological diversity: study, conservation, restoration, rational use: Materials II international scientific and practical conference. Kerch, 2020. S. 298-303.

9. Ivanova P.P., Dobrovolov I. Population-genetic structure on European anchovy (Engraulis encrasicolus Linnaeus, 1758) (Osteichthyes: Engraulidae) from Mediterraneum Basin and Atlantic Ocean // Acta Adriat. 2006. 47, No 1. P. 13-22

10. Nebesikhina N. A., Barmintseva A. E., Timoshkina N. N., Vodyasova E. A. Microsatellite variability of the European anchovy Engraulis encrasicolus Linnaeus, 1758 // Aquatic Bioresources and Habitat. Rostov-on-Don, AzNIIRKh, 2019. Volume 2, number 4. P. 73-84.

11. Nebesikhina N. A., Lebedeva E. V. Study of the genetic structure of the population of the European anchovy Engraulis encrasicolus in the Azov-Black Sea basin // Proceedings of AzNIIRKh, Rostov-on-Don, 2019. P.47-52.

12. Pravdin I.F. Guide to the study of fish. – M.: Pishch. prom., 1966. 375 p.

13. Zuev G.V. Modern population structure of the European anchovy Engraulis encrasicolus L. (Engraulidae: Pisces) in the Black and Azov Seas and the history of its formation // Marine Biological Journal. Sevastopol, Institute of Marine Biological Research. A. O. Kovalevsky RAS, 2019, volume 4, number 1. P. 45-62.

14. Zuev G.V., Bondarev V.A., Murzin Yu.L., Novoselova Yu.V. Intraspecific structural and functional differentiation of anchovy wintering near the Black Sea coast of Crimea and its long-term dynamics // Modern fisheries and environmental problems of the Azov-Black Sea region: Mat. VII international conference (Kerch, June 20-23, 2012). Kerch: YugNIRO, 2012. 1. S. 51 - 58.

15. Zuev, G.V., Current state of the anchovy Engraulis encrasicolus L. (Engraulidae: Pisces) population wintering off the coast of Eastern Crimea and the North Caucasus, Marine Biological Journal. Sevastopol, Institute of Marine Biological Research. A. O. Kovalevsky RAS, 2019, volume 4, number 3. P. 56-68.

16. Zuev G. V., Klimova T. N. Long-term dynamics of reproductive parameters of the European anchovy Engraulis encrasicolus (L., 1758) and their relationship with temperature conditions // Marine Biological Journal. Sevastopol: Institute of Marine Biological Research. A. O. Kovalevsky RAS, 2017. volume 2, number 2. P. 3-19.

17. Zuev G.V., Bondarev V.A., Murzin Yu.L., Samotoy Yu.V. Long-term dynamics of the fishery and the size-age structure of catches of the Black Sea (Engraulis encrasicolus ponticus Aleks) anchovy in Ukraine // Marine Ecological Journal, 2014., 2, no. 3. S. 27 - 34.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ФОРМИРОВАНИЕ ЗИМОВЫХ СКОПЛЕНИЙ АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОГО АНЧОУСА (ENGRAULIS ENCRASICOLUS LINNAEUS, 1758) У ПОБЕРЕЖЬЯ АБХАЗИИ В ПЕРИОД 2011/2023 ГГ.

[1]Дбар Роман Саидович, канд. биол. наук, профессор кафедры Морфологии и экологии животных Абхазского государственного университета; специалист лаборатории морских рыб Азово-Черноморского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»); ведущий научный сотрудник отдела биотических исследований Института Экологии Академии наук Абхазии
[2]Гамахария Паата Джейранович, аспирант Абхазского государственного университета; научный сотрудник отдела биотических исследований Института Экологии АНА

[1]Институт Экологии Академии наук Абхазии (ИЭ АНА), Сухум, Абхазия, e-mail: [1]romandbar@mail.ru
[1,2]Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону, 344002, Россия, e-mail: [2]pgamakhariya@mail.ru

Нами были проанализированы данные за двенадцатилетний период (2011/2023 гг.) по промыслово-биологической структуре популяции зимующего в прибрежных водах Абхазии Европейского анчоуса (Engraulis encrasicolus L., 1758). Исследования, проведенные нами, имеют важное теоретическое и прикладное значение для рыбохозяйственной отрасли, поскольку позволяют объяснить динамику запасов анчоуса, зимующего у берегов Абхазии. Был проведен внутривидовой анализ популяционных параметров азово-черноморской хамсы. Были использованы стандартные методы сбора и обработки ихтиологического материала для получения соответствующих данных. Удалось выявить цикличность изменения запаса, кроме того, были отмечены изменения популяционных характеристик в составе уловов, а также пространственного распределения зимующих скоплений анчоуса в абхазской акватории Черного моря. Приведены абсолютные значения выловов и их межгодовые колебания.

УДК 597-12: 576.85

МИКРОФЛОРА КАРПА И РАСТИТЕЛЬНОЯДНЫХ РЫБ, ВЫРАЩИВАЕМЫХ В УЧЕБНО-ОПЫТНОМ ХОЗЯЙСТВЕ КГТУ, В 2022-23 ГОДАХ

[1]Авдеева Елена Витальевна, канд. биол. наук, профессор
[2]Казимирченко Оксана Владимировна, канд. биол. наук, доцент

[1,2]Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия, e-mail: [1]elena.avdeeva@klgtu.ru

Проведены бактериологические исследования рыб, разводимых в Учебно-опытном хозяйстве КГТУ, с целью определения видового состава их микробиоценозов и обнаружения условно-патогенных бактерий, представляющих опасность для здоровья рыб. Впервые представлено комплексное изучение состава микрофлоры карпа и растительноядных рыб. В бактериофлоре рыб, выращиваемых в УОХ «КГТУ», преобладали бактерии аэромонадно-псевдомонадного комплекса в ассоциации с санитарно-показательными бактериями кишечной фекальной группы. Мониторинг состава бактериофлоры рыб позволит профилактировать возможные вспышки бактериальных болезней.

Важнейшим фактором повышения рыбопродуктивности прудового рыбоводства служит обеспечение эпизоотического благополучия рыбоводных хозяйств. При применении интенсификационных мероприятий при выращивании рыб возникают условия для развития патогенных и

условно-патогенных бактерий, которые становятся причиной возникновения бактериальных заболеваний. У рыбы происходят глубокие физиологические изменения адаптационного характера, что снижает защитные функции организма к воздействию различных патогенов. Бактериальные заболевания рыб в прудовых хозяйствах возникают, как правило, при резких изменениях параметров температуры воды, переуплотненных посадках, пониженном содержании кислорода, при частых биотехнических манипуляциях с рыбой [1].

Учебно-опытное хозяйство Калининградского государственного технического университета (УОХ «КГТУ») – полносистемное прудовое карповое хозяйство. Пруды различных категорий имеют дамбы, пойменные с независимой системой водоснабжения и сброса, ложе заиленное. Для предупреждения попадания в пруды сорной рыбы на водозаборе хозяйства установлен кассетный фильтр с гравийным наполнителем. Источником водоснабжения служит водохранилище «Чистый пруд» площадью 118 га, образованное за счет зарегулирования стока реки Гурьевка (бассейн реки Преголя). Основной способ получения потомства на хозяйстве – естественный нерест.

Материалом для бактериологического исследования послужили 30 экземпляров сеголеток карпа, 18 экземпляров годовиков карпа, 17 экземпляров двухгодовиков белых толстолобиков, 12 экземпляров трехлеток белого амура. Отбор рыбы производили в осенние сезоны 2022-2023 гг. Бактериологический посев осуществляли по общепринятой в ихтиопатологии методике [2]. Анализу подвергали кожу, жабры, кровь из сердца, желчный пузырь, печень, селезенку, содержимого заднего отдела кишечника, почки. Посев материала осуществляли на питательные среды общего и специального назначения. Из питательных сред общего назначения использовали рыбопептонный агар, из сред специального назначения – агар Эндо, дифференциально-диагностический агар, псевдосельагар. Видовую идентификацию выделенных штаммов бактерий проводили по культуральным, морфологическим и физиолого-биохимическим признакам по определителям [2, 3, 4].

При клиническом осмотре у всех исследуемых рыб на кожных покровах, плавниках язв, геморрагий не отмечали. При патологоанатомическом вскрытии у сеголеток карпа, белых толстолобиков и белого амура патологий внутренних органов не наблюдали: все органы были хорошо различимыми, компактными. У отдельных особей годовиков карпа регистрировали увеличенный желчный пузырь.

Микробиоценозы карпа и растительноядных рыб, выращиваемых на учебно-опытном хозяйстве КГТУ, формировали грамотрицательные условно-патогенные бактерии родов *Aeromonas, Pseudomonas*, бактерии группы кишечных палочек (БГКП), сапрофитные не опасные для рыб бактерии родов *Bacillus, Micrococcus, Plesiomonas*.

У сеголеток карпа нами было обнаружено 6 видов бактерий, из которых доминировали условно-патогенные бактерии родов *Pseudomonas* видов *P. facilis, P. diminuta* (30% штаммов) и *Aeromonas* (*A. eucrenophila, A. veronii*), совокупная доля аэромонад составила 27% штаммов. Остальные 43% микробиоценоза сеголеток карпа были представлены сапрофитными бактериями *Micrococcus luteus* и грамотрицательными палочковидными *Plesiomonas sp.* Условно-патогенные псевдомонады и аэромонады в основном обсеменяли жабры и селезёнку карпа, в микрофлоре этих органов также встречали сапрофитных микрококков *M. luteus*. Эти же группы бактерий в равном соотношении присутствовали в составе микрофлоры паренхиматозных органов (печени, почках) и в кишечнике. Микрофлора кожи, желчного пузыря и крови из сердца была обеднена, однако в этих органах циркулировали условно-патогенные бактерии родов *Aeromonas* и *Pseudomonas*.

В микрофлоре годовиков карпа нами найдено 8 видов бактерий. У годовиков карпа, как и у сеголеток, в составе микробиоценоза доминировали условно-патогенные бактерии *Pseudomonas* (*P. facilis, P. diminuta*) и *Aeromonas* (*A. eucrenophila*). Совокупная доля этих бактерий составляла 39% штаммов. Нами было обращено внимание на присутствие в составе микрофлоры годовиков карпа бактерий группы кишечных палочек (22% штаммов), которых не выделяли из бактериофлоры сеголеток карпа. Доля сапрофитных бацилл (*Bacillus coagulans*) и микрококков (*Micrococcus luteus*) составила по 8 и 22% штаммов соответственно, единично присутствовали палочковидные плезиомонады *Plesiomonas sp.* (9% штаммов).

Наибольшее обсеменение различными видами условно-патогенных аэромонад и псевдомонад, а также кишечных энтеробактерий отмечали в селезенке годовиков карпа. Эти же группы бактерий составляли основу микрофлоры кишечника рыбы. В микрофлоре жабр, кожи и крови из сердца присутствовали условно-патогенные виды псевдомонад, аэромонад и сапрофитные микрококки. Желчный пузырь карпа был обсеменен только сапрофитными видами споровых бацилл.

Также незначительно были обсеменены микроорганизмами печень и почки, однако помимо сапрофитных микрококков в них были обнаружены условно-патогенные псевдомонады и аэромонады.

В составе микрофлоры белого амура в осенний сезон доминировали условно-патогенные бактерии рода *Aeromonas* (75 % штаммов). Наименьший процент обсеменения у белого амура составили сапрофитные непатогенные бактерии рода *Micrococcus* и санитарно-значимые бактерии рода *Enterobacter* (19,35 % и 5,65% штаммов соответственно). Жабры рыб были обсеменены аэромонадами двух видов (*A. encheleia*, в меньших количествах *A. hydrophila*). В кишечнике белого амура преобладали *A. hydrophila* в ассоциации с санитарно-показательными бактериями *Enterobacter dissolvens* и непатогенными *Micrococcus roseus*.

Микробиоценоз белого толстолобика был представлен сапрофитными бактериями рода *Bacillus* (37% штаммов) и условно-патогенными аэромонадами (28% штаммов), которые занимали доминирующее положение. Также обнаруживали бактерий кишечной группы - родов *Escherichia* и *Citrobacter* (19% и 16% штаммов от всей выделенной микрофлоры соответственно), единично – условно-патогенных для рыб бактерий рода *Pseudomonas*.

Кожные покровы белого толстолобика отличались наиболее разнообразным видовым составом бактерий. В микрофлоре печени 80% штаммов занимали сапрофитные непатогенные бактерии *B. circulans*, также бациллы этого вида обсеменяли кожные покровы, желчный пузырь и почки рыбы.

Условно-патогенные аэромонады *A. hydrophila* и *P. putrefaciens* доминировали в посевах кожи в ассоциации с сапрофитными бациллами. Следует отметить, что бактерий *P. putrefaciens* выделяли только из посевов кожи. Кишечными палочки *E. coli* в монокультуре высевались из посевов жабр. Другой вид условно-патогенных аэромонад *A. schubertii* и санитарно-значимые *C. amalonaticus* обсеменяли желчный пузырь и почки. Кишечные цитробактеры *C. freundii* были обнаружены в микрофлоре кишечника и печени белого толстолобика.

Сравнительная характеристика видового состава микрофлоры исследованных видов рыб представлена в таблице.

Наибольшее видовое разнообразие бактерий было характерно для микробиоценоза годовиков карпа и белого толстолобика. Условно-патогенная микрофлора сеголеток и годовиков карпа в основном была представлена видами аэромонад и псевдомонад. Общими видами бактерий, характерными для микрофлоры сеголеток и годовиков карпа, были *A. eucrenophila*, *P. facilis* и *P. diminuta*. Также у годовиков карпа в бактериофлоре присутствовали бактерии кишечной группы – энтеробактеры и цитробактеры.

Таблица

Видовой состав микрофлоры карпа и растительноядных рыб УОХ «КГТУ» в 2022-2023 гг

№ п/п	Виды бактерий	Карп		Белый амур	Белый толстолобик
		сеголетки	годовики		
условно-патогенные бактерии					
1	Aeromonas eucrenophila	+	+	-	-
2	Aeromonas veronii	+	-	-	-
3	Aeromonas enchelia	-	-	+	-
4	Aeromonas hydrophila	-	-	+	+
5	Aeromonas schubertii	-	-	-	+
6	Pseudomonas facilis	+	+	-	-
7	Pseudomonas diminuta	+	+	-	-
8	Pseudomonas putrefaciens	-	-	-	+
санитарно-показательные бактерии					
9	Enterobacter dissolvens	-	+	+	-
10	Escherichia coli	-	-	-	+
11	Citrobacter amalonaticus	-	+	-	+
12	Citrobacter freundii	-	-	-	+
сапрофитные непатогенные бактерии					
13	Micrococcus luteus	+	+	-	-
14	Micrococcus roseus	-	-	+	-
15	Plesiomonas sp.	+	+	-	-
16	Bacillus coagulans	-	+	-	-

№ п/п	Виды бактерий	Карп		Белый амур	Белый толстолобик
		сеголетки	годовики		
17	Bacillus circulans	-	-	-	+
	Итого видов	6	8	4	7

В бактериофлоре растительноядных рыб обнаруживали условно-патогенных бактерий аэромонад и псевдомонад других видов. У белого амура регистрировали только аэромонад – *A. enchelia* и *A. hydrophila*, у белого толстолобика - *A. hydrophila* и *A. schubertii* и незначительное количество *P. putrefaciens*. Санитарно-показательные бактерии наиболее обсеменяли белого толстолобика, что свидетельствует о его чувствительности к неблагоприятным факторам внешней среды.

В микрофлоре карпа и растительноядных рыб, выращиваемых в УОХ «КГТУ», преобладали бактерии аэромонадно-псевдомонадного комплекса в ассоциации с санитарно-показательными бактериями кишечной фекальной группы. У растительноядных рыб выявили бактерионосительство *A. hydrophila* – возбудителя аэромоноза карповых видов рыб. Известно, что данный вид бактерий представляет потенциальную опасность для здоровья человека. Присутствие в микробиоценозах изученных видов рыб санитарно-показательных кишечных бактерий указывает на санитарное неблагополучие среды обитания и об отсутствии эффективной очистки и обеззараживания воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эпизоотологический мониторинг инфекционных и инвазионных болезней рыб, социально-экономическое значение разработки системы мониторинга состояния поверхностных вод малых водоемов / О.Г. Петрова, О.В. Бадова, Д.Н. Речкалов // Аграрный вестник Урала. 2018. - № 09 (176). - С. 44-50.

2. Практикум по ихтиопатологии: учебное пособие / Н. А. Головина, Е. В. Авдеева, Е. Б. Евдокимова, О. В. Казимирченко, М. Ю. Котлярчук / под ред. Н. А. Головиной. М.: МОРКНИГА, 2016. - 417 с.

3. Лабинская, А. С., Ещина, А. С., Блинкова, Л. П. Общая и санитарная микробиология с техникой микробиологических исследований.: учеб. пособие. - СПб.: ЛАНЬ. 2022. 592 с.

4. Определитель бактерий Берджи. В 2 т.: Пер. с англ./ Под ред. Дж. Хоулта, Н. Крига, П. Снита [и др.] М.: Мир. 1997. - Т. 2. - 800 с.

MICROFLORA OF CARP AND HERBIVOROUS FISH, GROWED IN THE EDUCATIONAL AND EXPERIMENTAL FARM OF KSTU, IN 2022-23

[1]Avdeeva Elena Vitalievna, candidate of Biological Sciences, professor
[2]Kazimirchenko Oksana Vladimirovna, candidate of Biological Sciences, docent

[1,2]Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia, e-mail: [1]elena.avdeeva@klgtu.ru

Bacteriological studies of fish from the Educational and Experimental Farm of KSTU were carried out in order to determine the species composition of their microbiocenosis and detect opportunistic bacteria that pose a danger to fish health. For the first time, a comprehensive study of the composition of the microflora of carp and herbivorous fish is presented. In the microflora of carp and herbivorous fish grown at the KSTU, bacteria of the aeromonad-pseudomonal complex prevailed in association with sanitary-indicative bacteria of the intestinal fecal group. Monitoring the composition of fish bacterioflora will help prevent possible outbreaks of bacterial diseases.

УДК 597.554.3(261.24)

НЕКОТОРЫЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ГУСТЕРЫ (*BLICCA BJOERKNA* L.) ОЗЕРА МАРИНОВО КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Алдушина Юлия Казимировна, канд. биол. наук, доцент кафедры водных биоресурсов и аквакультуры

Калининградский государственный технический университет,
Калининград, Россия, e-mail: yuliya.aldushina@klgtu.ru

Впервые приводятся морфометрические данные по густере озера Мариново Калининградской области и проведен сравнительный анализ в аналогичными данными других водоемов. В целом, густера озера Мариново не отличается от типичной густеры, описанной Л.С. Бергом и превосходит по средним значениям большинства меристических признаков густеру водоемов как Калининградской области, так и других водоемов. Вариабельность меристических признаков густеры озера Мариново носит слабый и средний характер.

Одним из приоритетных направлений развития рыбохозяйственного комплекса Калининградской области является полное освоение запасов, в том числе запасов недоиспользуемых отдельных видов рыб (плотва, густера, чехонь, окунь) в Куршском и Вислинском заливах, реках, озерах Калининградской области за счет как промышленного, так и рекреационного рыболовства.

Изучение морфологических особенностей рыб в условиях различных водоемов в сравнительном аспекте имеет большое как теоретическое, так и практическое значение. Теоретически это дает возможность выяснить роль среды и антропогенных факторов в процессе формообразования и микроэволюции, практически – знание закономерностей формообразования у рыб, их изменчивости и приспособлений к условиям среды заметно облегчит поиск путей формирования качественного состава ихтиофауны водоемов, а также для более четкой видовой идентификации морфологически близких видов рыб, таких как мелкоразмерные густера и лещ.

Разнообразие условий обитания густеры в водоемах различного типа обуславливает адаптацию вида к ним, что в конечном итоге приводит к изменению и появлению экологических и морфологических особенностей вида в определенном водоеме. При этом необходимо отметить, что любой, отдельно взятый организм обладает приспособительными признаками и свойствами, обеспечивающими ему возможность существовать и оставлять потомство [1]. Одним из таких свойств является пластичность, которая обусловлена выработанными в процессе эволюции и наследственно закрепленными нормами реакции на соответствующие природные факторы. В настоящее время водоемы подвержены сильному воздействию антропогенных факторов, что привело к заметному изменению гидрологического, гидрохимического и гидробиологического режимов. Это, в свою очередь, не могло не привести к особенностям в строении и экологии их обитателей, в том числе и рыб.

С изменением жизненно важных условий обитания популяций меняется характер изменчивости многих признаков: чем разнообразнее условия, тем изменчивее признаки, характеризующие особей данной популяции. Изменчивость большинства признаков – ответная реакция популяции на те или иные воздействия внешней среды [1, 2,3].

Морфологические исследования густеры в водоемах Калининградской области проводятся на протяжение последних двух десятилетий и в основном касаются крупных водных объектов, таких как Вислинский [4], Куршский [5] и Финского [6] заливов Балтийского моря и верховья р. Неман [7]. В целом, следует отметить, что большинство работ по морфологическим исследованиям густеры были выполнены в 20 веке. Целью данной статьи является изучение некоторых морфологических особенностей густеры малых водоемов Калининградской области на примере озера Мариново.

Озеро Мариново расположено на юго-востоке Калининградской области и входит в состав

Виштынецкой группы озер, и принадлежит бассейну реки Писса. Площадь озера составляет 45 га. Максимальная глубина составляет более 7 м. По своим особенностям озеро близко к озеру Виштынецкому, имеет асимметричную котловину и характеризуется заметной стратификацией вод в летний период. Слой скачка настолько сильно изолирует глубины озера от атмосферы, что у дан в отдельные периоды может полностью исчезать кислород, в воде появляется сероводород [8].

Материалом для написания данной статьи послужили данные, собранные автором на озере Мариново в рамках проведения научно-исследовательских работ кафедры водных биоресурсов и аквакультуры ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «КГТУ»).

Ихтиологический материал отбирался из контрольных уловов сетных (ставные сети с шагом ячеи 18 – 50 мм) орудий лова. Биометрический анализ рыб проводили по общепринятой схеме измерений карповых рыб [9]. Всего было проанализировано 25 особей. При проведении морфологического анализа густеры озера Мариново было исследовано 7 меристических признаков. В настоящей работе была применена логарифмическая шкала средних значений меристических признаков, позволяющая наглядно продемонстрировать слишком различающиеся признаки, а также увидеть более крупные и мелкие их значения.

Для оценки достоверности полученных результатов использовался t-критерий Стьюдента при двух уровнях достоверности P≥ 0,05 и P≥ 0,01 [10]. Статистическая обработка материала осуществлялась с использованием стандартных методов вариационной статистики [10]. Основные статистические расчеты всей работы производились в среде программы Microsoft Office.

Для анализа морфометрических данных были использованы следующие статистические характеристики: средняя величина (M), коэффициент вариации (C, %), ошибка средней (m) и стандартное отклонение (σ), которые были рассчитаны по следующим формулам (1) и (2):

$$m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

$$C = \frac{100*\sigma}{M} \quad (2)$$

Результаты морфометрических измерений густеры озера Мариново представлены в таблице 1. Густера озера Мариново характеризуется наличием 1 – 2 колючих лучей в спинном плавнике и 1 – 3 колючих луча в анальном плавнике. Для мелкоразмерной густеры озера Мариново отмечается только одного колючего луча в плавниках, что, скорее всего, объясняется наличием других колючих лучей в тканях мелкоразмерной рыбы и их внешняя выраженность проявляется у больших особей.

Таблица 1

Некоторые морфометрические характеристики густеры озера Мариново

Признаки	Колебания	M	m	σ	C,%
Число чешуй выше боковой линии *l.ls*	4-11	8,48	0,35	1,68	19,81
Число чешуй ниже боковой линии *l.li*	4-7	5,32	0,16	0,78	14,65
Число жаберных тычинок на 1-ой жаберной дуге *sp.br*	13-19	15,86	0,26	1,26	1,75
Число колючих лучей в Di	1-2	1,43	0,11	0,51	35,66
Число ветвистых лучей в D	8-10	9,00	0,06	0,30	3,33
Число колючих лучей в Ai	1-3	1,78	0,11	0,52	29,21
Число ветвистых лучей в A	21-23	22,04	0,17	0,82	3,72

Оценка достоверности различий морфометрических признаков между выборками густеры озера Мариново, Вислинского и Куршского заливов была проведена с использованием критерия Стьюдента (t). Различия считали достоверными, если критерий Стьюдента превышал 1,96 при уровне достоверности P≤ 0,05, принятым достаточным для большинства биологических объектов [10] (таблица 2).

В результате проведенной оценки достоверности различий оказалось, что для большинства признаков характерны различия при уровне достоверности P≤0,01 и, поэтому, в работе приведена дополнительно оценка при данном уровне достоверности (таблица 2).

Различия между густерой озера Мариново, Вислнского и Куршского заливов являются достоверными для большинства исследуемых меристических признаков, за исключением одного признака – число чешуй выше боковой линии. Следует отметить, что 70% исследуемых признаков имеют достоверные различия при уровне достоверности P≤0,01.

Таблица 2

Значения t-критерия, характеризующие различия по меристическим признакам густеры озера Мариново, Вислинского и Куршского заливов

Признаки	Значения критерия достоверности различий	
	Между густерой озера Мариново и Вислинского залива	Между густерой озера Мариново и Куршского залива
Число чешуй выше боковой линии *l.ls*	0,37	1,61
Число чешуй ниже боковой линии *l.li*	1,25	5,11 **
Число жаберных тычинок на 1-ой жаберной дуге *sp.br*	7,84 **	8,16 **
Число ветвистых лучей в D	10,23 **	9,12 **
Число ветвистых лучей в A	5,04 **	2,35 *

Примечание: «*» - «**» - отличия при уровне достоверности P≤0,05 и P≤0,01 соответственно

Сравнение меристических признаков густеры озера Мариново, Вислинского и Куршского заливов показывает, что средние значения большинства меристических признаков густеры озера Мариново больше аналогичных признаков в двух сравниваемых заливах (рис.1) при обнаружении достоверных различий для большинства признаков. кроме числа чешуй выше боковой линии.

Рис. 1. Меристические признаки густеры различных водоемов Калининградской области

Сравнительный анализ меристических признаков проводился не только для густеры водоемов Калининградской области, но также сравнивались некоторые меристические признаки густеры озера Мариново с аналогичными признаками густеры других водоемов (таблица 3. рис.2).

Различия значений меристических признаков между густерой озера Мариново и густерой других водоемов (уровень достоверности P ≤0,01) характерны для большинства водоемов и по большинству признаков в той или иной степени (таблица 3). Следует отметить, что наименьшее количество различий характерно для густеры Цимлянского водохранилища и Лакшозеро. Это позволяет сделать вывод, о близости данных форм густеры ввиду схожести типа водного объекта, а именно его относительной замкнутости.

В целом, различия значений по меристическим признакам рассматриваются как лежащие в пределах нормального варьирования этих признаков этого вида.

Таблица 3

Значения t-критерия, характеризующие различия по меристическим признакам густеры озера Мариново с другими водоемами

Признаки	Значения критерия достоверности различий					
	Между густерой озера Мариново и Ильмень (Дорожкина, 1972)	Между густерой озера Мариново и Ильмень (Шеврыгин, 1983)	Между густерой озера Мариново и озеро Белое (Кейстер, 2005)	Между густерой озера Мариново и Лакшоозеро (Кудерский, Потапова, 1962)	Между густерой озера Мариново и низовье Южного Буга (Щербуха, 1969)	Между густерой озера Мариново и р. Айдар (Щербуха, 1973)
Число жаберных тычинок на 1-ой жаберной дуге *sp.br*	0,46	3,06 **	6,3 **	1,38	2,11 *	3,63 **
Число ветвистых лучей в D	14,46 **	6,78 **	11,19 **	15,99 **	15,23 **	7,48 **
Число ветвистых лучей в A	4,88 **	5,35 **	7,72 **	1,05	2,89 **	2,22 **

Признаки	Значения критерия достоверности различий				
	Между густерой озера Мариново и р. Северный Донец (Щербуха, 1973)	Между густерой озера Мариново и р. Западная Двина (Пенязь, 1956)	Между густерой озера Мариново и Цимлянское вдхр (Хоружая, 1984)	Между густерой озера Мариново и Камское вдхр (Пушкин, 1965)	Между густерой озера Мариново и верхнее течение р.Неман (Жуков, 1965)
Число жаберных тычинок на 1-ой жаберной дуге *sp.br*	2,12 *	2,98 **	1,16	0,91	8,61 **
Число ветвистых лучей в D	12,66 **	5,2 **	6,12 **	14,47 **	14,39 **
Число ветвистых лучей в A	1,58	0,53	0,26	4,28 **	0,35

Примечание: «*» - «**» - отличия при уровне достоверности P≤0,05 и P≤0,01 соответственно

Сравнение средних значений меристических признаков густеры озера Мариново с густерой других водоемов показало, что густера исследуемых водоемов не отличается от типичной густеры, описанной Л.С. Бергом [11]. По количеству ветвистых лучей в спинном плавнике густера озера Мариново превосходит аналогичное значение густеры других водоемов, но соответствует верхней границе данных признаков этого вида.

Рис. 2. Некоторые меристические признаки густеры различных водоемов

В соответствии с Г.В. Никольским [12], биологическое состояние популяций могут характеризовать не только значения средней арифметической каких-либо показателей, но и данные по их изменчивости, так как вариабельность признаков, наряду с другими видовыми свойствами, является приспособлением к изменению условий среды.

Степень изменчивости меристических признаков густеры озера Мариново находится в широких пределах. Степень изменчивости 40% признаков находится как в пределах от 10 до 30 %, что, согласно Г.Ф. Лакину [10] считается средним. так и не превышает 10%, что считается слабым. Значительная степень изменчивости (коэффициент вариации более 33%) характерна для одного исследуемого признака – числа колючих лучей в спинном плавнике. Следует отметить, что такие признаки, как количество ветвистых лучей в спинном и анальном плавниках, наименее изменчивы и являются наиболее важными в систематическом отношении, что ранее было отмечено у густеры оз. Ильмень [13] и Ладожского озера [14], густеры Вислинского и Куршского заливов [4].

Таким образом, густера озера Мариново по средним значениям большинства меристических признаков достоверно превосходит густеру Вислинского и Куршского заливов. Сравнение значений меристических признаков густеры озера Мариново с густерой других водоемов показало, что густера озера Мариново не отличается от типичной густеры, описанной Л.С. Бергом [11]. По количеству ветвистых лучей в спинном плавнике густера озера Мариново превосходит аналогичное значение густеры других водоемов, но соответствует верхней границе данных признаков этого вида.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поляков Г.Д. Экологические закономерности популяционной изменчивости. – М., 1975. – 159 с.

2. Никольский Г.В. Теория динамики стада рыб. – М.: Наука, 1965. – 382 с.

3. Никольский Г.В. Экология рыб. – М.: Высшая школа, 1974. – 367 с.

4. Руйгите Ю.К. Морфо-экологическая характеристика и возможности промыслового использования густеры (Blicca bjoerkna L.) Вислинского залива Балтийского моря: дисс …канд. биол наук. – 2009. -231 с.

5. Гайгалас К.С. Блатнене Д.П. Пятравичюте Г.В. О некоторых морфо-экологических особенностях, структуре стада и хозяйственном использовании запасов густеры в бассейне залива Куршю Марес // Вопросы ихтиологии. – 1978. – Т.18. – Вып. 3. – С. 424-432.

6. Смирнов А.Н. Морфологическая характеристика густеры Финского залива // Сборник научных трудов ГосНИОРХ. - 1986. – Вып.248. – С.90 – 93.

7. Жуков П.И. Рыбы Белоруссии. – Минск: Наука и техника, 1965. – 415 с.

8. Берникова Т.А. Озера // Калининградская область: Очерки природы / Сост. Д.Я. Беренбейм; Науч. ред. В.М. Литвин. – 2-е изд., доп. и расш. – Калининград: Янтарный сказ, 1999. – С.84 – 91.
9. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. – М., 1966. – 375 с.
10. Лакин Г.Ф. Биометрия. – М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.
11. Берг Л.С. Рыбы пресноводных вод СССР и сопредельных стран. – М. – Л.: Изд-во АН СССР, 1949. – Ч.II. – С. 469-929.
12. Никольский Г.В. О формах приспособлений к саморегуляции численности популяций рыб // Журнал общей биологии. – 1960. - №4. – С. 233 – 244.
13. Дорожкина Т.Я. Морфологическая характеристика густеры Blicca bjoerkna (L.) озера Ильмень//Вопросы ихтиологии. – 1972. – Т.12. – Вып.1. – С. 189-193.
14. Шеврыгин И.Н. Морфометрическая характеристика густеры Ладожского озера // Известия ГосНИОРХ. – 1983. – Т.207. – С.51 – 56.

SOME MORPHOMETRICS PARAMETRES OF THE SILVER BREAM (*BLICCA BJOERKNA* L.) OF THE LAKE MARINOVO IN THE KALININGRAD REGION

Aldushina Yuliya Kazimirovna, PhD of Biology Science, associate professor of the Department of Water Bioresources and Aquaculture

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia, e-mail: yuliya.aldushina@klgtu.ru

For the first time, morphometric data on the silver bream of Lake Marinovo in the Kaliningrad region are presented and a comparative analysis with similar data from other reservoirs is carried out. In general, the silver bream of Lake Marinovo does not differ from the typical silver bream described by L.S. Berg and exceeds the average values of most meristic characteristics of the silver bream of lagoons both in the Kaliningrad region and other water bodies. The variability of the meristic characteristics of the silver bream of Lake Marinovo is weak and average character.

УДК 636.085

ВЛИЯНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТАРТОВОГО КОРМА НА ДИНАМИКУ РОСТА КУМЖИ

[1]Антонов Александр Михайлович, канд. с.-х. наук,
заведующий кафедрой ландшафтной архитектуры и искусственных лесов
[2]Пастухова Надежда Олеговна, канд. с.-х. наук,
доцент кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов

[1,2]Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия, e-mail: [1]a.antonov@narfu.ru; [2]n.pastuhova@narfu.ru

Приведен анализ положительного влияния экспериментального стартового корма на рост и развитие мальков кумжи. Цель проведенных исследований – разработать рецептуру стартового корма для ценных пород рыб на примере кумжи и оценить влияние корма на динамику роста мальков рыбы. Корм изготавливали из отечественных компонентов в лабораторных условиях способом экструдирования. В ходе исследований установлено, что на экспериментальном корме прирост рыбы по массе на конец эксперимента (40 дней) составил 263 % (масса увеличилась в 2,9 раза), в среднем в день кумжа прирастала на 7,2 %. Результаты биохимического и аминокислотного анализов позволяют применять данную рецептуру в промышленном кормопроизводстве как полноценный, сбалансированный корм.

Введение

В последние годы российские рыбоводные хозяйства столкнулись с дефицитом специализированных качественных иностранных аквакормов, предназначенных для выращивания лососевых, форелевых и осетровых пород рыб. До февраля 2022 года порядка 80% потребляемых аквакормов обеспечивалось поставкой продукцией из европейских стран мира: Норвегия, Италия, Франция, Дания, Финляндия (Skretting, Raisio, Biomar, Coppens, Tetra, Dibaq, Le Gouessant, Aller Forel, Sera и др.), но с началом введения санкций, большинство западных компаний приостановили поставку своей продукции на российский рынок (Ельников, 2022). Некоторые зарубежные поставщики продолжают работать с Россией, но из-за проблем с логистикой, ветеринарными и таможенными трудностями цены на продукцию возросли вдвое и увеличились сроки поставок. В результате затраты российских рыбоводческих хозяйств на комбикорма на сегодняшний день составляют 65-70% от общей себестоимости продукции, в то время, когда в Европе на кормовую составляющую приходится всего 25-35% (Коваленко, 2020).

Сегодня российские компании начали развивать производство кормов для рыб на фоне сокращения импортных поставок. Большое количество компаний предлагают широкий выбор комбикормов для ценных пород рыб, однако, качественных и высокопродуктивных отечественных кормов не так много. Долевое соотношение импортных и отечественных кормов для ценных пород рыб на рынке до февраля 2022 года составляло 90% к 10%, где 90% – это импортные корма, 10% – отечественные. Затем ситуация изменилась в сторону увеличения российской доли за счет снижения предложения Запада. Однако необходимо отметить, что для российского кормопроизводства объем производства, качество продукции и ассортимент сырья остались на невысоком уровне. Низкая питательность и несбалансированный состав кормов отрицательно влияют на продуктивность рыбы. Распространены несоблюдение рецептуры, фальсификация компонентов, высокая крошимость и низкая водостойкость гранул. Острая нехватка ощущается в стартовых кормах для молоди форелевых и лососевых рыб. На сегодняшний день доля качественных российских стартовых кормов для ценных пород рыб составляет менее 1% (Головина, 2019). Учитывая вышеизложенное, разработка, производство и реализация качественного, высокопродуктивного и по возможности недорогого стартового корма - одна из основных задач обеспечения эффективного выращивания товарной рыбы для стабильного роста и развития российских рыбоводческих хозяйств.

Цель проведенных исследований – разработать рецептуру стартового корма для ценных пород рыб, на примере кумжи, и оценить влияние корма на динамику роста мальков рыбы.

Методика

Для достижения поставленной цели были проведены исследования сотрудниками ФГАОУ ВО «САФУ имени М.В. Ломоносова» на базе Солзенского производственно-экспериментального лососевого завода (Архангельская область, г. Северодвинск). Объектом исследований служила кумжа (лат. *Salmo trutta*) со средней навеской 5,2 гр. Мальков кумжи содержали в емкости объёмом 500 л., плотность посадки мальков - 1200 шт/м^2. Садок оснащен искусственной аэрацией, фильтрацией и терморегуляторами для подогрева воды: pH – 7,0, содержание кислорода – 9,0; температура воды – 12,5^{o}C.

Экспериментальный стартовый корм изготавливали в кормовом цехе Центра развития аквакультуры САФУ из сырья российского производства. Стартовый корм создавали методом экструдирования, что гарантировало повышение прочности частиц и уменьшение крошимости при пребывании корма в воде (согласно ГОСТ 10385-2014).

Основной ингредиент стартового комбикорма для кумжи – высококачественный протеин животного происхождения, необходимый для полноценного роста и развития молоди – рыбная мука. Она в большом количестве содержит незаменимые аминокислоты, много жира, богатого незаменимыми жирными кислотами. В состав муки входит большое количество минеральных веществ, в том числе фосфора, кальция, железа и витаминов, включая холин, биотин, цианокобаламин, витамины A и D, поэтому доля муки в составе корма должна составлять большую часть – не менее 50%. Состав разработанного стартового корма представлен в таблице 1.

Таблица 1

Состав разработанного стартового корма для кумжи

Компоненты кормов	Рецептура корма
Рыбная мука, %	50
Пшеничная клейковина, %	20
Зародыши пшеницы, %	20
Гороховый протеин, %	5
Тыквенный шрот, %	5

В ходе исследований норма кормления мальков кумжи проводилась по мере поедаемости корма рыбой. Продолжительность эксперимента - 40 дней. Эффективность кормления определяли по рыбоводно-биологическим показателям: средней массе мальков, средней длине мальков, приросту по длине и массе мальков на каждые 10 дней эксперимента и среднесуточному приросту по массе и длине рыбы.

Для установления питательности и пищевой ценности разработанного стартового аквакорма, на базе аккредитованных лабораторий, проведен биохимический и аминокислотный анализы продукции (таблица 2, 3).

Таблица 2

Определение значений биохимических показателей

Определяемая характеристика (показатель)	Документы, устанавливающие правила и методы, испытаний, измерений	Результат измерения с указанием характеристики погрешности (расширенной неопределенности), при Р=0,95
Сухое вещество, %	ГОСТ 31640-2012	91,2±1,1
Сырой протеин (в сухом веществе), %	ГОСТ 32044.1-2012	40,3±0,9
Сырая клетчатка в сухом веществе, %	ГОСТ 31675-2012 п. 6	3,1±1,1
Сырой жир на абсолютно сухое вещество, %	ГОСТ 13496.15-2016 п. 9.1	16,5±1,2
Сырая зола в пересчете на сухое вещество, %	ГОСТ 26226-95 п. 1	10,3±0,4
Кальций, %	ГОСТ 26570-95 п.2.2.	2,7±0,3
Фосфор, %	ГОСТ 26657-97 п.4.1.	0,9±0,2
Натрий, %	ГОСТ 30503-97	0,3±0,1
Калий, %	ГОСТ 30504 -97 п.4.5	0,8±0,1
Концентрация мышьяка, мг/кг	ГОСТ 31628-2012	0,2±0,1

Таблица 3

Аминокислотный состав стартового корма для кумжи

Наименование определяемых показателей	Ед. измерений	Результат испытания	Неопределенность (погрешность) результата (±)
Аспарагиновая к-та	мг/100г	285	37
Глутамнновая к-та	мг/100г	295	35
Серии	мг/100г	163	20
Глицин	мг/100г	468	56
Гистидин	мг/100г	51	6
Аргинин	мг/100г	315	41
Треонин	мг/100г	92	12
Алании	мг/100г	112	13

Наименование определяемых показателей	Ед. измерений	Результат испытания	Неопределенность (погрешность) результата (±)
Пролин	мг/100г	224	27
Тирозин	мг/100г	214	26
Валии	мг/100г	275	33
Метионин	мг/100г	102	12
Цистин+цистеин	мг/100г	31	4
Изолейцин	мг/100г	71	9
Лейцин	мг/100г	234	28
Фенилаланин	мг/100г	244	29
Триптофан	мг/100г	51	9
Лизин	мг/100г	265	34

Оценка влияния стартового корма на рост и развития мальков определяли по разнице показателей прироста по массе и по длине кумжи. Мальков кумжи замеряли на начальном этапе эксперимента, через каждые 10 дней эксперимента и по окончании опыта (через 40 дней) путем взвешивания мальков на электронных весах с точностью до 0,1 мг и измерением длины рыбы линейным измерительным прибором с точностью до 0,1 мм, а затем находили разницу в значениях. В таблице 4 приведены значения динамики изменения средних рыбоводно-биологических показателей мальков кумжи.

Таблица 4

Динамика изменения рыбоводно-биологических показателей мальков кумжи

Наименование показателей	На начало эксперимента	Через 10 дней после начала эксперимента	Через 20 дней после начала эксперимента	Через 30 дней после начала эксперимента	На конец эксперимента
Средняя масса мальков, гр ± ошибка	5,2±0,6	5,3±0,3	7,6±0,6	12,6±0,9	14,8±0,7
Средняя длина мальков, см ± ошибка	8,2±0,3	8,5±0,2	9,6±0,3	10,5±0,2	10,8±0,2
Прирост по массе, %	100	102	146	243	287
Прирост по длине, %	100	103	117	128	132
Среднесуточный прирост по массе, %/гр	7,2/0,24				
Среднесуточный прирост по длине, %/гр	3,3/1,32				

Статистическая обработка полученных в ходе исследования данных проводилась с использованием пакета программ STATISTICA, version 10, StatSoft, Inc., 2011 и программного обеспечения Microsoft Excel 2010.

Выводы и результаты исследований

В ходе исследований полученные результаты биохимического и аминокислотного анализов разработанного экспериментального стартового корма подтверждают наличие комплекса биохимических показателей и аминокислот, необходимых для жизнедеятельности, продуктивности и наращивания массы кумжи. Корм богат незаменимыми аминокислотами (глутамнновая кислотата, глицин, ар-

гинин, лизин и др.), в нем содержится порядка 40,3 % массовой доли сырого протеина, что позволяет рассматривать разработанный состав рецептуры корма как полноценную, сбалансированную и качественную продукцию, готовую к применению в промышленном производстве рыбоводных хозяйств.

Согласно исследованиям, разработанный стартовый корм оказал благоприятное воздействие на комплекс рыбоводно-биологических показателей кумжи. Основной показатель прироста рыбы в рыбоводческом хозяйстве - весовой рост (прирост по массе). Показатель показывает увеличение массы рыбы с течением времени. Он используется как в товарном, так и в племенном производстве аквакультуры. За первые 10 дней эксперимента кумжа приросла по массе на 2 %, а прирост рыбы по длине составил 3%. Невысокий показатель прироста рыбы по длине и массе в начале эксперимента обусловлен привыканием рыбы к новому корму и стрессом, вызванным пересадкой мальков в новый садок для проведения исследований. Однако в продолжении эксперимента показатели прироста кумжи возрастают, и на конец опыта прирост рыбы по массе составил 187% (масса рыбы увеличилась в 2,9 раза), по длине на 32%. В среднем в день кумжа по массе прирастала на 7,2% (0,24 гр), что является неплохим показателем, который сопоставим с результатами изменений биометрических значений рыбы, питающейся качественными импортными кормами. Среднесуточный прирост малька по длине имеет меньший показатель – 3,3%, однако это тоже хороший результат, позволяющий оценивать разработанную рецептуру корма как полноценный корм, предназначенный для выращивания форелевых и лососевых пород рыб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Головина Н.А., Романова Н.Н., Головин П.П., Симонов В.М., Дементьев В.Н., Шишанова Е.И., Тренклер И.В., Пономарев С.В., Коноваленко Л.Ю., Мишуров Н.П. Анализ состояния и перспективные направления развития аквакультуры: науч. аналит. обзор. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019 – 88 с.

2. Ельников В. Производители кормов для аквакультуры ищут замену уходящему импорту// Аграрная наука, 2022 // Режим доступа: http://agrarnayanauka.ru/

3. Коноваленко Л.Ю., Мишуров Н.П., Пономарев С.В., Федоровых Ю.В. Технологии производства кормов для аквакультуры: аналит. обзор. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020 – 80 с.

THE EFFECT OF THE EXPERIMENTAL START FOOD ON TROUT GROWTH

[1]Antonov A.M., Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Department of Landscape Architecture and Artificial Forests
[2]Pastukhova N.O., Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Landscape Architecture and Artificial Forests

[1,2]Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia,
e-mail: [1]a.antonov@narfu.ru; [2]n.pastuhova@narfu.ru

The article presents an analysis of the positive effect of the experimental starter feed on the growth and development of river trout fry. The feed was made from domestic components in laboratory conditions by extrusion. In the course of the research, it was found that on the experimental feed, the weight gain of fish at the end of the experiment (40 days) was 263 % (the weight increased by 2.9 times), on average, trout grew by 7.2 % per day. Biochemical analysis of the starter feed allows us to consider the developed composition as a complete, balanced and high-protein feed, which determines the possibility of using this recipe in the industrial production of aquafeeds.

УДК 597.556.4 (261.74)

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МИКТОФИД (СЕМ. MYCTOPHIDAE) НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ ОНТОГЕНЕЗА У АТЛАНТИЧЕСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ МАРОККО В 2021-2022 ГГ.

[1]Архипов Александр Геральдович, д-р биол. наук, доцент, профессор кафедры водных биоресурсов и аквакультуры; научный координатор
[2]Халматова Эльмира Ровшановна, руководитель группы
[3]Пак Регина Анатольевна, аспирант; ст. инженер
[4]Гулюгин Сергей Юрьевич, канд. биол. наук, заведующий лабораторией

[1,3]Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия, e-mail: [1]ag_arkhipov@mail.ru
[1,2,3,4]Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО»), Калининград, Россия, e-mail: [2]khalmatova@atlantniro.ru

Рассмотрены и проанализированы особенности распределения представителей сем. Myctophidae на разных стадиях онтогенеза в атлантических водах Марокко в 2021-2022 гг. по материалам последних комплексных съёмок АтлантНИРО. Личинки, мальки и взрослые особи миктофид имели близкое распределение и встречались на значительной части акватории Марокко с увеличением скоплений на траверзах крупных мысов. Большинство встретившихся миктофид относились к двум комплексам видов – нерито-океаническому и океаническому.

Миктофиды или светящиеся анчоусы (сем. Myctophidae) составляют основную массу мелких мезопелагических рыб и являются наиболее многочисленными обитателями верхнего 1000-метрового слоя Мирового океана. Они входят в состав пищи многих промысловых рыб, головоногих моллюсков и морских млекопитающих. Хотя миктофиды имеют низкую пищевую ценность, однако эта группа мезопелагических рыб может перерабатываться в кормовую муку, рыбный жир и использоваться в фармакологической промышленности [1-7]. Поэтому эти виды рыб относятся к недоиспользованной сырьевой базе водных биоресурсов. Тем не менее, к вылову миктофид необходимо подходить с определённой осторожностью, т.к. эти виды играют важную роль в трофической сети морей и океанов, а также при их промысле из-за мелкой сетевой ячеи в тралах может сильно пострадать молодь сопутствующих видов рыб [8-9].

В океанических водах, омывающих Марокко, АтлантНИРО проводит многолетние комплексные исследования водных биоресурсов. Специалисты изучают качественный и количественный состав ихтиофауны в разные сезоны года, а также проводят оценку биомассы и учёт пополнения массовых промысловых рыб, собирают данные по другим видам гидробионтов (в том числе – миктофидам), облавливаемых в виде прилова. Кроме того, в ходе научных рейсов выполняется комплекс океанографических и гидробиологических исследований.

Цель предлагаемой работы – рассмотреть и проанализировать особенности распределения представителей сем. Myctophidae на разных стадиях онтогенеза в водах Марокко в 2021-2022 гг. по материалам последних комплексных съёмок АтлантНИРО в этом районе Центрально-Восточной Атлантики.

Материал и методика

Проанализированы материалы ихтиопланктонных съёмок, выполненных во время комплексных экспедиций на научно-исследовательских судах АтлантНИРО в октябре-ноябре 2021-2022 гг. в водах атлантического побережья Марокко (32°-21° с.ш.). Количество выполняемых ихтиопланктонных станций за съёмку составляло 45-50. Для сбора материалов использовались планктоносборщики «Бонго-20» с газом № 19-21 (шаг ячеи около 400 мк). На горизонтах 100, 50, 35, 25, 10 и 0 м осуществлялся ступенчато-косой лов по 1,5-3 мин. на каждом горизонте при скорости судна 2,0-3,0 уз. [10].

Планктонные станции на акваториях съемок располагались равномерно над глубинами от 20 до 1000 м. Дальнейшая обработка материалов велась в лабораторных условиях под бинокулярными микроскопами МБС-9 и МБС-10 (увеличение 8 х 2, 8 х 4). В ходе камеральной обработки определялись качественный и количественный составы икринок, личинок и мальков рыб.

Съемки пополнения проводились в этих же комплексных экспедициях. Пелагические траления в ходе съёмок выполнялись на шельфе и склоне над глубинами 20−1600 м в слое 0−100 м по установленной заранее стандартной схеме траловых квадратов в темное время суток в течение 30 минут. Выполнялись поэтапные траления по горизонтам с 30-ти метровым шагом до полного охвата всей верхней 100 м толщи воды. В ходе съёмок ежегодно проводилось 143 траления. Скорость тралений при этом обычно составляла 3,0−3,6 узла [11-12]. Для определения видового состава миктофид из части улова бралась выборка до 20 кг, из которой отбирались особи длиной более 10 см всех видов рыб, затем улов делился на пробы по 5 кг, из которых в свою очередь выбиралась одна и делилась на подпробы массой по 1 кг. Одна случайно выбранная подпроба массой 1 кг просматривалась с отбором редко встречающихся видов миктофид и также в свою очередь делилась на порции по 250 г. Из одной случайно выбранной порции изымались нерыбные объекты (ракообразные и головоногие), а рыбы разбирались на виды и промерялись. Вторая подпроба массой около 250 г фиксировалась 4 % формальдегидом для уточнения видового состава рыб в лаборатории и хранения в научной коллекции в институте. При обработке материала применялись стандартные ихтиологические методики [13]. Для видовой идентификации миктофид использовались разные определители [1, 14-16]. Кроме того, в камеральных условиях при проверке полевых определений видов дополнительно привлекали другие определители и сводки [17-18] и данные всемирной базы рыб [19].

Результаты и обсуждение

Распределение личинок, мальков и взрослых особей миктофид в 2021 и 2022 гг. в водах Марокко представлено на рис. 1-2. Как видно из этих рисунков, миктофиды на разных стадиях онтогенеза имели близкое распределение и встречались на значительной части акватории Марокко с увеличением скоплений на траверзах мысов Гир, Дра, Юби, Дахла, Барбадос, Кап-Блан. Причём распределения миктофид в 2021 г. и в 2022 г. были близки. Также распределение мезопелагических рыб на разных стадиях онтогенеза в рассматриваемый период года совпадали с более ранними данными [12, 20-25]. Вероятнее всего нагул и нерест видов сем. Myctophidae происходит в одних и тех же районах. Личинки и мальки миктофид встречались на большей акватории, чем взрослые особи. Это наблюдалось из-за того, что планктонные обловы выполнялись равномерно по всей площади съёмок, а пелагические траления проводились разреженно в открытых районах и учащённо в прибрежных водах и в районах крупных мысов. Как отмечалось в предыдущих работах [22, 24-26], распределение личинок, мальков и взрослых особей этих видов рыб, являющихся пассивными пловцами, зависит в основном от колебаний температуры и солёности воды, интенсивности Канарского апвеллинга и направления течений. В результате исследований было выявлено, что миктофиды предпочитают различные модификации поверхностных и центральных водных масс (Северо- и Южно-Атлантических) и избегают апвеллинговых вод. В то же время при усилении апвеллинга происходит общее понижение температуры и солёности воды в районе, сопровождающееся увеличением численности миктофид [12, 25-26].

Всего за последние годы в ходе съёмок в зоне Марокко специалистами АтлантНИРО было определено около 30 видов рыб сем. Myctophidae [12, 25]. В 2021-2022 гг. в уловах тралов и планктонных сетей обнаружено 27 видов миктофид (табл.).

Большее видовое разнообразие было отмечено в уловах пелагических тралов. В пробах из планктонных сетей большинство личинок и мальков миктофид по разным причинам удавалось определить только до рода. Наиболее часто в уловах отмечались *Diaphus dumerilii*, *Higophum hygomii*, *Notoscopelus bolini* и *Ceratoscopelus maderensis*. Большинство встретившихся миктофид относилось к двум комплексам видов – постоянно обитающим над глубоким шельфом и материковым склоном, нерито-океаническим и принесенным затоками из открытого океана океаническим [12].

Рис. 1. Распределение миктофид по данным съёмки 2021 г. А – распределение взрослых особей (тыс. экз.). Б – распределение личинок и мальков (экз./м^2).

Рис. 2. Распределение миктофид по данным съёмки 2022 г. А – распределение взрослых особей (тыс. экз.). Б – распределение личинок и мальков (экз./м^2).

Таблица 1

Видовой состав миктофид у побережья Марокко в октябре-ноябре 2021-2022 гг.

№ п/п	Вид	В траловых уловах	В планктонных сетях
1	*Ceratoscopelus maderensis*	+	+
2	*Ceratoscopelus warmingii*	+	-
3	*Diaphus dumerilii*	+	-
4	*D. taaningi*	+	-
5	*D. meadi*	+	-
6	*D. rafinesquii*	+	-
7	*D. perspicillatus*	+	-
8	*D. vanhoeffeni*	+	-
9	*D. splendidus*	+	-
10	*D. sp.*	+	+
11	*Hygophum benoiti*	+	+
12	*H. higomii*	+	+
13	*H. macrochir*	+	-
14	*Lampanyctus pusillus*	+	-
15	*L. sp.*	+	+
16	*Lobianchia dofleini*	+	-
17	*L. gemellarii*	+	-
18	*Myctophum affine*	+	-
19	*M. punctatum*	+	+
20	*M. nitidulum*	+	-
21	*M. selenops*	+	-
22	*Notoscopelus bolini*	+	-
23	*N. kroyeri*	+	-
24	*N. resplendens*	+	-
25	*N. elongatus*	+	-
26	*N. sp.*	+	+
27	*Symbolophorus veranyi*	+	+

Примечание. «+» – вид отмечен в уловах, «-» – вид в уловах отсутствовал.

Заключение

Всего в ходе съёмок в 2021-2022 гг. в уловах планктонных сетей и пелагических тралов было обнаружено 27 видов рыб сем. Myctophidae. Личинки, мальки и взрослые особи миктофид имели близкое распределение и встречались на значительной части акватории Марокко с увеличением скоплений на траверзах мысов Гир, Дра, Юби, Дахла, Барбадос, Кап-Блан. Наиболее часто в уловах отмечались *Diaphus dumerilii*, *Higophum hygomii*, *Notoscopelus bolini* и *Ceratoscopelus maderensis*. Большинство встретившихся миктофид относилось к двум комплексам видов – нерито-океаническому и океаническому.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беккер В.Э. Миктофовые рыбы Мирового океана / М.: Наука. 1983. 248с.

2. Одинцов А.Б., Рыбалкина Г.Н. Технохимический состав и технологические свойства некоторых мезопелагических рыб // Труды Атлантического научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии. Технология перспективных видов рыбопродукции / ред. Биденко М.С. Калининград: АтлантНИРО, 1984. С. 3-7.

3. Перова Л.И. Рациональное использование мезопелагических и талассобатиальных рыб для производства пищевой, кормовой и технической продукции // Труды Атлантического научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии. Перспективные технологии продукции из гидробионтов. Сборник докладов отчетных конференций по итогам 1991-1992 гг. / ред. М.П. Ан-

дреев. Калининград: АтлантНИРО, 1993. С. 25-29.

4. Одинцов А.Б. Технохимическая характеристика мелких мезопелагических рыб и пути их рационального использования // Известия Вузов. Пищевая технология, 2002. № 2-3. С. 10-12.

5. Шуст К.В., Орлов А.М. Перспективы освоения запасов светящихся анчоусов // Рыб. хоз-во. 2003. № 2. С. 38−41.

6. Харенко Е.Н., Сопина А.В., Гриценко Е.А. Освоение запасов мезопелагиали – долгий период исследований и поиска // Труды ВНИРО, 2019. Т. 176. С. 41-50.

7. Smith A.D.M. [et al.]. Impacts of fishing low-trophic species on marine ecosystem. / Smith A.D.M., Brown C.J., Bulman C.M., Elizabeth A.F., Penny J., Isaac C.K., Lozano-Montes H., Mackinson S., Marzloff M., Shannon L.J., Shin Y.-J., Tam J. // Science, 2011. № 333. P. 1147−1150.

8. Кашкин Н.И. О последствиях широкомасштабного промысла мезопелагических рыб и антарктического криля // Рыбное хозяйство, 1989, № 12. С. 41-43.

9. Hilborn R. [et al.]. When does fishing forage species affect their predators? / Hilborn R., Amoroso R.O., Bogazzi E., Jensen O.P., Parma A.M., Szuwalski C., Walters C.J. // Fish. Res., 2017. Vol. 191. P. 211−221.

10. Методические указания по сбору проб зоо- и ихтиопланктона планктоносборщиком «Бонго» и их обработке / Калининград. АтлантНИРО. 1983. 36 с.

11. Тимошенко Н.М., Винницкий П.А. Планирование, результаты и совершенствование количественного учёта пополнения пелагических рыб Центрально-Восточной Атлантики // Промыслово-биологические исследования в 2004-2005 годах. Т. 1. Условия среды, методы исследований, динамика численности гидробионтов и промышленное рыболовство. Калининград, 2007. Труды АтлантНИРО. С. 24-39.

12. Гулюгин С.Ю. [и др.]. Применение данных съемок промысловых пелагических рыб для изучения динамики видового состава и численности мезопелагических рыб у побережья Марокко в 2003−2021 годы / Гулюгин С.Ю., Халматова Э.Р., Краснобородько О.Ю., Сергеев С.В., Кукуев Е.И. // Труды АтлантНИРО. 2022. Том 6, № 1. Калининград: АтлантНИРО. С. 114−135.

13. Методическое руководство по планированию и проведению морских экспедиционных исследований состояния запасов промысловых гидробионтов в Атлантическом океане, Юго-Восточной части Тихого океана и в Балтийском море / Калининград: АтлантНИРО, 2006. 182 с.

14. Калинина Э.М. Ихтиопланктон Канарского течения / Киев: Наукова думка, 1981. 116 с.

15. Методические материалы по определению икры и личинок рыб открытой части Северной Атлантики / Сост. Ахтарина Т.А., Чеченин С.В. Мурманск: ПИНРО.1987. 160 с.

16. Guide des ressourcesmarines au Maroc / INRH, 2015. 263 p.

17. Blache J., Cadenat J., Stauch A. Clés de détermination des poissons de mersignalés dans l'Atlantique oriental (entrele 20e parallele) / Paris. Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre Mer, 1970. 479 p .

18. Нельсон Дж. С. Рыбы мировой фауны / М.: Либроком, 2006. 876 с

19. FishBase Electronic resources. Mode of access: https: //www. fishbase. de/ (Дата обраще-ния: 15.08.2023 г.).

20. Архипов А.Г. Динамика численности икринок и личинок массовых видов рыб северной части Центрально-Восточной Атлантики // Вопросы ихтиологии. 2015. Т. 55, № 2. С. 173-179.

21. Архипов А.Г., Пак Р.А. Особенности пространственного распределения различных экологических групп ихтиопланктона в северной части Центрально-Восточной Атлантики // Вопросы ихтиологии. 2020. Т. 60, № 5. С. 545-551.

22. Архипов А.Г., Пак Р.А., Симонова Т.А. Динамика численности и особенности распределения массовых видов рыб на ранних стадиях их развития в водах северной и южной частей Марокко // Труды АтлантНИРО. 2022. Т. 6, № 1. Калининград: АтлантНИРО. С. 79-90.

23. Гулюгин С.Ю., Шнар В.Н., Кукуев Е.И. Распределение рыб семейства Myctophidae у побережья Марокко в декабре 2011 г. - январе 2012 г. // Труды АтлантНИРО. 2017. Новая серия. Т. 1, № 4. Калининград: АтлантНИРО. С. 107−120.

24. Гулюгин С.Ю. [и др.]. Видовой состав и распределение рыб семейства Myctophidae у побережья Северо-Западной Африки в зоне Канарского апвеллинга в 2011-2012 и 2017 годах / Гулюгин С.Ю., Кукуев Е.И., Халматова Э.Р., Шнар В.Н., Краснобородько О.Ю. // Труды АтлантНИРО. 2019. Т. 3, № 2. Калининград: АтлантНИРО. С. 101-116.

25. Гулюгин С.Ю. [и др.]. Видовой состав и распределение миктофовых рыб в атлантических водах побережья Марокко в зависимости от гидрологических условий по результатам съемок 2008-2019 годов / Гулюгин С.Ю., Халматова Э.Р., Краснобородько О.Ю., Кукуев Е.И. // Труды АтлантНИРО. 2020. Т. 4, № 2. Калининград: АтлантНИРО. С. 106-117.

26. Краснобородько О.Ю., Чернышков П.П., Шустин А.Я. Экологический отклик на изменения структуры водных масс в пелагиали большой экосистемы Канарского течения // Труды ВНИРО. 2020. Т. 180. С. 140−155.

FEATURES OF THE DISTRIBUTION OF MYCTOPHIDS (FAM. MYCTOPHIDAE) AT DIFFERENT STAGES OF ONTOGENESIS NEAR THE ATLANTIC COAST OF MOROCCO IN 2021-2022

[1]Arkhipov Aleksandr Geral'dovich, doctor of biological sciences, associate professor, professor of the department of aquatic bioresources and aquaculture; scientific coordinator
[2]Khalmatova El'mira Rovshanovna, groups leader
[3]Pak Regina Anatol'evna, postgraduate; senior engineer
[4]Gulyugin Sergei Yur'evich, candidate of biological sciences, head of laboratory

[1,3]Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia, e-mail: [1]ag_arkhipov@mail.ru
[1,2,3,4]Atlantic branch Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Kaliningrad, Russia, e-mail: [2]khalmatova@atlantniro.ru

The features of the distribution of representatives are considered and analyzed of the family Myctophidae at different stages of ontogeny in the Atlantic waters of Morocco in 2021-2022. Based on the materials of the latest complex surveys by AtlantNIRO. Larvae, juveniles, and adults of myctophids had a similar distribution and were found in a significant part of the Moroccan water area with increasing concentrations in the area of large capes. Most of the myctophids encountered belonged to two species complexes, nerito-oceanic and oceanic.

УДК 628.357.3: 595.384.16

СООБЩЕСТВА ЗООПЛАНКТОНА И ЗООБЕНТОСА ИСКУССТВЕННЫХ ПРУДОВ ДЛЯ РАЗВЕДЕНИЯ АВСТРАЛИЙСКОГО КРАСНОКЛЕШНЕВОГО РАКА НА ТЕРРИТОРИИ АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ

[1]Воробьева Лада Владиславовна, старший специалист
[2]Борисов Ростислав Русланович, д-р биол. наук, вед. науч. сотрудник
[3]Ковачева Николина Петкова, д-р биол. наук, начальник отдела аквакультуры беспозвоночных

[1,2,3]Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, Россия, e-mail: [1]vorobjeva.lada@yandex.ru; [2]borisovrr@mail.ru; [3]kovatcheva@vniro.ru

Проведено исследование макрозообентоса и зоопланктона в прудах для выращивания автралийского красноклешневого рака Cherax quadricarinatus на территории научно-экспериментального комплекса аквакультуры «БИОС» (Астраханская область). Пробы были отобраны в июле и августе 2022 г. Выявлено 69 таксонов макрозообентоса и 20 таксонов зоопланктона. Рассчитана численность и биомасса беспозвоночных. Выявлены доминирующие группы и характерные таксоны для каждого пруда и сезона. Проведена оценка степени изменчивости сообществ зоопланктона и макрозообентоса в соответствии с сезоном отбора проб и принадлежностью к пруду, а также степени влияния рака на зоопланктон и зообентос выростных водоемов.

Введение

Пастбищное выращивание в прудах – широко практикуемый в мире метод аквакультуры рыб и ракообразных, а сами пруды представляют собой интересный объект гидробиологических исследований. Небольшие размеры и изолированность прудов дают возможность оценить степень влияния объекта аквакультуры на сообщества гидробионтов в условиях, близких к природным. Кроме того, сами пруды представляют интерес, в качестве модельных объектов для изучения сообществ небольших изолированных водоемов, находящихся в схожих абиотических условиях.

В последнее время для южных регионов Российской Федерации австралийский красноклешневый рак *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) рассматривается в качестве нового и перспективного объекта индустриальной аквакультуры [1; 2; 3]. Родиной этого вида являются тропические области севера Австралии. Для рака *C. quadricarinatus* характерны высокая скорость роста, быстрое половое созревание и высокая плодовитость [4]. Использование прудов, в сравнении с установками замкнутого водопользования (УЗВ), позволяет существенно повысить эффективность культивирования раков [5]. Этому способствует снижения плотности посадки и, как следствие, каннибализма, а также более высокие скорости роста при использовании раками естественной кормовой базы. Известно, что зоопланктон и зообентос прудов являются важными источникоми белковой пищи для речных раков, в том числе для молоди [6; 7; 8; 9; 10; 11], но исследований, направленных на изучение влияния рака *C. quadricarinatus* на сообщества водоемов на территории Европы, не проводилось.

Цели работы: проанализировать таксономический состав, оценить численность и биомассу планктонных и бентосных сообществ прудов при выращивании рака *Cherax quadricarinatus*.

Материалы и методы

1.1. Сбор и обработка материала

Экспериментальные работы по культивированию раков *C. quadricarinatus* в прудах проводились в 2022 году на базе Научно-экспериментального комплекса аквакультуры «БИОС» Волжско-Каспийского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («КаспНИРХ»). Три пруда вытянутой формы, площадью 0,1 га каждый располагались в непосредственной близости друг от друга, отношение длины к ширине составляло 4:1. Наполнение и питание водой прудов осуществлялось из общего водоподающего канала через рыбосороуловитель (для исключения попадания сорной рыбы). Уровень воды в прудах 1 и 2 составлял 1,3-2,0 м, а в пруду 3 был на 0,3 м ниже. Перед залитием прудов проводилось выкашивание растительности.

В пруды вносилась культура *Daphnia* из расчета 500 г культуры на 1 га (50 г культуры на каждый пруд) в течение 5 дней, в первый пруд в начале июня, во 2 и 3 – в первой декаде мая.

Выпуск молоди раков в пруды осуществляли в три этапа. В пруд 1 16 июня выпущено 1000 экз. молоди средней массой 0,1 г. В пруд 2 6 июля выпущено 650 экз. молоди средней массой 0,035 г и 850 экз. средней массой 0,17 г. В пруд 3 21 июля выпущено 500 экз. молоди средней массой 5,1 г.

Пробы зоопланктона и зообентоса отбирались 5-7 июля и 19-20 сентября на пяти станциях в каждом пруду (у водоподающей трубы на правом и на левом берегу, в средней части пруда, на правом и левом берегу в части пруда напротив водоподающей трубы). Отбор и обработку проб проводили по стандартным гидробиологическим методикам [12]. Макрозообентос отбирали скребком на глубине 1-1.5 м, площадь захвата составляла 0.04 м^2. Пробы отмывали от ила через сито с размерами ячеи 0.25 мм. Зоопланктон – путем процеживания 50 л воды, взятой 10-литровым ведром, через сеть Апштейна (размер ячеи 50 мкм). Идентификацию беспозвоночных проводили по определительным ключам [13; 14; 15; 16; 17].

1.2. Математические методы

Для математической обработки использовали данные по относительному обилию организмов в пробах (в процентах от общей численности). Сходство таксономического состава оценивали с помощью индекса Брея-Кертиса. Для визуализации распределения проб по таксономическому сходству использовали метод неметрического многомерного шкалирования (nMDS). Этот метод

заключается в том, что пробы располагаются в пространстве ординации на основании их сходства, причем чем выше уровень сходства, тем меньше расстояние между пробами на диаграмме. Для оценки статистической достоверности различий видового сходства по прудам и по сезонам использовался метод ANOSIM, основанный на ранжировании индексов сходства между пробами внутри группы и пробами по всей выборке. В случае, если сходство внутри группы выше сходства по выборке, разделение на группы оправдано. Для выявления характерных (вносящих наибольший вклад в сходство между пробами) таксонов зоопланктона и зообентоса для каждого из прудов и сезонов применялся метод SIMPER. Подробное описание методов приведено в пособии Кларка и др. [18]. Математическая обработка данных проводилась в программе PRIMER-7.

Результаты

За период выращивания в прудах раки продемонстрировали высокие скорости роста, а выживаемость составила от 56,5% до 84,7 %. Биомасса раков в сентябре составляла 31,4; 13,2 и 10,4 г/м^2 для прудов 1, 2 и 3 соответственно.

В бентосе всего было выявлено 69 таксонов беспозвоночных. В Таблице 1 приведен список обнаруженных таксонов и средняя численность для каждого пруда летом и осенью (экз./м^2).

Таблица 1

Таксономический состав и средняя численность макрозообентоса в прудах по сезонам (экз./м^2)

Таксон	Лето			Осень		
	Пруд 1	Пруд 2	Пруд 3	Пруд 1	Пруд 2	Пруд 3
Ephemeroptera						
Caenis horaria (Linnaeus, 1758)	165	85	0	125	55	745
Cloeon gr. *dipterum*	275	350	235	0	0	0
Odonata						
Anax sp. Leach, 1815	15	20	0	15	5	0
Crocothemis erythraea (Brullé, 1832)	0	0	0	30	70	165
Enallagma cyathigerum (Charpentier, 1840)	15	10	5	105	20	330
Sympetrum depressiusculum (Selys, 1841)	10	0	0	0	0	0
Hemiptera						
Corixidae gen.sp. (лич.)	190	75	110	10	0	0
Cymatia coleoptrata (Fabricius, 1777)	0	0	0	0	5	0
Cymatia rogenhoferi (Fieber, 1848)	0	0	5	0	0	0
Nepa cinerea Linnaeus, 1758	5	0	0	0	0	0
Notonecta glauca Linnaeus, 1758	0	0	0	0	5	0
Plea minutissima Leach, 1817	0	30	0	0	45	0
Ranatra linearis (Linnaeus, 1758)	10	0	0	0	0	0
Sigara sp. Fabricius, 1775	5	15	25	5	5	5
Coleoptera						
Berosus sp. Leach, 1817 (лич.)	40	45	35	0	0	5
Enochrus melanocephalus (A.G.Olivier, 1793)	0	5	0	0	5	0
Gyrinus sp. Geoffroy, 1762 (лич.)	5	0	0	0	0	0
Haliplus sp. Latreille, 1802	0	10	0	0	5	20
Haliplus sp. Latreille, 1802 (лич.)	0	0	0	20	5	5
Hydrophilidae gen.sp. (лич.)	0	0	0	0	0	35
Hydrovatus cuspidatus (Kunze, 1818)	0	0	0	5	10	0
Hyphydrus sp. Illiger, 1802 (лич.)	0	65	5	0	0	0
Ilybius sp. Erichson, 1832 (лич.)	0	0	0	0	0	85

Таксон	Лето			Осень		
	Пруд 1	**Пруд 2**	**Пруд 3**	**Пруд 1**	**Пруд 2**	**Пруд 3**
Laccophilus sp. Leach, 1815 (лич.)	65	45	0	0	0	0
Laccophilus poecilus Klug, 1834 (лич.)	70	105	30	0	0	0
Noterus clavicornis (De Geer, 1774)	0	0	10	0	0	0
Trichoptera						
Agraylea sexmaculata Curtis, 1834	0	0	0	0	0	10
Ecnomus tenellus (Rambur, 1842)	0	5	0	25	40	75
Oecetis lacustris (Pictet, 1834)	0	10	0	0	0	0
Diptera						
Chaoboridae gen.sp	10	0	0	0	0	10
Ephydridae gen.sp (куколки)	5	0	0	0	0	0
Mallochohelea sp. Wirth, 1962	0	0	10	0	0	70
Sphaeromias sp. Curtis, 1928	0	0	0	160	0	50
Stratiomys sp. Geoffroy, 1762	0	5	0	0	0	0
Chironomidae						
Ablabesmyia sp. Johannsen, 1905	35	10	0	0	0	15
Chironomus sp. Meigen, 1803	155	0	340	140	860	790
Clinotanypus nervosus (Meigen, 1818)	10	0	0	0	0	0
Cricotopus gr. *sylvestris*	15	0	0	10	130	630
Cryptochironomus gr. *defectus*	0	0	5	0	0	0
Endochironomus sp. Kieffer, 1918	10	0	0	0	0	0
Endochironomus stackelbergi Goetghebuer, 1935	5	0	0	0	0	0
Endochironomus tendens (Fabricius, 1775)	115	0	5	20	0	0
Glyptotendipes sp. Kieffer, 1913	300	5	295	65	0	4870
Parachironomus sp. Lenz, 1921	15	0	10	0	0	0
Paratanytarsus sp. Thienemann & Bause, 1913	45	0	20	40	0	1800
Polypedilum gr. *nubeculosum*	20	10	105	0	0	0
Polypedilum nubifer (Skuse, 1889)	0	0	0	60	10	28760
Procladius (*Holotanypus*) sp.	20	20	55	0	0	0
Procladius (*Psilotanypus*) sp.	15	0	0	0	0	0
Psectrocladius sp. Kieffer, 1906	0	0	0	50	10	490
Tanytarsus sp. van der Wulp, 1874	20	0	70	0	0	0
Crustacea						
Asellus aquaticus (Linnaeus, 1758)	25	25	0	10	20	10
Ostracoda	50	20	830	0	0	5
Mollusca						
Anisus sp. Studer, 1820	0	5	0	5	0	0
Gyraulus sp. Charpentier, 1837	495	80	5	0	0	45
Hippeutis complanatus (Linnaeus, 1758)	10	0	20	0	0	0
Lymnaea sp. (Lamarck, 1799)	1605	40	20	0	0	0
Musculium sp. Link, 1807	50	0	0	0	0	0
Physa taslei Bourguignat, 1860	0	0	0	5	0	0
Segmentina sp. Fleming, 1818	0	5	0	0	0	0
Valvata (*Cincinna*) sp.	70	20	0	0	0	5
Oligochaeta						
Eiseniella tetraedra (Savigny, 1826)	0	10	0	0	20	0
Limnodrilus sp. Claparède, 1862	205	0	20	50	5	10

Таксон	Лето			Осень		
	Пруд 1	Пруд 2	Пруд 3	Пруд 1	Пруд 2	Пруд 3
Lumbriculus variegatus (Muller, 1774)	5	0	220	0	105	50
Nais pardalis Piguet, 1906	0	0	0	0	0	60
Tubifex tubifex (O. F. Müller, 1774)	5	0	10	0	0	20
Hirudinea						
Erpobdella octoculata (Linnaeus, 1758)	20	5	5	0	5	0
Helobdella stagnalis (Linnaeus, 1758)	80	0	0	0	0	0

Таксономическое разнообразие бентоса осенью было ниже, чем летом. В июле обнаружено 56 таксонов, а в сентябре только 41 (Таблица 1). Осенью по сравнению с летом в бентосе исчезли такие таксоны как личинки поденок *Cloeon* gr. *dipterum*, жуков *Berosus* sp. и *Laccophilus poecilus*, почти отсутствовали личинки клопов семейства Corixidae, численность взрослых клопов рода *Sigara* также снизилась по сравнению с летом. Также осенью практически полностью отсутствовали моллюски, в июле отмеченные в пруду 1 в массовом количестве. В сентябре появились личинки стрекоз *Crocothemis erythraea*, а численность *Enallagma cyathigerum* значительно возросла по сравнению с июлем. Осенью увеличилась численность личинок ручейников *Ecnomus tenellus*. В пруду 3 в сентябре отмечено большое количество личинок хирономид, особенно *Polypedilum nubifer*, *Glyptotendipes* sp. и *Paratanytarsus* sp.

В прудах 2 и 3 биомасса бентоса в сентябре возросла, а в пруду 1 – снизилась (рис. 1). В июле в первом пруду по биомассе доминировали моллюски, во втором – личинки поденок, в третьем наибольшая доля биомассы приходилась на остракод. В сентябре по биомассе в зообентосе доминировали стрекозы и двукрылые. В июле значение биомассы макрозообентоса варьировало от 5,4 до 19,2 г/м^2, в августе – от 10 до 24,2 м^2.

Рис. 1. Биомасса бентоса в прудах летом и осенью, г/м^2

В планктоне прудов в общей сложности выявлено 20 таксонов беспозвоночных, 14 в июле и 17 в сентябре (Таблица 2).

Таблица 2

Таксономический состав и средняя численность зоопланктона в прудах по сезонам (тыс. экз./м^3)

Таксон	Лето			Осень		
	Пруд 1	Пруд 2	Пруд 3	Пруд 1	Пруд 2	Пруд 3
Cladocera						
Bosmina longirostris (O. F. Müller, 1776)	0,08	0	0	0	0	0
Ceriodaphnia sp. Dana, 1853	0,1	14,58	0,42	15,86	2,25	11,1
Chydoridae gen. sp.	2,38	3,84	1,62	1,22	1,2	1,28
Eurycercus lamellatus (O.F. Müller, 1776)	0,08	0,36	0,02	2,3	0,4	1,04
Daphnia galeata Sars, 1863	0,5	0,02	11,94	0	0,575	0
Daphnia longispina O. F. Müller, 1776	35,3	0,56	12,3	0,02	29,875	0,14
Diaphanosoma brachyurum Lievin, 1848	0	0	0	1,48	0,375	1,48
Megafenestra aurita (Fischer, 1849)	0,12	0,02	0,08	0	0	0
Polyphemus pediculus (Linnaeus, 1761)	29,88	7,36	21,78	11,36	3,95	13,04
Scapholeberis mucronata (O.F. Müller, 1776)	5,02	2,46	12,74	0	0	0
Sida crystallina O.F. Muller, 1776	0,16	0,06	0	2	0,1	0
Simocephalus vetulus (O.F. Müller, 1776)	0,72	0	0,14	0,84	0,05	0,14
Ostracoda	0	0,46	0,98	1,16	0,025	1,4
Cyclopiformis	0	0	0	0	0	0
Cyclopidae gen.sp.	1	4,82	0,32	0	0	0,96
Macrocyclops fuscus (Jurine, 1820)	0	0	0	1,44	0	0
Megacyclops viridis (Jurine, 1820)	0	0	0	0	0	0,24
Mesocyclops leuckarti Claus, 1857	0	0	0	0	0,325	0,14
Calaniformis	0	0	0	0	0	0
Eudiaptomus gracilis G. O. Sars, 1863	0	0	0	0,38	0	0,08
Diptera	0	0	0	0	0	0
Chironomidae gen.sp.	0,06	0,46	0,02	0,68	0,075	0,12
Culicidae gen.sp.	0	0	0	0,02	0	0

Наиболее массовыми таксонами в оба сезона были *Polyphemus pediculus* (Linnaeus, 1761), *Daphnia longispina* O. F. Müller, 1776, *Ceriodaphnia* sp. Dana, 1853. В сентябре отсутствовали *Megafenestra aurita* и *Scapholeberis mucronata*, но появились *Diaphanosoma brachyurum*, а также каляноида *Eudiaptomus gracilis* и циклопиды *Macrocyclops fuscus*, *Megacyclops viridis*, *Mesocyclops leuckarti*.

Значение биомассы зоопланктон колебалось от 0,62 до 1,89 г/м^3 в июле и от 0,57 до 1,08 г/м^3 в августе (рис. 2). В оба сезона и во всех прудах отмечено сильное доминирование ветвистоусых раков (Cladocera).

Рис. 2. Биомасса планктона в прудах летом и осенью, г/м^3

На рисунке 3 показано распределение проб бентоса по сходству таксономического состава в соответствии с сезоном и местом отбора проб. Пробы отчетливо разделяются на группы в соответствии с сезоном и принадлежностью к пруду. Согласно ANOSIM, по составу макрозообентоса все три пруда достоверно отличались друг от друга как летом, так и осенью. Отличия между водоемами по составу макрозообентоса в зависимости от сезона так же были статистически значимы.

Рис. 3. Диаграмма nMDS сходства таксономического состава бентоса по прудам и сезонам отбора проб

В таблице 3 приведены характерные таксоны бентоса согласно SIMPER (вносящие наибольший вклад в сходство проб внутри группы) по сезонам и прудам и их среднее относительное обилие (в процентах от общей численности).

Таблица 3

Характерные таксоны макрозообентоса для сезонов отбора проб и прудов и их относительное обилие

Группирующие факторы	Название таксона	Относительное обилие таксона (% от общей численности)
Сезон		
Лето	*Lymnaea* sp.	12,97
	Cloeon gr. *dipterum*	11,91
	Ostracoda	11,26
	Gyraulus sp.	6,28
	Glyptotendipes sp.	5,73
	Laccophilus poecilus	4,34
	Corixidae gen.sp.	4,57
Осень	*Polypedilum nubifer*	26,24
	Chironomus sp.	17,56
	Sphaeromias sp.	6,18
Пруды		
Пруд 1	*Lymnaea* sp.	17,23
	Sphaeromias sp.	9,13
	Gyraulus sp.	5,42
	Caenis horaria	8,98
	Glyptotendipes sp.	6,44
	Chironomus sp.	6,82
Пруд 2	*Chironomus* sp.	20,30
	Cloeon gr. *dipterum*	11,88
	Caenis horaria	7,66
	Laccophilus poecilus	5,42
	Plea minutissima	4,79
Пруд 3	*Polypedilum nubifer*	35,04
	Ostracoda	15,54

Осенью число характерных таксонов снизилось по сравнению с летом. Все характерные таксоны осенью были представлены личинками двукрылых, в то время как летом включали моллюсков, личинок поденок, жуков, клопов, двукрылых, а также ракушковых ракообразных – остракод. Характерные таксоны для первого пруда были представлены моллюсками, личинками поденок и двукрылых, второго – личинками двукрылых, поденок, жуков и клопами, третьего – личинками двукрылых и остракодами.

На рисунке 4 показано распределение проб зоопланктона по сходству таксономического состава в соответствии с сезонами года и прудами. На диаграмме ординации не заметно выраженного разделения проб на группы по сезонам года и прудам. Согласно ANOSIM, сообщества планктона достоверно отличались по сезонам, что касается прудов, то достоверно отличался только второй пруд от первого и третьего.

Рис. 4. Диаграмма nMDS сходства таксономического состава планктона по сезонам

В таблице 4 приведены характерные таксоны планктона согласно SIMPER по сезонам и прудам и их среднее относительное обилие (в процентах от общей численности).

Таблица 4

Характерные таксоны зоопланктона для сезонов отбора проб и прудов и их относительное обилие

Группирующие факторы	Название таксона	Относительное обилие таксона (% от общей численности)
Сезон		
Лето	*Polyphemus pediculus*	42,85
	Scapholeberis mucronata	13,90
	Daphnia longispina	13,17
Осень	*Polyphemus pediculus*	34,59
	Ceriodaphnia sp.	25,35
	Daphnia longispina	17,91
Пруды		
Пруд 1	*Polyphemus pediculus*	45,56
	Ceriodaphnia sp.	18,90
Пруд 2	*Daphnia longispina*	28,60
	Polyphemus pediculus	23,42
	Ceriodaphnia sp.	21,72
Пруд 3	*Polyphemus pediculus*	46,06
	Scapholeberis mucronata	10,10
	Daphnia galeata	9,26

Списки характерных таксонов и для лета, и для осени включали *P. pediculus* и *D. longispina*, а отличались только одним таксон из трех для каждого списка, *S. mucronata* являлся характерным для лета, *Ceriodaphnia* sp. – для осени.

Обсуждение

Таксономический состав сообществ макрозообентоса в выростных прудах НЭКА «БИОС» соответствовал зарослевым сообществам (фитали). В летний период отмечено высокое обилие брюхоногих моллюсков в пруду 1 (таблица 1), что характерно для всех полноценных сообществ фитали. Другие характерные зарослевые группы, встречавшиеся в прудах в летний период – плавающие личинки поденок сем. Baetidae (*Cloeon* gr. *dipterum*), плавающие хищные жуки и их личинки сем. Dytiscidae (род *Laccophilus*), плавающие хищные клопы семейств Notonectidae и Pleidae (*Notonecta glauca, Plea minutissima*), а также хищники-засадчики, такие как личинки стрекоз и клопы семейства Nepidae (*Nepa cinerea, Ranatra linearis*), плавающие всеядные клопы сем. Corixidae. Осенью доминирующими по биомассе группами становились личинки стрекоз и двукрылых, в особенности хирономид (таблица 1), которые тоже являются одной из обычных для зарослевых сообществ групп [19]. В сентябре во всех трех прудах отмечен ручейник *Ecnomus tenellus*, относящийся к зарослевым формам, характерным для водохранилищ и прудов, часто загрязненных [20]. Кроме зарослевых форм, в бентосе прудов присутствовали группы беспозвоночных, обитающие в сообществах пелали (мягких грунтов, таких как илы и песок). Это личинки поденок семейства Caenidae (*Caenis horaria*), олигохеты сем. Tubificidae и Lumbriculidae (*Limnodrilus* sp., *Lumbriculus variegatus, Tubifex tubifex*) [19].

Исследованные пруды были одинаковой формы и размеров, располагались по соседству и имели общий источник водоснабжения. Несмотря на это, они достоверно отличались друг от друга по составу макрозообентоса как летом, так и осенью. В июле во всех прудах доминировали по массе разные таксоны (рис. 1). В сентябре во всех прудах доминировали стрекозы и двукрылые, но их соотношение отличалось. Списки характерных таксонов, согласно процедуре SIMPER (вносящих наибольший вклад сходство между пробами внутри группы) сильно различались и для сезонов, и для прудов (таблица 3). Сезонная изменчивость была обусловлена особенностями жизненного цикла амфибиотических насекомых (завершением личиночной стадии одних видов и началом развития других), а также, отчасти, могла быть связана с выеданием отдельных групп раками. Интересна высокая биомасса хищников в прудах, особенно личинок стрекоз. Ранее в литературе отмечалось, что высокое обилие хищников характерно в большей степени для постоянных прудов, чем для временных [21].

Согласно множеству литературных источников [22; 23; 24; 25; 26], моллюски – излюбленный объект питания речных раков, которые могут резко снижать их численность, вплоть до полного исчезновения. Вероятно, этим может объясняться отсутствие моллюсков в бентосе прудов в сентябре при их высоком обилии, по крайней мере, в одном из прудов, в июле. Однако для других групп бентоса признаков выедания раками не отмечено. В частности, несмотря на то, что личинки насекомых тоже активно используются раками в пищу [27; 28], биомасса личинок стрекоз и двукрылых осенью оказалась выше чем летом.

Сообщества зоопланктона обследованных прудов, с доминированием ветвистоусых раков во всех прудах и в оба сезона соответствовали водоемам с высоким содержанием кислорода в воде. В литературе отмечалось, что каляноидные копеподы и ветвистоусые ракообразные чувствительны к недостатку кислорода, они избегают вод с концентрацией O_2 менее 1 мг/л. В водохранилищах в бассейне Волги отмечалось снижение обилия ракообразных фильтраторов (Cladocera, Calanoida), где регулярно отмечалось содержание кислорода у дна менее 4 мг/л. В особенности в условиях дефицита кислорода снижалось абсолютное и относительное обилие *Daphnia, Diaphanosoma* и *Eudiaptomus*. При толщине слоя воды с концентрацией O_2 менее 5 мг/л больше половины общей толщины столба воды фильтраторы отсутствовали, среди доминантов зоопланктона, в сообществе преобладали циклопоидные копеподы [29]. Доминирование ветвистоусых ракообразных в планктоне отмечено и для прудов схожего типа в Астраханской области [30], в т.ч. в прудах для выращивания сазана на территории НЭКА «БИОС» [31]. В зоопланктоне прудов для выращивания сазана доминировали *Bosmina longirostris, Ceriodaphnia reticulata, Moina rectirostris, Daphnia magna, D. longispina, P. pediculus* (Бегманова и др., 2016), а в выростных прудах для австралийского красноклешневого рака *P. pediculus, D. longispina* и *Ceriodaphnia* sp. также были наиболее массовыми таксонами.

Сообщества зоопланктона достоверно различались по сезонам, но доминирующая группа (Cladocera) и три наиболее массовых таксона оставались одними и теми же и в июле, и в сентябре. Списки характерных таксонов по SIMPER для июля и сентября включают три таксона, два из которых (*P. pediculus* и *D. longispina*) указаны для обоих сезонов, *S. mucronata* – характерный таксон для июля и *Ceriodaphnia* sp. – для сентября. Из прудов по составу планктона достоверно отличался только пруд 2 от прудов 1 и 3, там отмечена более низкая доля *P. pediculus*.

В нашем исследовании, как сезонная изменчивость, так и изменчивость сообществ между отдельными прудами была более отчетливо выражена для бентоса, чем для планктона. В литературе отмечалось, что сообщества макрозообентоса более структурированы, чем зоопланктона. Вероятно, это связано с различием в характере расселения – пассивным у планктонных организмов и активным у бентосных [32].

Заключение

Пруды для выращивания австралийского красноклешневого рака летом 2022 г. имели хорошо развитые бентосные сообщества, с преобладанием характерных зарослевых форм. Для бентоса отмечена выраженная сезонность, а также отчетливые различия между отдельными водоемами. В июле в одном из прудов наблюдалось массовое развитие моллюсков, которые исчезли из сообществ к сентябрю – вероятно, это признак выедания этих беспозвоночных раками. Однако для других групп бентосных беспозвоночных признаков угнетения раками не отмечено. В бентосе осенью доминировали личинки стрекоз и двукрылых, а в двух из трех прудов биомасса бентоса оказалась выше чем летом.

Таксономический состав планктонных сообществ с доминированием Cladocera соответствовал сообществам водоемов с высоким содержанием растворенного кислорода, а также сообществам других водоемов схожего типа в Астраханской области. Сезонные изменения сообществ зоопланктона были выражены слабее, чем зообентоса. Доминирование ветвистоусых раков по численности и биомассе наблюдалось в оба сезона, а наиболее характерные таксоны, были одинаковы в июле и сентябре. Различия состава зоопланктона между прудами были выражены слабо. Достоверно от других отличался планктон только одного из прудов.

Благодарности

Авторы благодарны за помощь в организации и проведении работ сотрудникам Волжско-Каспийского филиала ФГБНУ «ВНИРО» к.б.н. О.В. Пятикоповой, Р.Р. Тангатаровой и Б.М. Анкешевой, а также к.б.н. Е.С. Чертопруд (ЦИ ФГБНУ «ВНИРО») за консультации по определению планктона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хорошко А.В., Крючков В.Н. Новые направления прудовой аквакультуры в южных регионах России // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. – 2010. – № 2. – С. 51-54.

2. Выращивание австралийского красноклешневого рака в циркуляционной установке / А.В. Жигин, Р.Р. Борисов, Н.П. Ковачева, Д.С. Загорская и др. // Рыбное хозяйство. – 2017. – № 1. – С. 61-65.

3. Шокашева Д.И. Специфика многолетней доместикации австралийского рака *Cherax quadricarinatus* в условиях западной части Российской Федерации // Известия ТИНРО. – 2018. – Т. 194. – С. 188–192.

4. Masser M.P., Rouse D.B. Australian Red Claw Crayfish // SRAC Publication. – 1997. – №. 244. – P. 1-8.

5. Growth Characteristics of the Australian Redclaw Crayfish, *Cherax quadricarinatus*, Cultured in an Indoor Recirculating System / A. Rodríguez-Canto, J.L. Arredondo-Figueroa, J.T. Ponce-Palafox, D.B. Rouse // Journal of Applied Aquaculture. – Vol. 12. – № 3. – P. 59-64.

6. Loya-Javellana G.N., Fielder D.R., Thomea M.J. Food choice by free-living stages of the tropical freshwater crayfish, *Cherax quadricarinatus* (Parastacidae: Decapoda) // Aquaculture. – 1993. – Vol. 118. – P. 299-308.

7. Food utilisation and digestive ability of aquatic and semi-terrestrial craywshes, *Cherax destruc-*

tor and *Engaeus sericatus* (Astacidae, Parastacidae) / S.M. Linton, B.J. Allardyce, W. Hagen, P. Wencke et al. // Journal of Comparative Physiology. – 2009. – Vol. 179. – № 4. – P. 493-507.

8. Giling D., Reich P., Thompson R.M. Loss of riparian vegetation alters the ecosystem role of a freshwater crayfish (*Cherax destructor*) in an Australian intermittent lowland stream // Journal of the North American Benthological Society. – 2009. – Vol. 28. – № 3. – P. 626-637.

9. Joyce M.K., Pirozzi I. Using stable isotope analysis to determine the contribution of naturally occurring pond biota and supplementary feed to the diet of farmed Australian freshwater crayfish, redclaw (*Cherax quadricarinatus*) // International Aquatic Research. – 2015. – Vol. 8. – № 1. – P. 1-13.

10. The diet of an invasive crayfish, *Cherax quadricarinatus* (Von Martens, 1868), in Lake Kariba, inferred using stomach content and stable isotope analyses / L.T. Marufu, T. Dalu, P. Crispen, M. Barson et al. // BioInvasions Records. – 2018. – Vol. 7. – № 2. – P. 121-132.

11. Trophic niche of an invasive generalist consumer: Australian redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus*, in the Inkomati River Basin, South Africa / T.A. Zengeya, R.J.-H. Lombard, V.E. Nelwamondo, A.L. Nunes et al. // Austral Ecology. – 2022. – Vol. 47. – P. 1480-1494.

12. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. (Под ред. В.А. Абакумова). – Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 1992. – 320 с.

13. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России: в 2 т. – М.: Тов-во науч. изданий КМК, 2010. – Т.1: Зоопланктон. – 495 с.

14. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России: в 2 т. – М.: Тов-во науч. изданий КМК, 2016. – Т. 2: Зообентос. – 457 с.

15. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий: в 6 т. – Санкт-Петербург: Наука, 1997. – Т. 3: Паукообразные и низшие насекомые. – 439 с.

16. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий: в 6 т. – Санкт-Петербург: Наука, 1999. – Т. 4: Высшие насекомые. Двукрылые. – 997 с.

17. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий: в 6 т. – Санкт-Петербург: Наука, 2001. – Т. 5: Высшие насекомые (ручейники, чешуекрылые, жесткокрылые, сетчатокрылые, большекрылые, перепончатокрылые). – 825 с.

18. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation, 3rd edition / K.R. Clarke, R.N. Gorley, P.J. Somerfield, R.M. Warwick. Plymouth: PRIMER-E, 2004.

19. Чертопруд М.В. Основные классы реофильных сообществ макробеспозвоночных и их региональная изменчивость в Евразии // Биология внутренних вод. – 2021. – № 5. – С. 481-500.

20. Головатюк Л.В., Попченко Т.В. Макрозообентос малых рек Сыртового Заволжья в условиях летней межени // Материалы международной конференции «Экологические проблемы бассейнов крупных рек», 15-19 октября 2018. – Тольятти, 2018. – С. 71-73.

21. Wellborn G.A., Skelly D.K., Werner E.E. Mechanisms creating community structure across a freshwater habitat gradient // Annual Review of Ecology and Systematics. – 1996. – Vol. 27. – P. 337-363.

22. The large invertebrate-small invertebrate fauna of several south Louisiana crawfish ponds with emphasis on predacious arthropods / J.E. Barr, J.V. Huner, D.P. Klarberg, J. Witzig // Proceedings of the annual meeting - World Mariculture Society. – 1978. – Vol. 9. – P. 683-698.

23. Huner J. V., Naqvi S. Invertebrate faunas and crawfish food habits in Louisiana crawfish ponds // Proceedings of the Annual Conference Southeastern Association of Fish and Wildlife Agencies. – 1986. – Vol. 38. – P. 395-406.

24. Hanson J.M., Chambers P.A., Prepas E.E. Selective foraging by the crayfish *Orconectes virilis* and its impact on macroinvertebrates // Freshwater Biology. – 1990. – Vol. 24. – P. 69-80.

25. Alcorlo P., Geiger W., Otero M. Feeding preferences and food selection of the red swamp crayfish, Procambarus clarkii, in habitats differing in food item diversity // Crustaceana. – 2004. – Vol. 77. – № 4. – P. 435-453.

26. Kreps T.A., Baldridge A.K., Lodge D.M. The impact of an invasive predator (*Orconectes rusticus*) on freshwater snail communities: insights on habitat-specific effects from a multilake long-term study // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. – 2012. – Vol. 69. – № 7. – P. 1164-1173.

27. Momot W.T. Redefining the role of crayfish in aquatic ecosystems // Reviews in Fisheries Science. – 1995. – Vol. 3. – № 1. – P. 33-63.

28. Gherardi F., Acquistapace P., Santini G. Food selection in freshwater omnivores: a case study of crayfish *Austropotamobius pallipes* // Archiv fur Hydrobiologie. – 2004. – Vol. 159. – № 3. – P. 357-376.

29. Кислородный режим водохранилищ Волги и Камы в период потепления климата: последствия для зоопланктона и зообентоса / В.И. Лазарева, И.Э. Степанова, А.И. Цветков, Е.Г. Пряничникова и др. // Труды ИБВВ РАН. – 2018. – Вып. 81. – № 84. – С. 47-84.

30. Фархан Я.Х., Анохина А.З., Судакова Н.В. Сравнительная оценка состояния естественной кормовой базы в прудах в условиях применения органической аквакультуры КФХ «БАМ» // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания. – 2022. – № 2. – С. 152-158.

31. Бегманова А.Б., Сакетова К.Ш., Мищенко А.В. 2016. Выращивание сеголеток сазана в поликультуре в условиях Астраханской области // Вестн. АТГУ. Серия: Рыбное хозяйство – 2016. – № 3. – С. 54-63.

32. Metacommunity ecology meets biogeography: effects of geographical region, spatial dynamics and environmental filtering on community structure in aquatic organisms / J. Heino, J. Soininen, J. Alahuhta, J. Lappalainen et al. 2016. // Oecologia. – 2015. – Vol. 183. – № 1. – P. 121-137.

COMMUNITIES OF ZOOPLANKTON AND ZOOBENTHOS IN ARTIFICIAL POND FOR AUSTRALIAN RED CLAW CRYFISH CULTIVATION IN THE ASTRAKHAN REGION

[1]Vorobjeva Lada Vladislavovna, Senior Specialist
[2]Borisov Rostislav Ruslanovich, Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher
[3]Kovacheva Nikolina Petkova, Doctor of Biological Sciences,
Head of the Invertebrate Aquaculture Department

[1,2,3]Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, Russia,
[1]e-mail: vorobjeva.lada@yandex.ru; [2]borisovrr@mail.ru; [3]kovatcheva@vniro.ru

A study of macrozoobenthos and zooplankton was carried out in ponds for cultivating the Australian red-claw crayfish Cherax quadricarinatus on the territory of the scientific and experimental aquaculture complex "BIOS" (Astrakhan region). Samples were taken in July and August 2022. 69 taxa of macrozoobenthos and 20 taxa of zooplankton were identified. The abundance and biomass of invertebrates were calculated. Dominant groups and characteristic taxa for each pond and season have been identified. An assessment was made of the degree of variability of zooplankton and macrozoobenthos communities in accordance with the sampling season and belonging to the pond, as well as the degree of crayfish influence on zooplankton and macrozoobenthos of the grow-out ponds.

УДК 639.3.034

НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ПРИВЫЧНЫЙ РЫБОВОДНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ

[1,2]Гринберг Екатерина Владимировна, без степени, педагог дополнительного образования, аспирант

[1]Станция юных натуралистов, г. Долинск, Сахалинская область, Россия
[2]Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИМГиГ ДВО РАН),
Южно-Сахалинск, Россия, e-mail: ekaterina-grinberg@yandex.ru

На основе знаний биологических основ искусственного разведения тихоокеанских лососей и значительного опыта работы на лососевых рыбоводных заводах о. Сахалин рыбоводный показатель «процент оплодотворения» рассмотрен с непривычных сторон. Показаны его значимость и правила определения, приведены практические рекомендации для увеличения доли оплодотворения икринок лососей, пояснены биологическая и практическая значимость 99–100 % оплодотворения икры.

В аквакультуре качество (и опосредованно количество) разводимой продукции принято оценивать по ряду показателей. Один из них, определяемый в период инкубации икры – «процент оплодотворения». Термин «процент оплодотворения» сознательно взят автором в кавычки, поскольку неграмотен и точнее бы звучало «доля оплодотворения», «показатель оплодотворения», «количество оплодотворенной икры, выраженное в процентах» или «степень оплодотворяемости» (по Соину С.Г. [1]). Однако, на практике, именно выражение «процент оплодотворения» устоялось, привычно употребляется и внесено в названия граф таблиц первичной и отчетной рыбоводной документации.

«Процент оплодотворения» на современных лососевых рыбоводных заводах (ЛРЗ) Сахалино-Курильского региона определяют по достижении икрой возраста около 120 гр/дней, методом просветления оболочек икры уксусным раствором [2] или на стадии пигментации глаз («глазка»). В некоторых случаях долю оплодотворения нужно узнать раньше – тогда икру, предварительно зафиксированную в 4% растворе формалина с добавлением 6 г поваренной соли на 1 л воды [1], «просматривают под микроскопом, бинокуляром или сильной лупой», предварительно сняв оболочку [3]. Согласно Соину С.Г. «наиболее резкие различия между оплодотворенной и неоплодотворенной икрой лососевых рыб наступают на стадии гаструлы, когда бластодерма оплодотворенной икры наполовину обрастет яйцо и в нем становится виден зародыш» [1]. Так же этот показатель можно определить «в период дробления, когда зародышевый диск нормально развивающихся яиц состоит из 16 и более бластомеров» [3].

Следует отметить, что определение количества оплодотворенных икринок под лупой, с предварительным снятием оболочек, очень трудоемко, но существуют ситуации, когда это необходимо. Особенно важно как можно раньше определять степень оплодотворения при сборе первых партий икры от рыб начала хода; при подозрении на отклонение условий выдерживания производителей от оптимальных; при сборе икры на впервые введенных в эксплуатацию ЛРЗ и т. д. К сожалению, по ряду субъективных и объективных причин, на некоторых ЛРЗ «процент оплодотворения» не определяют вообще, не понимая его значения и смысла. Поэтому, будет уместно перечислить основные причины, по которым необходимо определять данный показатель.

Считается, что процент оплодотворения устанавливают «для оценки качества икры, получаемой от производителей рыб, определения эффективности ее осеменения в сочетании с условиями отмывки и набухания» [3]. Помимо этого, оценка и анализирование рыбоводного показателя «процент оплодотворения» позволяет:

- оперативно скорректировать планы сбора икры, если по каким-либо причинам в первых собранных партиях, оплодотворенной икры намного меньше нормативных 96% [4], что грозит невыполнением планов закладки икры и выпуска молоди и, соответственно, штрафами за нарушение условий договора на искусственное воспроизводство;

- своевременно выяснить причины уменьшения количества оплодотворенной икры и незамедлительно устранить их;

- оценить качество зрелых половых клеток (икры и спермы);

- определить оптимальные условия при выдерживании производителей (температуру воды, содержание растворенного кислорода, плотность посадки, высоту воды в садке, световой режим и многие другие показатели) и воссоздать их в последующих рыбоводных циклах;

- выяснить допущенные нарушения при проведении забоя производителей, доставке их в оплодотворительный цех, сборе икры и отцеживании спермы, осеменении и принять меры к их недопущению;

- спрогнозировать долю инкубационного отхода (соответственно и необходимость найма работников для выборки вручную или приобретение дополнительного оборудования для автоматизированной переборки), а также отхода за выдерживание и подращивание, т. е. предварительно определиться с количеством молоди к выпуску;

- спланировать работы по выборке инкубационного отхода и выносу на вылупление (сколько каналов подготовить для выдерживания предличинок, какое количество воды запланировать для периода выдерживания и т. д.);

- откорректировать заявки на корма для периода подращивания молоди (увеличить или сократить, изменить соотношение по фракциям, докупить иммуностимулирующие добавки и др.);

- изменить планы проведения лечебно-профилактических мероприятий и маркирования отолитов.

Определение «процента оплодотворения» привычно и рутинно для большинства рыбоводов, но в этой привычной простоте кроется опасность сделать ошибку – полученные результаты будут недостоверны и по ним нельзя делать выводы и строить планы. Методика определения количества оплодотворенной икры с практическими нюансами приведена во многих инструкциях и пособиях [5, 2], поэтому здесь отметим только важные моменты, которые позволят получить достоверные данные о количестве неоплодотворенной икры в партиях. Долю оплодотворенных икринок определяют для каждой партии икры и для уверенности в том, что найденное значение показателя объективно и достоверно, следует соблюдать несколько правил. Приведем основные из них:

- определять «процент оплодотворения» необходимо не менее чем в половине инкубационных аппаратов, занятых икрой одной партии;

- отбор икры для анализа производить из середины «навала» икры;

- отбирать для каждого анализа из одного аппарата/отсека не менее 100 икринок;

- при подсчетах за 100% принимать количество всей просмотренной икры, а не только оплодотворенной.

Когда рыбовод уверен в полученных результатах о количестве оплодотворенной икры по каждой партии, он начинает сравнивать полученные значения с нормативом (биопоказателем), с результатами анализа по другим партиям (особенно собранными до и после анализируемой партии), а также с аналогичным показателем в предыдущих рыбоводных циклах (так называемых «родительских поколениях»). Для того чтобы понять причины ухудшения или увеличения доли оплодотворения, необходимо проводить анализирование на основе данных из нескольких журналов рыбоводной отчетности и «Дневника рыбовода» [5]. Набор и сочетание экологических условий выдерживания производителей, получения зрелых половых продуктов, осеменения, промывки и набухания, приведших к «проценту оплодотворения» не менее 97-98%, а лучше 98-99% – фиксируют документально; проводят технические минимумы с персоналом, который работал и/или будет работать на пункте сбора икры; обязательно воспроизводят (устанавливают, контролируют и регулируют) показатели и значения этих условий в следующем рыбоводном цикле.

Все ошибки и нарушения биотехники, приведшие к снижению количества оплодотворенных икринок необходимо выявить, довести до сведения работников ЛРЗ и принять все меры к их устранению или минимизации в новом рыбоводном цикле. При проведении обучения работников важно не просто рассказать, как грамотно производить ту или иную операцию, а пояснить на конкретных (экономических) примерах к чему приведет та или иная ошибка/нарушение биотехники при отсадке и выдерживании производителей, при их обездвиживании и доставке в оплодотворительный цех, при сборе икры, спермы и осеменении. Эффективность работы любого ЛРЗ базиру-

ется на многих «китах» и один из них – это осознанные, грамотные (основанные на знании базовых понятий и биологических основ искусственного разведения тихоокеанских лососей) действия всего персонала, особенно в период проведения рыбоводной путины. Под персоналом здесь понимается не только специалисты-рыбоводы и рабочие-рыбоводы, но и другие «штатные единицы», поскольку специфика ЛРЗ состоит в том, что в период проведения путинных работ, выноса на вылупление, подъема на плав, лечебно-профилактических мероприятий и кормления в период подращивания – в работу вовлекаются все, без исключения, работники.

В начале статье было показано для чего необходимо определять «процент оплодотворения», далее приведем основные факторы и биотехнические приемы, которые позволяют добиваться на всех ЛРЗ доли оплодотворения не менее 98-99%. Но, прежде всего определимся, возможна ли столь значительная доля оплодотворения? Ответ однозначный – да. Еще в период становления советского искусственного рыборазведения на Дальнем Востоке, ученые и практики, отмечали, что «количество неоплодотворенной икры на некоторых западных лососевых рыбоводных заводах достигает 30-40%», но «соблюдая все правила искусственного оплодотворения и правильно определяя качество половых продуктов производителей, можно достигнуть высокого оплодотворения икры, близкого к 100% ...» [6]. Таким образом, в XXI веке, обладая отточенной десятилетиями биотехникой искусственного разведения тихоокеанских лососей, основанной на глубочайших знаниях специфики литофильной группы рыб, закапывающих икру в грунт и теории этапности развития, можно и нужно получать около 100% оплодотворенной икры при ее сборе.

Ниже будут приведены несколько экологических и экономических доводов в пользу максимально возможного увеличения доли оплодотворения икринок, а пока приведем краткий список факторов и приемов биотехники искусственного разведения лососей, влияющих на долю оплодотворения:

- несколько десятков условий отсадки и выдерживания производителей, начиная от конструкции сачка, материала из которого он изготовлен и количества рыб в сачке при отсадке и сортировке производителей до глубины воды в садке и наличию выше по течению садков с более или, наоборот, менее зрелыми производителями (от оптимальности и комплексности этих условий и приемов напрямую зависит результат завершения гонадогенеза и качество полученных от производителей половых продуктов);
- биотехника изъятия созревших производителей из садков, перенесения их на столы для забоя, обездвиживание и доставка в оплодотворительный цех;
- методика вскрытия самок для получения икры и отцеживания спермы у самцов;
- приемы «сухого» осеменения, промывки, набухания и подготовки свежеоплодотворенной икры к транспортировке;
- качество инвентаря и оборудования для сбора и транспортировки икры;
- организация путинных работ в течение суток и непосредственно в оплодотворительном цехе;
- вид и возраст (или часть нерестового хода: начало, середина, окончание) лососей [7, 8].

Для того чтобы добиться максимальной степени оплодотворения икринок необходимы знания:

- о специфике строения яичников и овуляции у самок лососей (известно, что «…зрелые ооциты рыб освобождаются от фолликулярной и соединительнотканной оболочек. Фолликулы разрываются, и ооциты у большинства рыб выпадают в полость яичников, а у лососевых и осетровых рыб, имеющих незамкнутые яичники, – в полость тела» – именно это надо учитывать при работе с производителями и сборе икры – бережно работать с самками, не допускать мокрых желобов и брюшка) [3];
- о строении икры и спермиев, их особенностях у литофильных рыб (у костистых рыб одно микропиле, оно пронизывает все оболочки [9, 3] – поэтому задача рыбоводов состоит в том, что бы в единственное микропиле попал здоровый сперматозоид, а не частичка крови, вода или содержимое лопнувшей икринки; продолжительность эффективного движения сперматозоидов лососей в воде не более минуты, но они активируются и овариальной жидкостью [10, 9], а инактивируются, например, если в овариальной жидкости есть примеси от лопнувших зрелых икринок [11], поэтому важно чтобы способ сухого осеменения применялся на ЛРЗ осознанно и неукоснительно);
- о сложной популяционной структуре и внутривидовой дифференциации у лососей, которые во многом сохраняют и поддерживают именно в период отсаживания производителей и сбора икры (сохранять генетическое разнообразие лососей необходимо не только строго соблюдая соотношение полов при осеменении 1 : 1 [12, 2], но и используя «правило 25*50*25» Ю.П. Алтухова, сформулированное им на одном из рыбоводных совещаний, а также другие рекомендации ученых,

занимавшихся или занимающихся изучением популяционной структуры лососей).

Итак, мы выяснили как грамотно определять количество оплодотворенных икринок в партии инкубирующейся икры, какие выводы сделать при анализировании полученного результата и как добиться максимальной степени оплодотворенной икры в период ее сбора. Далее определимся для чего «процент оплодотворения» икры лососей в условиях их искусственного разведения должен быть максимальным – около 100%. Аргументов в пользу увеличения доли оплодотворенных икринок немало, приведем два основных.

Первый и самый очевидный – практический, он же экономический. Для выборки производственного отхода (в период инкубации) из партий с наименьшей долей неоплодотворенных икринок потребуется меньше времени и трудозатрат; из оставшейся живой икры вылупится большее количество эмбрионов и, соответственно, будет превышен план выпуска мальков; эмбрионы, полученные из такой «чистой» икры и затем молодь, будут заведомо более здоровыми и крепкими, что увеличит их шансы на выживаемость в ранний морской период жизни и т. д. Таким образом, просто соблюдение биотехники при проведении рыбоводной путины, служит гарантией увеличения доли оплодотворенной икры до максимально возможных 99+% и по цепочке приводит к увеличению промыслового возврата – одного из самых важных критериев оценки эффективности работы ЛРЗ: «эффективность работы промышленных предприятий по искусственному рыборазведению оценивается по количеству и качеству выпускаемой молоди рыб в естественные водоемы, величине промыслового возврата от этой молоди и экономическому показателю» [3].

Второй, менее очевидный, особенно для тех, кто не понимает экологическую сущность искусственного рыборазведения (аквакультуры) – это биологический (экологический) аргумент. С точки зрения биологической логики, в природе, неоплодотворенная икра немедленно бы погибала, становилась субстратом для большого количества организмов и прежде всего сапролегниевых грибов, начинала бы разлагаться и сделала бы и без того напряженные условия дыхания в нерестовых буграх лососей и вовсе невыносимыми. Поэтому в процессе эволюции было сформировано более чем оригинальное приспособление неоплодотворенной икры лососей продолжать свое развитие почти до вылупления свободных эмбрионов из оплодотворенных икринок: «такое длительное существование неоплодотворенной икры имеет несомненно биологическое значение: если бы она рано погибала, то в результате ее разложения в нерестовых буграх создавались бы неблагоприятные условия дыхания для нормально развивающейся икры, и она также погибала бы» [6].

Таким образом, при искусственном разведении тихоокеанских лососей, в период инкубации икры с долей оплодотворения не менее 98-99% складываются более оптимальные условия дыхания и омываемости икринок; становится меньше субстрата для развития сапролегниоза икры; сокращается продолжительность выборки производственного отхода и повышается его качество; появляется возможность уменьшения количества лечебно-профилактических обработок икры; «сухое» маркирование отолитов проводится в более ранние сроки, а эмбрионы легче переносят подобные манипуляции; также легче происходит (для такой «чистой» икры) и воздействие перед выборкой отхода – стрессовая обработка. Выгоды (экономические и экологические) от сбора икры с высокой долей оплодотворения очевидны.

Конечно же судить о качестве собранной икры лососей только по «проценту оплодотворения» – большая ошибка, но и недооценивать этот показатель, а тем более не определять – недопустимо. Качество собранной и инкубирующейся живой икры, помимо «процента оплодотворения», оценивают и по таким показателям, как: масса и диаметр (их абсолютные значения и показатели изменчивости [10]); цвет и форма; сроки наступления некоторых стадий развития и др. Значительная доля оплодотворения чаще всего результат и показатель высокого качества проведения путинных работ и позволяет надеяться на максимально возможный выход продукции, значительную ее резистентность и быстрое достижение необходимой массы мальков к моменту выпуска. Однако, при несоблюдении условий промывки и набухания, транспортировки и инкубации икры, выход свободных эмбрионов может стать меньше ожидаемого (сверхнормативный отход за инкубацию), а выдерживание предличинок и подращивание молоди (личинок и мальков) станет затруднительным из-за их ослабленности, снижения устойчивости, подверженности заболеваниям и другим сочетанным с перечисленными причинам.

В заключение отметим, что сокращение количества неоплодотворенных икринок в собранных партиях икры – один из самых значимых ресурсов увеличения количества (и качества) выпущенной молоди. Так, только на разнице бионорматива и 100% оплодотворения получается дополнительно около 4% молоди, а если учесть, что за счет сокращения числа мертвых икринок и улучшения условий инкубации останутся живыми дополнительно 1-3% оплодотворенных икринок (они обычно погибают в икре с долей оплодотворения менее 96-98%), то, в целом, не менее 5-6% предличинок, а затем личинок и мальков будут выпущены с ЛРЗ сверх плана только за счет высокой доли оплодотворения. Дополнительные 5% в каждом выпущенном миллионе мальков, допустим кеты, даже при возврате 1% (500 штук производителей) позволят получить более 1,6 т рыбы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соин, С.Г. О развитии неоплодотворенной икры лососевых рыб // Рыбное хозяйство. – 1953. - №5. – С. 55-58

2. Смирнов, А.И. Инструкция по искусственному разведению тихоокеанских лососей / А.И. Смирнов – М.: Рыб. хоз-во, 1963. – 61 с.

3. Иванов, А.П. Рыбоводство в естественных водоемах / А.П. Иванов. – М.: Агропромиздат, 1988. – 367 с.

4. Методика расчёта объёма добычи (вылова) водных биологических ресурсов, необходимого для обеспечения сохранения водных биологических ресурсов и обеспечения деятельности рыбоводных хозяйств, при осуществлении рыболовства в целях аквакультуры (рыбоводства) // Приказ №25 Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 30.01.2015. В действие вступил 10.03.2015.

5. Литвиненко, А.В. Искусственное разведение тихоокеанских лососей в Сахалинской области / А.В. Литвиненко, Е.В. Гринберг. Учебное пособие (в печати). – 2022. – 200 с.

6. Соин, С.Г. Закономерности развития летней кеты, горбуши и симы // Труды совещания по вопросам лососевого хозяйства Дальнего Востока. – 1954. – вып. 4. – 206 с. – С.144-155

7. Гринберг, Е.В. Об основных ошибках при взятии зрелых половых продуктов у тихоокеанских лососей, осеменении икры и подготовке ее к инкубации в условиях лососевых рыбоводных заводов / Е.В. Гринберг // Состояние и пути развития аквакультуры в Российской Федерации в свете импортозамещения и обеспечения продовольственной безопасности страны: материалы Ш Национальной научно-практическая конференции, Казань, 3-5 октября 2018 г. / под ред. А. А. Васильева. – Саратов: Амирит, 2018 б. – С. 60-65.

8. Гринберг, Е.В. Типичные ошибки и нарушения биотехники искусственного разведения тихоокеанских лососей (Часть 1) / Е.В. Гринберг // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2020 а. – № 7 (174). – С.50-57. Http://DOI 10.33920/sel-09-2007-05.

9. Смирнов, А.И. Биология, размножение и развитие тихоокеанских лососей: монография / А.И. Смирнов. – Москва : Изд-во Моск. Ун-та, 1975. – 333 с.

10. Неваленный, А.А., Пономарева Е.Н, Сорокина М.Н. Биологические основы рыбоводства: учебник. – М.: МОРКНИГА, 2016. – 434 с.

11. Моисеева, Е.В. Биологические основы повышения эффективности разведения радужной форели PARASALMO (=ONCORHYNCHUS) MYKISS в условиях племенных заводов: диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук по спец. 03.02.06 «Ихтиология» / Е.В. Моисеева, Краснодар, 2015 – 201 с.

12. Алтухов, Ю.П. Популяционная генетика лососевых рыб / Ю.П. Алтухов, Е.А. Салменкова, В.Т. Омельченко. – М. : Наука, 1997. – 298 с.

A NEW LOOK AT A HABITUAL FISH BREEDING INDEX

Grinberg Ekaterina Vladimirovna, without a degree, postgraduate IMGIG DVO RAS

[1]Municipal budgetary educational institution of additional education
"Station of young naturalists", Dolinsk, Sakhalin region, Russia
[2]Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Marine Geology and Geophysics
of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (IMGiG DVO RAS),
Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, e-mail: ekaterina-grinberg@yandex.ru

In the article, based on knowledge of the biological foundations of artificial breeding of Pacific salmon and significant experience in working at salmon fish hatcheries on the island. Sakhalin, the fish farm indicator "percentage of fertilization" is examined from unusual angles. Its significance and rules of determination are shown, practical recommendations are given for increasing the proportion of fertilization of salmon eggs, and the biological and practical significance of 99-100% fertilization of eggs is explained.

УДК 639.321 (639.312)

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АКВАКУЛЬТУРЫ В ВОДОЕМАХ СОЛОВЕЦКОГО АРХИПЕЛАГА

[1]Дворянкин Геннадий Александрович, канд. биол. наук
[2]Новоселов Александр Павлович, д-р биол. наук

[1,2]Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук
(ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН), Архангельск, Россия, e-mail: [1]dga130157@gmail.com

Целью настоящей работы явилась оценка перспектив развития аквакультуры в пресноводных водоемах и в прибрежных водах Соловецкого архипелага. Проведен анализ путей формирования пресноводной ихтиофауны архипелага, дана оценка эффективности проведенных на нем акклиматизационных работ. Представлены рекомендации по развитию аквакультуры на островах, основанные на практических экспериментальных исследованиях. Как наиболее перспективные рекомендованы озерное пастбищное рыбоводство и садковое выращивание рыбы в прибрежных водах островных губ. Указаны наиболее подходящие для культивирования виды: ряпушка, пелядь, сиг, радужная форель.

История освоения Соловецких островов всегда была неразрывно связана с пресноводными водоемами архипелага. Со времени образования монастыря озера служили источником пищи для монахов и многочисленных паломников. Аборигенная ихтиофауна внутренних водоемов островов была сформирована в послеледниковый период и, в связи с изолированностью архипелага, представлена всего 8 видами рыб: щукой, налимом, окунем, плотвой, ершом, колюшками - трехиглой и девятииглой, а также проходной корюшкой, заходящей весной в некоторые озера. С целью повышения продуктивности озер и качественного улучшения ассортимента добываемых рыб, монахи предпринимали многочисленные попытки акклиматизации разных видов. Во второй половине XX века работы по интродукции новых видов рыб в озера архипелага были продолжены. Однако, в целом, за исключением вселенной ряпушки, практических результатов они не дали. Рыбопродукция местных водоемах осталась на низком уровне [1].

При этом в настоящее время, в результате претворения в жизнь программы социально-экономического развития островов, на ограниченной территории Соловецкого архипелага оказались сосредоточенными значительные материальные, технические и людские ресурсы. Получили дополнительное развитие массовый туризм и паломничество. В 2022 г. острова посетили почти 65 тыс. человек. К сожалению, следствием этого явилось неуклонное нарастание антропогенной нагрузки на природную среду архипелага. И озера, в силу своих небольших размеров и доступности, стали самыми уязвимыми звеньями природного комплекса островов. Полученные нами данные свидетельствуют о том, что рыбная часть сообществ ряда озер подвергается антропогенному прессу и эта нагрузка растет с каждым годом. На наш взгляд, снизить этого прессинга с одной стороны, и снабдить населения качественной рыбопродукцией может развитие пресноводной аквакультуры на местных озерах, и садковое выращивание рыбы в прибрежных водах Соловецкого архипелага.

1. Перспективы пастбищного выращивание сиговых видов рыб в озерах Соловецкого архипелага

Одним из самых перспективных направлений товарного рыбоводства на внутренних водоемах является сиговодство. Его выгодность обусловлена возможностью выращивания сиговых рыб преимущественно на основе создания пастбищного нагульного хозяйства за счет естественной самовозобновляемой кормовой базы местных водоемов, что максимально удешевляет технологию производственных процессов. В этой связи, представляется перспективным выращивание в озерах Соловецкого архипелага рыб сигового комплекса (ряпушки, пеляди, сига), обладающих хорошими вкусовыми качествами и высокой коммерческой значимостью. Для этой цели вполне подходит главная озерно-канальная система Соловецкого архипелага, отличающаяся хорошим качеством вод и достаточной кормовой базой как для рыб планктофагов (ряпушки и пеляди), так и для рыб бентофагов (сига).

Предлагаемая нами программа развития сиговодства в озерах Соловецкого архипелага включает два основных направления, взаимно дополняющие друг друга [2]. Первое из них – озерное сиговодство. Направлено на повышение рыбопродуктивности озер и улучшения ассортимента получаемой рыбной продукции за счет вселения в них ценных сиговых видов рыб. Второе – искусственное воспроизводство молоди, призванное поддерживать на оптимальном уровне численность выращиваемых в озерно-канальной системе ряпушки, пеляди и сига.

Проведение работ по озерному товарному сиговодству предусматривает:

1. Подбор и организация работы озерных питомников с целью получения качественного посадочного материала для зарыбления нагульных озер;
2. Стартовое зарыбление озерно-канальной системы сиговыми видами рыб как с планктонным (ряпушка, пелядь), так и с бентосным (сиг) характером питания;
3. Мониторинг состояния выращиваемых видов рыб, поддержание численности их популяций за счет периодического зарыбления дополнительными партиями молоди.

При этом производители сиговых рыб отлавливаются в маточных озерах (одно из которых – оз. Мураканское – расположено на Онежском полуострове недалеко от архипелага). На них обустраиваются временные рыбоводные пункты, на которых производится отбор, оплодотворение икры и ее перевозка в рыбоводный цех для дальнейшей инкубации. Инкубация икры может проводиться или на действующем рыбоводном заводе в г. Онеге (в непосредственной близости от архипелага), или на рыбоводном модуле, установленном непосредственно на Соловках. Выклюнувшиеся личинки после выдерживания помещаются для подращивания в озера-питомники. Затем выросшие сеголетки сиговых перевозятся в подобранные и подготовленные нагульные озера, где вырастают на естественной кормовой базе до товарной кондиции.

2. Перспективы садкового выращивания рыбы на озерах Соловецкого архипелага

В озерах Соловецкого архипелага возможно также садковое выращивание радужной форели. С точки зрения экологической безопасности здесь целесообразна организация на одном или нескольких замкнутых водоемах небольших хозяйств мощностью 5-10 т товарной форели в год. Для этой цели подходят озера площадью более 20 га, которых около тридцати на Б. Соловецком о-ве. Практическая схема деятельности озерного форелевого хозяйства может выглядеть следующим образом. Весной в подго-

товленные садки выпускаются годовики форели. Осенью вес двухлеток форели достигает 250-300 г, и она может идти на реализацию в торговую сеть и предприятия питания. Часть форели может выпускаться на нагул в подобранные замкнутые озера (или специальный садок), для организации платного спортивного рыболовства. Освободившиеся садки вновь зарыбляются молодью. Расчетная сумма капитальных и текущих затрат на выращивание 10 тонн форели в таком хозяйстве составляет, в среднем, около 4 млн. руб. [3]. Себестоимость товарной рыбы составит при этом 400 руб./кг. При реализации ежегодно 7-8 т порционной и крупной рыбы по 700-800 руб./кг, полная окупаемость средств, вложенных в хозяйство, может быть получена в первый год его работы. Источником дохода может стать также организация спортивного рыболовства - набирая в трехлетнем возрасте массу до 1 кг, форель является перспективным объектом для спортивного рыболовства. Возможность поимки на спиннинг крупной форели станет хорошим стимулом для привлечения туристов.

3. Практический опыт выращивания радужной форели в прибрежных водах Соловецкого архипелага

3.1. Общие требования к условиям окружающей среды

Специфические черты жизненного цикла перспективных для марикультуры на Европейском Севере объектов, таких как радужная форель, морская форма кумжи, арктический голец и ряд других лососевых рыб, требует подбора акваторий для их выращивания в море, которые по своим гидролого-гидрохимическим характеристикам были бы максимально близки к естественным ареалам этих видов. Кроме того, из-за использования при выращивании различных технических средств и конструкций, большое значение имеют геоморфологические особенности губ и бухт, погодные условия. Существенное значение для успешной организации и функционирования марихозяйств имеет степень развитости коммуникаций, наличие населенных пунктов, свободных трудовых ресурсов, то есть то, что в совокупности можно назвать инфраструктурой.

Для эффективного производства рыбы в садковом хозяйстве необходимо иметь сведения о гидрологии и гидрохимии акватории, где планируется его размещение. Они позволяют определить возможность рентабельного функционирования марихозяйства, выбрать оптимальные сроки и места посадки рыбы, места закрепления садков, рационализировать технологию выращивания лососевых рыб и снизить негативное воздействие некоторых природных факторов. К сожалению губы и бухты прибрежной части, Соловецкого архипелага изучены слабо, настоящая работа восполняет упомянутый пробел и фактически может являться информационной базой [4].

Температура воды. Для обитания лососевых рыб температура воды имеет большое значение. Например, форель и кумжа переносит температуру морской воды от 2 до 22°С, оптимальной для роста является 16°С, для гольца диапазон температур 2-18°С, оптимальная – 10°С. Лососевые рыбы плохо переносят полусуточные колебания температуры воды, возникающие под воздействием приливно-отливных течений, которые не должны превышать 3-4°С. В то же время, вертикальная стратификация температуры воды в пределах 3-4°С благоприятно влияет на выращиваемую рыбу.

Соленость. Соленость является важнейшим фактором, в значительной мере определяющим результаты выращивания рыб. Лососевые плохо переносят полусуточные изменения солености в 3-4‰. При высокой солености воды (20-30‰) посадочный материал форели должен быть не менее 100 г., молодь кумжи должна пройти естественный процесс «смолтификации». В тоже время, высокая соленость стимулирует прирост массы форели, снижает заболеваемость.

Величина pH. Концентрация ионов водорода, характеризуемая величиной pH, имеет большое значение для химических и биологических процессов, протекающих в природных водах. При товарном выращивании лососевых оптимальным диапазоном изменения pH считается интервал ее значений от 7 до 8, а в общем случае приемлемым считается размах от 6,5 до 9.

Растворенный кислород. Кислород очень часто выступает в роли лимитирующего фактора, определяющего эффективность садкового выращивания рыбы в водоемах. Летальный уровень содержания кислорода для форели колеблется в диапазоне 1,0-3,4 мг/л. При снижении насыщения воды кислородом до 50% уменьшается потребление пищи и замедляется темп роста этой рыбы. Воды Белого моря, в том числе отдельных заливов и губ Соловецкого архипелага, хорошо аэрированы, их отно-

сительная насыщенность в придонном слое в течении всего года практически не опускается ниже 70%, обычно 90-105%. Эти значения вполне удовлетворяют потребности выращиваемых лососевых рыб. Однако, с развитием марикультуры и расширением мощностей отдельных хозяйств, возможно ухудшение кислородного режима из-за разложения органических остатков, поэтому необходим строгий контроль над содержанием кислорода в районах размещения марихозяйств.

Приливно-отливные течения. Приливно-отливные течения имеют важное значение, так как обеспечивают вынос продуктов метаболизма, экскрементов, других отходов и поступление чистой, богатой кислородом воды. При оценке пригодности тех или иных акваторий губ для целей марикультуры в качестве минимальной скорости течения принимали 5 см/сек, в качестве максимальной – 70 см/сек. В пределах этих интервалов рост и развитие рыб не угнетается.

Глубины и рельеф дна. При разложении пищевых отходов и экскрементов рыб потребляется большое количество кислорода, возможны заморные явления, поэтому очень важно, чтобы между садками и дном был достаточный слой воды, тем больший, чем ниже скорости течений на этом участке. Как правило, глубина 5 м считается достаточной для размещения садков, но желательно избегать котловин, поскольку над этими зонами процессы осадконакопления существенно превалируют над процессом эрозии.

Загрязнения морской среды. В районах размещения марихозяйств не должно быть загрязнения среды промышленными и хозяйственными стоками, продуктами смыва с сельхозугодий, в особенности пестицидами, нефтепродуктами, свыше нормативов, установленных для рыбного хозяйства. Для устранения возможного взаимного влияния садковых ферм расстояния между ними выбираются с учетом величины и направления векторов переноса вод за приливно-отливной цикл [4].

3.2. Социально-экономические основы развития товарного морского рыбоводства

Марикультуру рыб, как и многие отрасли агропромышленного комплекса, можно отнести к сложным направлениям хозяйственной деятельности человека. Ее успешное развитие немыслимо без решения в едином комплексе целого ряда взаимосвязанных задач. В их число входят не только производство товарной рыбы, ее переработка и сбыт, но и подбор акваторий с оптимальными для выращивания рыб условиями, разработка мер по предотвращению загрязнения окружающей среды, создания сети рыбопитомников для обеспечения товарных хозяйств посадочным материалом и др. Одной из особенностей побережья Белого моря является малая степень его обжитости и занятости населения на производстве. Следовательно, развитие товарного выращивания рыбы в прибрежной части Белого моря и мелких производств по ее переработке значительно увеличит приток населения в пустующие деревни, побережья Архангельской области и даст средства для социального развития региона.

Исследования показали, что в прибрежных районах Белого моря, в пределах Архангельской области, возможна организация высокорентабельных рыбоводных товарных ферм, где можно получать не менее 1,5 тыс. тонн ценной рыбы. И, безусловно, надо создать все условия, чтобы морское товарное выращивание рыбы развивалось быстрыми темпами. Если в восьмидесятых - девяностых годов главным сдерживающим фактором развития товарного рыбоводства было отсутствие посадочного материала, то в данный момент эта задача решена. В Архангельской области разработана технология получения крупного посадочного материала лососевых рыб на основе подращивания мальков на солоноватых водах в кутовой части губ Белого моря. Мальков лососевых рыб массой 3-10 г можно получать в объемах 2-3 млн. штук на Онежском и Солзенском рыбоводных заводах. Часть посадочного материала можно получать на теплых сбросных водах предприятий Архангельской области [5].

3.3. Практические результаты садкового выращивания радужной форели в прибрежных водах Соловецкого архипелага

Самым эффективным способом получения максимальной рыбопродукции на ограниченных площадях является выращивание товарной рыбы в садках. В условиях Соловецкого архипелага наиболее подходящим объектом для товарного выращивания является радужная форель. Этой рыбе присуща широкая экологическая пластичность. Радужная форель способна жить в широком ин-

тервале температур, от 0˚С до 30˚С (температурный оптимум составляет 15-18˚С) и переносить снижение содержания кислорода до 3,5 мг/л. Радужная форель способна также переносить соленость воды до 25-30‰ и, более того, в морской воде она растет интенсивней, чем в пресной. Благодаря этим особенностям, а также способности легко привыкать к необычным условиям, хорошо брать искусственный корм, давать высокие привесы при плотных посадках и сохранять превосходное качество мяса, радужная форель получила широкое распространение как один из основных объектов промышленного рыбоводства.

В 1992 г. Северный филиал ПИНРО осуществил экспериментальное выращивание форели в заливе Соловецкого архипелага – Печаковской Салме. Эта часть побережья Б. Соловецкого острова достаточно хорошо защищена от ветрового волнения. Мелководья и острова, расположенные на подходе к Печаковской Салме, в значительной мере сглаживают ветровые волны, образующиеся на открытой акватории Онежского залива. Термический режим вод Печаковской Салмы, как и всех вод, омывающих Соловецкие острова, определяется пограничным положением их между Онежским заливом и бассейном Белого моря. Это одно из самых холодных мест внутренних районов Белого моря. На основании данных гидрометеопоста о. Соловецкий, среднедекадная температура воды даже в июле-августе не превышает 14°С. Мелководность прибрежной акватории, и ее высокая гидродинамика способствуют хорошему перемешиванию вод, поэтому разница температур у поверхности и на глубине 8 м не превышает 1°С. В третьей декаде мая, когда форель уже можно запускать в садки, температура воды обычно переходит через 5 °С. Ниже 5°С она опускается лишь в первой декаде октября. Разница температур между приливом и отливом составляет 1-2°С. Пролив Печаковская Салма отличается высокой степенью водообмена, при этом скорость течения в прибрежной зоне о. Соловецкий составляет 0,15 м/с, в районе о. Парусный и Б. Заяцкий – 0,4 м/с. По данным проведенных наблюдений, содержание кислорода в летний период в Печаковской Салме колеблется в пределах 6,9-0 7,4 мг/л при 108 % насыщении, что в рыбохозяйственном отношении можно признать удовлетворительным. В летний период соленость воды на акватории Печаковской Салмы находится в пределах 27-28‰, концентрация ионов водорода соответствовала 8,3 [4].

В конце июня 1992 г. в заливе был установлен один садок объемом 90 м^3, в который было посажено 1000 шт. молоди радужной форели средней навеской 80 г. Период выращивания продолжался 75 суток. К середине сентября средняя масса форели составила 293 г (отдельные особи достигли 460 г). Отход форели за период выращивания составил менее 5 % от общего количества рыбы в садке, что укладывается в нормативные показатели (таблица 1). Расчет экономической эффективности аналогичного форелевого хозяйства мощностью 10 т рыбы в год, проведенный СевПИНРО, показал, что расходная часть проекта составила 900 тыс. рублей, а доходная (после реализации всей рыбы) – 1500 тыс. рублей (цены 1992 г.). Мониторинг состояния воды в районе форелевых садков показал практическое отсутствие негативного влияния марикультуры на экологию окружающей среды. За весь период выращивания рыбы количество биогенов в воде оставалось в рамках ПДК и не привело к каким-либо негативным гидробиологическим эффектам [4].

Таблица 1.

Рыбоводно-биологические показатели форели, выращенной в районе Печаковской Салмы (Соловецкий архипелаг)

Начальная масса, г	Конечная масса, г	Средний прирост, г/экз/ сут	Относительный прирост, %	Отход, %	Срок выращивания сутки
80	293	2,84	366	5,0	75

Развитие аквакультуры на Соловецком архипелаге поможет решить несколько задач:

- обеспечить монахов, паломников, местное население и туристов ценным продуктом питания;
- сделать более цивилизованным и привлекательным отдых на островах;
- стимулировать развитие малого бизнеса и создать рабочие места для людей, постоянно проживающих на Соловках.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ «Оценка современного состояния пресноводных экосистем Соловецкого архипелага (фундаментальный и прикладной аспекты) № 22-14-20045.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новоселов А.П., Дворянкин Г.А. Современное состояние ихтиофауны и перспективы рыбохозяйственного использования озер Соловецкого архипелага // Рыбное хозяйство. - 2005. - № 2 - С. 68-70.

2. Сиговодство как одно из направлений пресноводной аквакультуры в водоемах Соловецкого архипелага /А.П.Новоселов/ В сб.: "Проблемы мониторинга природной среды Соловецкого архипелага", г. Архангельск. - Архангельск, 2010. - С. 53-55.

3. Шнайдер Д.В. Бизнес-план организации садкового хозяйства для выращивания форели – Электронные данные: http://www.bp.mcx.ru/files/BeginningFarmer/BusinessPlans/FishFarming/ Forelevoe hozyaystvo KFH Shnayder D V Krasnoyapskiy kpay.pdf

4. Результаты и перспективы получения рыбопродукции из форели малых навесок в Белом море. /В.М. Зеленков, С.В. Кулида/ Материалы отчетной сессии ПИНРО по итогам научно-исследовательских работ в 1996-1997 гг., г. Мурманск - Мурманск, 1998. - С. 189-196.

5. Зеленков В.М., Кулида С.В., Козьмин А.К. Пути развития аквакультуры в Архангельской области // Рыбное хозяйство. - 2005. - № 2. - С.70-71.

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF AQUACULTURE IN THE WATER BODIES OF THE SOLOVETSKY ARCHIPELAGO

[1]Dvoryankin Gennady Aleksandrovich, Ph.D. biol. sciences
[2]Alexander Pavlovich Novoselov, Doctor of biol. sciences

[1,2]N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (FECIAR UrB RAS), Arkhangelsk, Russia, e-mail: [1]dga130157@gmail.com

The purpose of this work was to assess the prospects for the development of aquaculture in freshwater reservoirs and coastal waters of the Solovetsky Archipelago. The analysis of the ways of formation of the freshwater ichthyofauna of the archipelago has been carried out, the effectiveness of the acclimatization works carried out on it has been assessed. Recommendations for the development of aquaculture on the islands based on practical experimental studies are presented. Lacustrine pasture fish farming and fish cage farming in the coastal waters of island bays are recommended as the most promising. The species most suitable for cultivation are indicated - vendace, peled, whitefish, rainbow trout.

УДК 639.3.043.2

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАСЛА РЫЖИКА ПОСЕВНОГО В КОРМАХ ДЛЯ РЫБ

[1]Дельмухаметов Артём Борисович, канд. биол. наук, доцент, заведующий кафедрой животноводства
[2]Ромашова Юлия Алексеевна, магистр 1 курса кафедры водных биоресурсов и аквакультуры

[1]Калининградский филиал ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», Полесск, Калининградская область, Россия, e-mail: delmuchametov@list.ru
[2]Калининградский государственный технический университет,
Калининград, Россия, e-mail: yuliya.romashova@klgtu.ru

Предпринята попытка краткого обзора литературных источников, посвященных возможности применения масла рыжика посевного в производстве кормов для рыб. Отмечено, что масло рыжика посевного может выступать заменой рыбьего жира на уровне 50–80 % (в некоторых случаях до 100 %). Для дальнейшего развития темы необходимы комплексные исследования на разновозрастной рыбе различных видов. Учитывая специфику рыбохозяйственной отрасли Калининградской области, а также перспективные направления ее развития, наибольший интерес с точки зрения таких исследований вызывают такие объекты выращивания, как радужная форель и европейский сиг.

Стратегия развития рыбохозяйственного комплекса России предусматривает, что к 2025 году объем производства товарной аквакультуры достигнет 598 тыс. т (однако следует отметить, что в эту цифру входит и продукция пастбищного лососеводства), что потребует значительного увеличения объемов производства кормов для рыб.

По итогам 2022 года производство товарной аквакультуры в России увеличилось на 7% и составило 384 тыс. тонн. По оценкам компании "Feedlot", в настоящее время потребление кормов для рыб в России составляет около 250 тыс. тонн в год. Половина этого объема приходится на корма для карпа. Спрос на карповые корма удовлетворяется отечественными производителями, в то время как 90% кормов для ценных видов рыб (лососевых и осетровых) импортируется [1].

За последние четыре года производство кормов для рыб в России увеличилось более чем на 60% и к концу 2022 года достигло 35 тыс. т. В первом квартале 2023 года производство рыбных кормов увеличилось в четыре раза по сравнению с аналогичным периодом 2022 года, а в целом за первое полугодие текущего года - на 50%, до 22,4 тыс. т [2]. Тем не менее, учитывая необходимость импортозамещения и обеспечения продовольственной безопасности, указанные объемы производства кормов явно недостаточны.

Рыбная мука и рыбий жир являются важными компонентами рыбных кормов. В настоящее время большая часть производимой в мире рыбной муки и рыбьего жира используется для нужд кормопроизводства. Так, в 2019 году 78% рыбной муки и 68% рыбьего жира пошли на приготовление кормов для рыб. И для первого, и для второго продукта в России сейчас существуют определенные сложности с доступом к качественному сырью. Кроме того, оба компонента значительно подорожали. В середине 2021 года цена качественной рыбной муки с 68-72% протеина составляла около 120 руб. за кг, к концу года - 140 руб. и сейчас - 200-210 руб. за кг. То же самое можно сказать и о рыбьем жире. Если в прошлом году его можно было купить за 100 руб. за литр, то в этом - за 200 руб. за литр [3]. В ряде случаев, компоненты могут продаваться и по значительно более высоким ценам.

В качестве замены рыбьего жира в кормах для рыб, а также как источник липидов или отдельных незаменимых жирных кислот, в качестве энергетической добавки, используют различные растительные масла.

Использование растительных масел в кормах для рыб

Растительные масла находят все большее применение в производстве кормов для аквакультуры, поскольку они легко доступны и экономичны.

Наиболее широко в аквакультуре используются такие растительные масла, как рапсовое, подсолнечное, соевое и оливковое. Поскольку растительные масла не в достаточной степени удовлетворяют потребности рыб в незаменимых жирных кислотах, часть рыбьего жира принято заменять растительным (таблица 1).

Таблица 1

Сравнение профиля жирных кислот рыбьего жира и растительных масел, %

Показатель	Рыбий жир	Масло				
		пальмовое	подсолнечное	соевое	рапсовое	рыжиковое
Каприловая кислота (10:0)	–	0,48	–	–	0,56	–
Лауриновая кислота (12:0)	0,7	–	0,1	0,09	0,59	0,01-0,02
Пальмитиновая кислота (16:0)	8,2	41,6	6,3	11,1	4,04	4,93
Стеариновая кислота (18:0)	2,05	3,6	3,55	3,7	2,1	2,32
Олеиновая кислота (18:1)	12,2	40,4	21,4	22,6	57,3	14,82
Пальмитолеиновая кислота (16:1)	6,4	0,2	0,1	0,18	0,1	0,08
Арахиновая кислота (20:0)	–	0,3	0,3	0,3	0,4	1,55
Насыщенные кислоты	15	48,9	11,2	15,7	7,1	9,43
Ненасыщенные кислоты	84	50,3	88,7	80,4	88,8	88,55

Как видно из приведенной таблицы, растительные масла в достаточной степени отличаются от рыбьего жира по своему жирнокислотному составу.

В.И. Пахомов с соавторами [4] на основе анализа литературного материала утверждают, что наиболее приемлемым вариантом является замена 50-60% рыбьего жира в составе корма на масло растительного происхождения [4,5,6,7]. При такой замене можно получить результаты, близкие к таковым при применении комбикормов с полновесным содержанием рыбьего жира. Использование же традиционных растительных масел в рационе на уровне более 60% не рекомендовано и может оказывать негативный эффект на здоровье рыб. Из традиционных растительных масел весьма эффективным в питании рыб является соевое.

Недорогим и перспективным источником жиров для рыб является пальмовое масло, по содержанию жирных кислот схожее с животными жирами. Те же авторы, например, указывают на исследование C. LarbiAyisi [6], который сообщает об отсутствии негативных последствий при замене 100 % рыбьего жира в рационе нильской тиляпии пальмовым маслом [4,6].

Рапсовое масло является прекрасным источником омега-3 (линоленовая кислота), омега-6 (линолевая кислота) и омега-9 (олеиновая кислота) жирных кислот. Оно также богато витамином Е, являющимся антиоксидантом. Из минеральных веществ наиболее ценными являются магний, цинк, медь, кальций, фосфор и калий. Рапс также богат витаминами группы В, ретинолом и витамином К.

Соевое масло характеризуется высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот, особенно линоленовой (омега-3) и линолевой (омега-6). Одним из наиболее ценных компонентов соевого масла является лецитин, который нормализует функционирование клеточных мембран и защищает их от различных негативных воздействий. В нем также содержится достаточное количе-

ство витамина В (холина) и минералов, таких как Е, К, цинк и железо.

В качестве примера применения рапсового и соевого масел можно привести исследование С.В. Биндюкова с соавторами [8]. Авторами была оценена возможность применения комбикормов для радужной форели с различными липидными композициями, состоящими из рыбьего жира, рапсового и соевого масел. Так, на основании проведённых исследований авторами установлено, что самые высокие ростовые показатели и выживаемость при более низких затратах комбикорма выявлены у рыб, выращиваемых на кормах без замены рыбьего жира и кормах с использованием смеси рыбьего жира, рапсового и соевого масла (4, 6 и 8% соответственно). Замена в рецептах кормов рыбьего жира на растительные масла не оказала отрицательного влияния на химический состав мышечной ткани радужной форели [9].

Льняное масло также является одним из вариантов использования компонентов растительного происхождения в кормах для рыб. Так, А. А. Лютиков с соавторами [9] сообщают о возможности частичной и даже полной замены в рационе рыбной муки и рыбьего жира на соевый кормовой концентрат и льняное масло при выращивании личинок муксуна с начала питания до 130 мг. По данным авторов, молодь, получавшая экспериментальные корма с соевым кормовым концентратом и льняным маслом, показывала схожую выживаемость и среднюю массу с контрольной группой, получавшей корм со стандартным содержанием рыбной муки и рыбьего жира. Кроме того, биохимические и гематологические показатели молоди, получавшей экспериментальные корма имели близкие значения с таковыми для молоди контрольной группы и укладывались в физиологическую норму, что может говорить о физиологической полноценности личинок. Также авторы отмечают, что анализ жирнокислотного состава корма показал, что замена половины рыбной муки на соевый белок существенным образом не отразилась на составе липидов экспериментального корма, который был сопоставим с составом контрольного корма. Полное замещение рыбной муки соевым кормовым концентратом, а рыбьего жира – льняным маслом значительно изменило содержание жирных кислот. Несмотря на это выращенная молодь характеризовалась близким (или выше) содержанием незаменимых жирных кислот в сравнении с контрольной молодью.

Краткая характеристика культуры рыжик посевной (*Camelina sativa*)

В последние годы в России постепенно возрождается старинная культура – рыжик посевной (*Camelina sativa* (L.) Crantz)**.**

Это травянистое растение класса двудольных, семейства крестоцветных. В первой половине XX в. эта масличная культура возделывалась на территории бывшего СССР для получения вкусного и ароматного пищевого масла. В 20-х гг. прошлого века в высокогорных районах Грузии и Армении на посевах льна наблюдались случаи сплошного вытеснения рыжиком льна, и население часто собирало на масло не только лен, но и рыжик. Посевы его росли вплоть до 1950 г., затем стали сокращаться [10,11]

Сейчас рыжик привлекает все большее внимание благодаря своей неприхотливости и скороспелости, высокой и стабильной урожайности. Несмотря на ограниченность занятых рыжиком земельных площадей, эта культура обладает большой пластичностью и способна произрастать в различных почвенно-климатических условиях.

Интерес к рыжику обусловлен тем, что в нём удачно сочетается высокая потенциальная урожайность семян (до 2,5-3,0 т/га) с большим содержанием высыхающего масла (36-40%), которое используется в пищевой, лакокрасочной и мыловаренной промышленности, в медицине и парфюмерии [12, 14]. Рыжиковое масло употребляется в пищу (особенно как диетический продукт) и используется для технических целей в различных отраслях промышленности: в лакокрасочной – для приготовления олифы, в мыловаренной – для изготовления зеленого мыла, в парфюмерно-косметической и медицинской – как компонент в массажных кремах, лечебной косметике, ароматерапии [12]. Рыжиковый жмых после тепловой обработки используют в корм скоту и птице. В 100 кг жмыха содержится 115 кормовых единиц, в 1 кг – 170 г протеина. Солома рыжика содержит волокно, которое можно использовать для изготовления низких сортов бумаги. Стебли идут на изготовление кистей, упаковочных материалов и временной кровли для зданий. Однако, не смотря на все разнообразие направлений использования, рыжик следует рассматривать, прежде всего, как масличную культуру [12,13,14].

Качественная характеристика масла рыжика определяется в основном содержанием насыщенных, мононенасыщенных, полиненасыщенных жирных кислот и их количественным соотношением. Отметим, что содержание жирных кислот в составе рыжикового масла варьирует в зависимости от региона культивирования.

В таблице 2 приведен жирнокислотный состав рыжикового масла, полученного из растений, выращенных на территории Пензенской области и в Крыму, по данным Т.Я. Праховой и Е.Л. Туриной (2023) (таблица 2) [12].

Таблица 2

Содержание жирных кислот в маслосеменах озимого рыжика в зависимости от условий возделывания (2018–2020 гг.)

Жирная кислота	Содержание, %	
	Пенза	Крым
Миристиновая	0,05	0,05
Пентодекановая	0,02	0,02
Пальмитиновая	4,93	5,17
Маргариновая	0,04	0,03
Стеариновая	2,32	2,45
Арахиновая	1,55	1,58
Бегеновая	0,33	0,34
Лигноцериновая	0,19	0,16
Сумма насыщенных кислот	9,43	9,8
Пальмитолеиновая	0,08	0,1
Олеиновая	14,82	15,7
Эйкозеновая	15,46	15,84
Эруковая	3,16	3,15
Нервоновая	0,63	0,61
Сумма мононенасыщенных кислот	34,15	35,4
Линолевая	16,12	17,98
Линоленовая	34,87	33,79
Экозадиеновая	1,84	1,53
Арахидоновая	1,46	1,44
Докозадиеновая	0,11	0,12
Сумма полиненасыщенных кислот	54,4	54,86

По данным указанных авторов, наибольшая доля в жирнокислотном составе рыжиковых маслосемян приходилась на полиненасыщенные жирные кислоты, среднее суммарное содержание которых составило 54,40– 54,86 % в зависимости от региона возделывания [15].

Использование масла рыжика посевного и иных продуктов его переработки в кормах для рыб

Не смотря на очевидные расхождения по жирнокислотному составу с рыбьим жиром, масло рыжика посевного является одним из рассматриваемых вариантов замены этого компонента в кормах для рыб. При литературном поиске отмечено наличие ряда работ зарубежных авторов, посвященных возможности замены рыбьего жира на масло рыжика посевного в кормах для рыб. В большинстве работ авторами были приготовлены корма различных рецептур, подразумевающие различный процентный уровень замены рыбьего жира на рыжиковое масло, после чего проведены испытания кормов на различных объектах выращивания. Кроме того, ряд авторов исследовали возможность включения в корма для рыб и иных продуктов переработки рыжика посевного: рыжиковый шрот, концентрат рыжикового белка.

Исследования S. Ofori-Mensah с соавторами [16] показало, что в рационе дорады рыбий жир может быть успешно заменен на масло рыжика и чиа. В ходе 90-дневного эксперимента были испытаны рационы с полной и частичной (60%) заменой рыбьего жира на растительные масла.

Были получены достаточно хорошие результаты по росту рыб (несколько ниже в группе, в которой рыбий жир был полностью заменен на рыжиковое масло) [17].

D. Huyben с соавторами [23] провели 90-дневный эксперимент по оценке возможности использования масла рыжика в кормах дорады (*Sparus aurata*). Исследование было проведено на 600 экземплярах дорады со средней начальной массой 32,92 ± 0,31 г. Были приготовлены три вида кормов, в которых рыбий жир был заменен рыжиковым маслом на уровне 20%, 40% и 60%. Контрольный рацион содержал только рыбий жир. Для каждого варианта корма было сформировано три группы рыб по 50 экземпляров. Рыба содержалась в проточной солоноводной системе. В ходе работы была проведена оценка показателей роста рыб. Кормовой коэффициент и удельный темп роста демонстрировали значительных различий в зависимости от типа корма. Однако отмечено, что у рыб, которых кормили кормом с 60% уровнем включения рыжикового масла, конечная масса была достоверно ниже. Снижение конечной массы в данной группе авторы связывают с относительно низким уровнем эйкозапентаеновой и докозагексаеновой кислот в рыжиковом масле. Липидный профиль филе был одинаковым во всех исследованных группах в отношении общего количества насыщенных, мононенасыщенных и полиненасыщенных жирных кислот (n-3 и n-6), а также соотношения n-3/n-6. Также отмечалось более низкое содержание молочнокислых бактерий, в частности Lactobacillus, в кишечнике рыб, получавших корм с включением 60% рыжикового масла, что может указывать на потенциальное негативное воздействие на микробиоту кишечника. Авторы заключают, что до 40% рыбьего жира можно заменить рыжиковым маслом без негативного воздействия на показатели роста, состав филе и микробиоту кишечника дорады [23].

T. García с соавторами (2022) проводили работы по замене рыбьего жира на рыжиковое масло в кормах для линя. Линь (*Tinca tinca* L.) – незаслуженно забытый ныне объект аквакультуры. Как правило, линь рассматривается как добавочная рыба к карпу в условиях прудового выращивания. Тем не менее, в ряде случаев, практикуется и его выращивание в замкнутых системах. В рамках упоминаемой работы, молодь линя начальной массой 0,33±0,18 г выращивалась в условиях установок замкнутого водоснабжения на протяжении 90 суток. Было изготовлено шесть видов кормов с разным уровнем включения рыжикового масла: 0% (контроль), 20%, 40%, 60%, 80% и 100% (полная замена рыбьего жира). Выживаемость молоди за период работ составила 100% во всех группах. К концу эксперимента молодь достигла массы 4,5-4,8 г. Достоверных различий по показателям роста среди особей исследованных групп отмечено не было (средняя зоологическая длина, средняя масса, удельная скорость роста, кормовой коэффициент). Кормовой коэффициент составил 1,20-1,26 (без достоверных различий, как уже упоминали).

Содержание липидов в тканях тела молоди линя было значительно ниже в вариантах с кормами, содержащими 40% и более масла рыжика, чем в варианте с контрольным кормом. В целом результаты показывают, что полная замена рыбьего жира на масло рыжика в рационе возможна без негативного воздействия на показатели роста. Пищевые качества молоди линя не пострадали при максимальной замене 80% рыбьего жира на масло рыжика [18].

S. Huxon с соавторами [19] показали, что в кормах для атлантического лосося рыбная мука и рыбий жир могут быть заменены на масло и шрот рыжика посевного. Так, по данным этих авторов, полная замена рыбьего жира на рыжиковое масло не оказала отрицательного влияния на рост атлантического лосося. Однако было указано, что такая замена приводит к достоверному увеличению содержания жира в тканях рыб. Тем не менее, органолептические качества филе лосося были такими же, как и при кормлении обычными кормами.

Следует также отметить работу M. B. Betancor с соавторами [20]. В этом исследовании авторы оценивали возможность использования нового масла, полученного из семян генетически модифицированного рыжика посевного и содержащего более 25% n-3 длинноцепочечных полиненасыщенных жирных кислот, в качестве единственного источника липидов в корме для атлантического лосося (*Salmo salar*). Было сформировано три группы рыб, которые получали три вида экспериментальных кормов с одинаковым базовым составом. В первом случае корм содержал 20% смеси рыбьего жира и рапсового масла (1:3), что характерно для современных коммерческих рецептур. Во втором и третьем случае, корма содержали 20% масла, полученного из обычного рыжика дикого типа и масла, полученного из генетически модифицированного рыжика соответственно. Продолжительность эксперимента составила 12 недель. В результате эксперимента, негативного воздействия рыжикового масла обоих типов на рост, выживаемость или здоровье рыб не

было отмечено. Кормовой коэффициент во всех группах также был одинаковым (0,9). Авторы отмечают, что уровни омега-3 длинноцепочечных полиненасыщенных жирных кислот в тканях рыб были самыми высокими в группе, получавшей корм с маслом модифицированного рыжика (более чем в 2 раза выше, чем у рыб, получавших корма стандартного типа и с обычным рыжиковым маслом). В целом, результаты показали, что масло генетически модифицированного рыжика было высокоэффективным в обеспечении омега-3 полиненасыщенными жирными кислотами, обеспечивая уровни, вдвое превышающие те, которые были получены при использовании текущего коммерческого стандарта [20].

Chang Ye с соавторами (2016) было проведено исследование возможности использования рыжикового шрота и рыжикового масла в кормах для молоди атлантического лосося. Для кормления молоди рыб (начальная масса 8,4 г) использовали контрольный рацион и рационы, содержащие 5, 10, 15 или 20% рыжикового шрота (взамен рыбной муки) и 50% и 100% рыжикового масла (взамен рыбьего жира). Результаты работы показали, что, замена рыбьего жира в кормах на масло рыжика посевного не повлияла на конечную массу тела рыб. Коэффициент упитанности, кормовой коэффициент и гепатосоматический индекс были одинаковыми во всех группах ($p \geq 0,05$). Содержание белка, жира, золы и влаги в тканях тела также не изменялись при замене рыбьего жира на масло рыжика. Исследователи заключают, что включение в рацион до 5% рыжикового шрота и замена от 50 до 100% рыбьего жира на масло рыжика не оказало негативного воздействия на выращиваемых рыб и их продуктивные характеристики Полученные результаты могут помочь снизить зависимость отрасли кормопроизводства от рыбной муки и рыбьего жира в будущем [21].

J. Lu (2020) с соавторами провели 98-дневное исследование возможности использования рыжикового масла, рыжикового шрота и концентрата рыжикового белка в рационе малька радужной форели (начальная масса 1 г). В ходе исследования рыба содержалась в проточной системе с пресной водой, включающей 24 выростных емкости (температура воды 13±0,5°С). Были изготовлены восемь видов кормов, контрольный (без продуктов переработки рыжика), два вида кормов, содержащих масло рыжика при 50 или 100% уровне замены рыбьего жира, три вида кормов, содержащих, соответственно 6, 12 или 18% рыжикового шрота, и два вида кормов, содержащих 6 и 12% концентрата рыжикового белка. Замена в рационе 100% рыбьего жира на масло рыжика, а также включение в рацион до 18% рыжикового шрота или до 12% концентрата рыжикового белка не привело к статистически значимому снижению значений показателей роста, эффективности кормления или негативным изменениям в химическом составе тканей и морфологии кишечника мальков радужной форели. Однако, как отмечают авторы, корма, содержащие 18% рыжикового шрота, требовали более длительного периода адаптации к корму, что, в конечном итоге, приводило к меньшему конечному весу [22].

Выводы

На основе краткого анализа литературных источников, можно сделать предварительный вывод о возможности замены рыбьего жира на рыжиковое масло на уровне 50-80 (в некоторых случаях до 100%). Для дальнейшего развития темы необходимы комплексные исследования на разновозрастной рыбе различных видов, включающие в себя рыбоводно-биологический (оценка скорости роста, выживаемости, эффективности питания и т.д. на различных этапах выращивания), морфофизиологический, гематологический и иные аспекты. Учитывая специфику рыбохозяйственной отрасли Калининградской области, а также перспективные направления ее развития, наибольший интерес с точки зрения таких исследований вызывают такие объекты выращивания, как радужная форель и европейский сиг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ибатова Э. Импортозамещение на рынке кормов для рыб займет более трех лет. – 2023. – Режим доступа URL: https://feedlot.ru/novosti/importozameshhenie-na-ryinke-kormov-dlya-ryib-zajmet-bolee-trex-let.

2. Ибатова Э. Выпуск кормов для рыб за 4 года вырос на 60%, в первом полугодии 2023 года. – на 50%. – 2023. – Режим доступа URL: https://feedlot.ru/novosti/vyipusk-kormov-dlya-ryib-za-4-goda-vyiros-na-60,-v-pervom-polugodii-2023-goda-%E2%80%93-na-50.

3. Клепикова С. На корм рыбам. Сможет ли Россия обеспечить себя кормами для аквакультуры? //Агротехника и технологии. – 2023. - Режим доступа URL: https://www.agroinvestor.ru/interview/article/39244-na-korm-rybam-smozhet-li-rossiya-obespechit-sebya-kormami-dlya-akvakultury.

4. Пахомов В. И. Состояние и перспективы использования растительного сырья в кормах для аквакультуры (обзор) / В. И. Пахомов, В. Ф. Хлыстунов, С. В. Брагинец, О. Н. Бахчевников // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2022. – Т. 23. - №3. - С. 281-294.

5. Alexis M. N. Fish meal and fish oil replacers in Mediterranean marine fish diets, Feeding tomorrow's fish. //Cahiers Options. Méditerranéennes. - 1997. -№22. - С.183-204.

6. Ayisi C. L., Zhao J. L. Recent developments in the use of palm oil in aquaculture feeds: a review. // International Journal of Scientific & Technology Research. – 2014. –Т. 3. - №6. - С. 259-264.

7. Hodar A. R., Vasava R. J., Mahavadiya D. R., Joshi N. H. Fish meal and fish oil replacement for aqua feed formulation by using alternative sources: A review. / A. R. Hodar, R. J. Vasava, D. R. Mahavadiya, N. H. Joshi //Journal of Experimental Zoology India. - 2020. – Т. 23. - №1. - С. 13-21.

8. Биндюков С. В. Опыт замены рыбьего жира растительными маслами в комбикормах для радужной форели / С. В Биндюков, И. В. Бурлаченко, Ю. А. Баскакова, Р. В. Артемов, М. В. Арнаутов, Ю. А. Новоселова, В. В. Гершунская // ТРУДЫ ВНИРО. – 2022. – Т. 187. - С. 138-148.

9. Лютиков А. А. Опыт замены рыбной муки и рыбьего жира на растительные протеин и масло в стартовых кормах для сиговых рыб / А. А. Лютиков, А. К. Шумилина, М. М. Вылка // Известия КГТУ. - 2021. - №60. - С. 32-42.

10. Прахова Т. Я. Фотосинтетическая деятельность и продуктивность рыжика посевного / Т. Я. Прахова // Нива Поволжья. – 2013. – № 3(28). – С. 55-59. – EDN SCAQVH.

11. Сизова Н. В. Жирнокислотный состав масла camelina sativa (L.) Crantz и выбор оптимального антиоксиданта / Н. В. Сизова, И. В. Пикулева, Т. М. Чикунова // Химия растительного сырья. – 2003. – №2. – Режим доступа URL: https://cyberleninka.ru/article/n/zhirnokislotnyy-sostav-masla-samelina-sativa-l-crantz-i-vybor-optimalnogo-antioksidanta.

12. Бородычев В.В., Дубина Е.А., Плешаков В.А. Возделывание рыжика в сопутствующей рису культуре / В.В. Бородычев, Е.А. Дубина, В.А. Плешаков // Плодородие. – 2010. – №5. – (https://cyberleninka.ru/article/n/vozdelyvanie-ryzhika-v-soputstvuyuschey-risu-kulture).

13. Леонард Ч.Е. Рыжиковое масло: потенциальный источник линоленовой кислоты / Пер. из журн.: Inform. – № 9. – сентябрь. – 1998. – С. 6.

14. Лисицын А.Н., Григорьева В.Н. Расширение переработки семян крестоцветных культур и льна для северных регионов России // Масложировая промышленность. – 2000. – № 4. – С. 8-10.

15. Прахова Т. Я. Влияние климатических условий на масличность и качество маслосемян рыжика озимого / Т. Я. Прахова, Е. Л. Турина // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 2. – С. 48-53. – DOI 10.28983/asj.y2022i2pp48-53. – EDN TRMLJG.

16. Ofori-Mensah S., Yıldız M., Eldem V., Ürkü Ç., Kaplan Ç. Effect of dietary inclusion of camelina or chia oil on fatty acid digestibility, histology, blood biochemistry and molecular biomarkers in juvenile gilthead sea bream (Sparus aurata, L.). // Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. – 2022. – Т. 22. - №11.

17. Izquierdo M. Alterations in fillet fatty acids profile and flesh quality in gilthead seabream (Sparus aurata) fed vegetable oils for a long term period. Recovery of fatty acid profiles by fish oil feeding./ M. Izquierdo, D. Montero, L. Robaina, M. Caballero, G. Rosenlund, R. Gines // Aquaculture. – 2005. – С. 431-444.

18. García T.; Carral, J.M.; Sáez-Royuela,M.; Celada, J.D. FishOil Replacement by camelina (Camelina sativa L.) oil in diets for juvenile tench (Tinca tinca L.): Effectson Survival, Growth, and WholeBody Fatty Acid Profile. / García, T.; Carral, J.M.; Sáez-Royuela,M.; Celada, J.D. //Animals2022 – 2022. – (https://doi.org/10.3390/ani12233362/)

19. Stefanie M. Hixson, Christopher C Parrish, Derek M Anderson. Full substitution of fish oil with camelina (Camelina sativa) oil, with partial substitution of fish meal with camelina meal, in diets for

farmed Atlantic salmon (Salmo salar) and its effect on tissue lipids and sensory quality. / M. H. Stefanie, C. P. Christopher, M. A. Derek // Food Chem. - 2014. - №157:51-61.doi: 10.1016

20. Betanco M. B. A nutritionally-enhanced oil from transgenic Camelina sativa effectively replaces fish oil as a source of eicosapentaenoic acid for fish / M. B. Betancor, M. Sprague, S. Usher, O. Sayanova, P. J. Campbell, J. A. Napier, D. R. Tocher //Scientific Reports. – 2015. - 5(1):8104.

21. Chang Ye. The effects of camelina oil and solvent extracted camelina meal on the growth, carcass composition and hindgut histology of Atlantic salmon (Salmo salar) parr in freshwater. – 2016. - Режим доступа URL: https://www.researchgate.net/publication/282450090_The_effects_of_camelina_oil_and_solvent_extracted_camelina_meal_on_the_growth_carcass_composition_and_hindgut_histology_of_Atlantic_salmon_Salmo_salar_parr_in_freshwater

22. J. Lu. Use of dietary oil, solvent-extracted meal and protein concentrate from Camelina sativa for rainbow trout, Oncorhynchus mykiss, at the early fry stage - Режим доступа URL: https://www.researchgate.net/publication/339996503_Use_of_dietary_oil_solvent-extracted_meal_and_protein_concentrate_from_Camelina_sativa_for_rainbow_trout_Oncorhynchus_mykiss_at_the_early_fry_stage.

23. Huyben D., Rimoldi S., Ceccotti C., Montero D., Betancor M., Iannini F., Terova G., Effect of dietary oil from Camelina sativa on the growth performance, fillet fatty acid profile and gut microbiome of gilthead sea bream (Sparus aurata) // PeerJ. – 2020. №8. – С. 1-31.

PROSPECTS FOR THE USE OF CAMELINA OIL IN FISH FEED

[1]Delmukametov Artem Borisovich, phD, head of Animal husbandry department
[2]Romashova Yulia Alekseevna, master's student of Aquatic bioresources and aquaculture department

[1]Kaliningrad branch of Saint-Petersburg State Agrarian University, Polessk, Russia, e-mail: delmuchametov@list.ru
[2]Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia, e-mail: yuliya.romashova@klgtu.ru

The article attempts to briefly review the literature sources devoted to the possibility of using camelina oil in the production of fish feed. It has been noted that camelina oil can be a substitute for fish oil at the level of 50–80 % (in some cases up to 100 %). For the further development of the topic it is necessary to carry out complex researches on different-aged fish of different species. Considering the specifics of the fishery industry of the Kaliningrad region, as well as promising directions of its development, the greatest interest from the point of view of such studies is caused by such objects of cultivation as rainbow trout and European whitefish.

УДК 574+577.115.3

БИОХИМИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ ОРГАНИЗМОВ ЗООБЕНТОСА Р. ЕНИСЕЙ И Р. ОБЬ КАК ОСНОВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИЩИ ДЛЯ ОСЕТРОВЫХ РЫБ СИБИРИ

[1]Дименко Ольга Сергеевна, аспирант
[2]Рудченко Анастасия Евгеньевна, канд. биол. наук, доцент кафедры водных и наземных экосистем
[3]Андрущенко Светлана Викторовна, аспирант

[1,2,3]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия,
e-mail: [2]arudchenko@sfu-kras.ru

Проведена оценка состава жирных кислот в биомассе основных объектов питания осетровых рыб р. Енисей и р. Обь. Был исследован состав и процентное содержание отдельных ЖК в биомассе личинок хирономид и ручейников, а также моллюсков, олигохет и гаммарид – основных кормовых объектов осетровых рыб в этих реках. Установлено, что что олигохеты, личинки хирономид и ручейников содержат высокие уровни эйкозапентаеновой кислоты (ЭПК), тогда как моллюски и гаммариды, помимо высокого уровня ЭПК, содержат достаточно высокий уровень докозагексаеновой кислоты (ДГК). При этом уровни физиологически важных для рыб ЭПК и ДГК были выше в организмах зообентоса р. Енисей, по сравнению с зообентосом р. Обь.

В последние годы широко обсуждается роль ряда длинноцепочечных полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) для здоровья и нормального функционирования организмов человека и животного. В частности, выделяют особую роль эйкозапентаеновой кислоты (ЭПК, 25:5n-3) и докозагексаеновой кислоты (ДГК, 22:6n-3), в качестве необходимых компонентов питания для работы нервной и сердечно-сосудистой систем. Отмечается, что наличие ЭПК и ДГК в пище рыб является важным фактором их правильного роста, формирования плавательных способностей и адаптивных реакций на изменение окружающей среды в процессе роста и развития рыб [1]. Источником ЭПК и ДГК для рыб в естественных экосистемах являются синтезирующие их микроводоросли, в первую очередь диатомовые и цианобактерии [2]. По цепям питания ЭПК и ДГК попадают в организмы рыб.

Биохимическая ценность кормовых объектов рыб, как источника ЭПК и ДГК, а также других необходимых жирных кислот (ЖК), будет играть важную роль при оценке кормовой базы рыб. Особенно важно это при процессе искусственного воспроизводства ценных видов рыбных ресурсов. Высокое качество кормовой базы рыб в естественном водоеме, в который осуществляется выпуск молоди ценных видов рыб, является необходимым условием для успешного осуществления мероприятий по искусственному воспроизводству.

В водоемах Сибири основные мероприятия по искусственной интродукции проводятся в отношении редких и исчезающих осетровых видов рыб. Известно, что животные организмы донного сообщества (зообентоса) являются основой кормовой базы осетровых рыб [3]. В местах нагула питание представители осетровых рыб Сибири – сибирский осетр (*Acipenser baerii*, Brandt, 1869) и стерлядь (*Acipenser ruthenus*, Linnaeus, 1758), как правило, отражает состав его пищи отражает состав бентоса на местах нагула [4]. Так в бассейне р. Енисей основу кормовой базы осетров на местах нагула составляют личинки хирономид и ручейников, а также олигохеты, моллюски и гаммарусы [5]. В последние годы отмечено возрастание роли гаммаруса в питании осетровых в районе впадения р. Ангара в р. Енисей. В р. Обь основу питания осетровых рыб составляют, в первую очередь, личинки хирономид, а также личинки ручейников и моллюски [5].

Известно, что представители амфибионтных насекомых (ручейники, хирономиды, поденки, веснянки) могут является ценным источником ЭПК для высших консументов, тогда как моллюски и гаммарусы могут быть источником ДГК [6]. Однако содержание ЖК в консументах во многом будет зависеть от состава фитопланктонного комплекса, лежащего в основе кормовой базы водоема. Соответственно ЖК состав организмов зообентоса в разных водоемах может быть различным. Соответ-

ственно и биохимическая ценность различных представителей зообентоса в разных водных экосистемах может значительно отличаться.

Целью данного исследования было изучить состав ЖК в биомассе организмов зообентоса, являющихся основой кормовой базы осетровых рыб в р. Обь и р. Енисей, где осуществляются мероприятия по искусственному воспроизводству естественных популяций осетровых рыб.

Материалы и методы

Организмы зообентоса отбирались в августе 2021-2022 года на р. Енисей в районе Вороговского многоостровья – одного из мест нагула осетровых рыб, а также в августе 2021 г. в среднем течении р. Обь. Отбор проб грунта с организмами зообентоса производился круговым скребком Дулькейта с глубин от 0,5 до 2 м. Разбор проб проходил по общепринятым методикам []. Извлеченные организмы делили на крупные таксономические группы и выдерживали в стаканах с холодной водой сутки для очищения кишечных трактов. После этого организмы взвешивали и фиксировали в растворе хлороформ: этанола (2 :1 по объему). Экстракция липидов проводилась по методу Фолча в модификации. Для проведения хроматографического анализа экстрактов липидов получали метиловые эфиры жирных кислот (МЭЖК). [11]. Полученные МЭЖК хранили при температуре – 20°С до последующих анализов. Анализ МЭЖК проводили на газовом хроматографе с масс-спектрометрическим детектором (модель 6890/5975С, “AgilentTechnologies”, США) с колонкой HP-FFAP. Идентификацию пиков жирных кислот осуществляли по полученным масс-спектрам, сравнением их с имеющимися в базе данных AgilentNIST2005, а также сравнением времен удерживания с таковыми стандартами (Sigma, США).

Статистические расчеты были выполнены в программах Microsoft Excel и STATISTICA 9.0.

Результаты и обсуждение

Из состава организмов зообентоса р. Обь и р. Енисей для анализов ЖК состава были отобраны представители личинок хирономид и ручейников, а также гаммарусы, моллюски и олигохеты, которые составляют основу кормовой базы осетровых рыб в исследуемых реках. ЖК состав этих групп представлен в Таблице 1 и Таблице 2 соответственно.

В ЖК составе личинок хирономид р. Енисей и р. Обь был обнаружен относительно высокий уровень содержания ЭПК (20:5n-3), при этом он был достоверно выше у хирономид из р. Енисей. Напротив, уровень ДГК (22:5n-6) мыл менее 1 % (Табл. 1 и 2). В ЖК составе личинок ручейников прослеживалась таже тенденция. Стоит также отметить, что ручейники имели более высокий уровень альфа-линоленовой кислоты (18:3n-3), чем личинки хирономид. Эта ЖК является предшественником на пути синтеза ЭПК и ДГК. Имея достаточно этой ЖК в рационе, некоторые рыбы в небольшой степени могут самостоятельно синтезировать из нее ЭПК и ДГК. Высокий уровень ЭПК был также отмечен и для олигохет. Однако эта группа организмов имела более низкие уровни линолевой и альфа-линоленовых кислот (Таблица 1 и 2).

Что касается гаммарусов, то эта группа содержала достоверно большие уровни ЭПК по сравнению с другими организмами, как в р. Енисей, так и в р. Обь. Кроме того, гаммарусы обладали высоким уровнем ДГК, особенно в р. Енисей, где процентное содержание ДГК составляло более 7 % (Табл. 1 и 2). В ЖК составе моллюсков, помимо высокого уровня ЭПК, также был отмечен достаточно большой процент ДГК в обеих реках.

Таблица 1

Содержание жирных кислот (% от суммы ЖК, среднее значение ± стандартная ошибка) в разных группах бентосных организмов из. р. Енисей (август, 2021-2022).

ЖК	Гаммарусы			Ручейники			Хирономиды			Моллюски			Олигохеты			F	p
	n-3			n-3			n-3			n-3			n-3				
	m		SE	M		SE	m		SE	m		SE	m		SE		
12:0	0,5	±	0,1 ^{A}	2,2	±	0,4 ^{B}	1,1	±	0,2 ^{C}	1,3	±	0,2 ^{C}	2,7	±	0,4 ^{B}	**9,4**	**0,0020**
14:0	2,2	±	0,4 ^{A}	2,8	±	0,3 ^{A}	4,4	±	0,7 ^{B}	2,1	±	0,1 ^{A}	3,5	±	0,3 ^{C}	**5,2**	**0,0157**
Σ14:1	0,2	±	0,0 ^{A}	1,8	±	0,2 ^{B}	0,7	±	0,1 ^{C}	0,1	±	0,0 ^{A}	1,2	±	0,1 ^{D}	**36,0**	**0,0000**
14 ПНЖК	0,0	±	0,0 ^{A}	0,1	±	0,0 ^{A}	0,3	±	0,1 ^{B}	0,0	±	0,0 ^{A}	0,0	±	0,0 ^{A}	**18,9**	**0,0001**
15-17 РЖК	0,6	±	0,1 ^{A}	0,7	±	0,1 ^{A}	2,7	±	0,3 ^{B}	1,8	±	0,1 ^{C}	6,4	±	0,7 ^{D}	**50,0**	**0,0000**
15:0	0,3	±	0,0 ^{A}	0,5	±	0,1 ^{AB}	0,6	±	0,1 ^{B}	1,1	±	0,1 ^{C}	0,6	±	0,1 ^{B}	**16,1**	**0,0002**
i16:0	0,4	±	0,1 ^{A}	0,1	±	0,0 ^{B}	0,1	±	0,0 ^{B}	1,1	±	0,2 ^{C}	1,6	±	0,3 ^{C}	**17,3**	**0,0002**
16:0	15,3	±	1,1 ^{A}	16,9	±	0,8 ^{AB}	18,6	±	0,9 ^{B}	17,7	±	0,7 ^{B}	7,7	±	0,8 ^{C}	**25,0**	**0,0000**
16:1n-9	3,8	±	0,3 ^{A}	1,3	±	0,2 ^{B}	0,9	±	0,1 ^{C}	0,4	±	0,1 ^{CD}	0,3	±	0,0 ^{D}	**603,4**	**0,0000**
16:1n-7	8,3	±	0,5 ^{A}	11,3	±	0,1 ^{B}	14,5	±	0,8 ^{C}	3,4	±	0,4 ^{D}	7,8	±	0,4 ^{A}	**117,3**	**0,0002**
16 ПНЖК (n-7,4,1)	2,4	±	0,3 ^{A}	4,2	±	0,3 ^{B}	2,0	±	0,1 ^{A}	0,6	±	0,1 ^{C}	1,5	±	0,1 ^{AC}	**41,2**	**0,0000**
16 ПНЖК (n-9,6,3)	0,2	±	0,0 ^{A}	2,9	±	0,2 ^{B}	0,6	±	0,1 ^{C}	0,2	±	0,1 ^{AC}	0,2	±	0,0 ^{A}	**99,6**	**0,0000**
17:0	0,6	±	0,0 ^{A}	0,5	±	0,0 ^{A}	1,3	±	0,1 ^{B}	1,5	±	0,1 ^{BC}	2,0	±	0,1 ^{C}	**100,8**	**0,0000**
18:0	3,0	±	0,4 ^{A}	5,6	±	0,4 ^{B}	6,2	±	0,1 ^{B}	6,4	±	0,4 ^{B}	7,7	±	0,1 ^{B}	**33,4**	**0,0000**
18:1n-9	21,6	±	0,8 ^{A}	16,6	±	0,7 ^{B}	9,9	±	0,3 ^{C}	6,6	±	0,9 ^{D}	2,5	±	0,3 ^{E}	**146,6**	**0,0000**
18:1n-7	5,1	±	0,3 ^{A}	1,8	±	0,1 ^{B}	4,7	±	0,3 ^{A}	6,8	±	1,1 ^{AC}	7,9	±	0,3 ^{C}	**17,2**	**0,0002**
18:2n-6	5,5	±	0,8 ^{A}	7,2	±	0,2 ^{AB}	9,0	±	0,5 ^{B}	2,6	±	0,2 ^{C}	2,1	±	0,2 ^{D}	**40,4**	**0,0000**
18:3n-3	3,1	±	0,4 ^{A}	9,7	±	0,4 ^{B}	3,3	±	0,2 ^{A}	3,1	±	0,1 ^{A}	1,1	±	0,2 ^{C}	**136,0**	**0,0000**
Σ20:1	1,1	±	0,2 ^{A}	0,1	±	0,1 ^{B}	0,3	±	0,0 ^{B}	8,0	±	0,6 ^{C}	7,1	±	0,3 ^{C}	**169,6**	**0,0000**
20:2n-6	0,7	±	0,3 ^{A}	0,0	±	0,0 ^{B}	0,1	±	0,0 ^{B}	1,3	±	0,0 ^{AC}	1,7	±	0,1 ^{C}	**28,2**	**0,0000**
20:4n-6	5,3	±	0,5 ^{A}	1,6	±	0,2 ^{B}	2,0	±	0,2 ^{B}	6,2	±	0,2 ^{C}	5,3	±	0,2 ^{A}	**55,2**	**0,0000**
20:5n-3	17,0	±	0,4 ^{A}	9,6	±	0,2 ^{B}	12,8	±	0,3 ^{C}	9,0	±	0,1 ^{B}	10,5	±	0,4 ^{B}	**129,1**	**0,0000**
Σ20:1	0,0	±	0,0 ^{A}	0,1	±	0,0 ^{A}	0,1	±	0,0 ^{A}	0,3	±	0,0 ^{AB}	0,6	±	0,1 ^{B}	**169,6**	**0,0000**
22:5n-6	0,5	±	0,1 ^{A}	0,1	±	0,1 ^{B}	0,0	±	0,0 ^{B}	0,8	±	0,1 ^{C}	0,6	±	0,1 ^{AC}	**35,5**	**0,0000**
22:5n-3	2,1	±	0,2 ^{A}	0,2	±	0,0 ^{B}	0,1	±	0,0 ^{B}	4,2	±	0,2 ^{C}	1,0	±	0,1 ^{A}	**139,5**	**0,0000**
22:6n-3	7,1	±	0,2 ^{A}	0,5	±	0,0 ^{B}	0,2	±	0,0 ^{B}	3,6	±	0,3 ^{C}	0,3	±	0,1 ^{B}	**304,7**	**0,0000**

Примечание: Величины имели нормальное распределение (согласно критерия Колмогорова-Смирнова). Значения сравнивались в дисперсионном анализе ANOVA по критерию Тьюки. Статистически достоверные значения ($p < 0.05$) приведены жирным шрифтом, n – число проб.

Таблица 2

Содержание жирных кислот (% от суммы ЖК, среднее значение ± стандартная ошибка) в разных группах бентосных организмов из. р. Обь (август, 2022).

ЖК	Гаммарусы			Ручейники			Хирономиды			Моллюски			Олигохеты			F	p
	n-3			n-3			n-3			n-3			n-3				
	m		SE	M		SE	m		SE	m		SE	m		SE		
12:0	0,3	±	0,0 ^{A}	0,1	±	0,0 ^{B}	0,3	±	0,1 ^{A}	0,0	±	0,0 ^{B}	1,2	±	0,0 ^{C}	**73,5**	**0,0000**
14:0	3,6	±	0,4 ^{A}	2,4	±	0,2 ^{B}	4,3	±	0,7 ^{AC}	1,9	±	0,1 ^{B}	5,7	±	0,3 ^{C}	**11,6**	**0,0013**
Σ14:1	1,5	±	0,0 ^{A}	0,7	±	0,0 ^{B}	0,3	±	0,1 ^{C}	0,2	±	0,0 ^{C}	1,4	±	0,0 ^{A}	**263,2**	**0,0000**
14 ПНЖК	0,0	±	0,0 ^{A}	0,8	±	0,0 ^{B}	0,1	±	0,0 ^{A}	0,0	±	0,0 ^{A}	0,0	±	0,0 ^{A}	**168,9**	**0,0000**
15-17 РЖК	4,0	±	0,1 ^{A}	1,1	±	0,0 ^{B}	1,9	±	0,1 ^{C}	2,5	±	0,1 ^{D}	8,6	±	0,0 ^{E}	**865,8**	**0,0000**
16:0	17,5	±	1,7 ^{A}	18,9	±	0,6 ^{A}	20,1	±	1,2^{A}	15,6	±	0,8 ^{B}	4,8	±	0,3 ^{C}	**24,5**	**0,0001**
16:1n-9	4,0	±	0,1 ^{A}	0,8	±	0,3 ^{B}	1,0	±	0,1 ^{B}	0,5	±	0,0 ^{B}	0,8	±	0,0 ^{B}	**647,4**	**0,0000**
16:1n-7	7,9	±	0,3 ^{A}	12,8	±	0,0 ^{B}	12,3	±	1,1 ^{B}	2,4	±	0,3 ^{C}	6,1	±	0,1 ^{D}	**72,8**	**0,0000**
16 ПНЖК (n-7,4,1)	2,2	±	0,1 ^{A}	8,9	±	0,3 ^{B}	2,8	±	0,5 ^{A}	0,4	±	0,0 ^{C}	1,4	±	0,0 ^{D}	**153,2**	**0,0000**
16 ПНЖК (n-9,6,3)	0,5	±	0,0 ^{A}	8,4	±	0,3 ^{B}	1,8	±	0,6 ^{C}	0,2	±	0,0 ^{D}	0,6	±	0,0 ^{A}	**135,2**	**0,0000**
17:0	1,0	±	0,0 ^{A}	0,6	±	0,0 ^{B}	0,9	±	0,0 ^{AB}	1,4	±	0,1 ^{C}	1,5	±	0,0 ^{C}	**34,6**	**0,0000**
18:0	4,7	±	0,1 ^{A}	4,1	±	0,1 ^{A}	5,4	±	0,1 ^{A}	7,1	±	1,2 ^{B}	5,1	±	0,1 ^{A}	**3,9**	**0,0427**
18:1n-9	9,1	±	0,6 ^{A}	14,2	±	2,5 ^{B}	8,1	±	1,0 ^{A}	5,9	±	0,4 ^{C}	2,6	±	0,0 ^{D}	**8,9**	**0,0035**
18:1n-7	4,2	±	0,1 ^{A}	1,4	±	0,0 ^{B}	6,5	±	0,4 ^{AC}	4,5	±	0,8 ^{A}	8,1	±	0,1 ^{C}	**32,8**	**0,0000**
18:2n-6	5,4	±	0,5 ^{A}	2,7	±	0,1 ^{B}	8,8	±	0,1 ^{C}	4,7	±	0,7 ^{A}	3,5	±	0,0 ^{AB}	**33,9**	**0,0000**
18:3n-3	2,5	±	0,1 ^{A}	8,7	±	0,3 ^{B}	6,5	±	1,1 ^{C}	6,7	±	0,2 ^{C}	4,1	±	0,1 ^{AC}	**17,9**	**0,0003**
Σ20:1	2,1	±	0,1 ^{A}	0,4	±	0,0 ^{B}	0,7	±	0,1 ^{B}	5,9	±	2,9 ^{C}	8,6	±	0,1 ^{D}	**5,7**	**0,0148**
20:2n-6	1,1	±	0,0 ^{A}	0,0	±	0,0 ^{B}	0,1	±	0,1 ^{B}	0,6	±	0,3 ^{C}	1,7	±	0,0 ^{A}	**28,0**	**0,0000**
20:4n-6	3,2	±	0,1 ^{A}	0,5	±	0,0 ^{B}	1,8	±	0,1 ^{C}	7,4	±	1,6 ^{D}	6,6	±	0,1 ^{D}	**13,7**	**0,0007**
20:5n-3	10,9	±	0,3 ^{A}	7,6	±	0,2 ^{B}	8,1	±	0,5 ^{B}	6,0	±	1,2 ^{B}	8,2	±	0,7 ^{B}	**7,5**	**0,0061**
Σ20:1	0,6	±	0,0 ^{A}	0,1	±	0,0 ^{B}	0,2	±	0,1 ^{B}	0,4	±	0,1 ^{B}	1,1	±	0,0 ^{C}	**5,7**	**0,0148**
22:5n-6	1,0	±	0,0 ^{A}	0,0	±	0,0 ^{B}	0,0	±	0,0 ^{B}	2,1	±	0,8 ^{C}	1,3	±	0,0 ^{AC}	**5,8**	**0,0138**
22:5n-3	0,3	±	0,0 ^{A}	0,1	±	0,0 ^{A}	0,2	±	0,1 ^{A}	1,7	±	0,1 ^{B}	0,9	±	0,0 ^{C}	**101,3**	**0,0000**
22:6n-3	3,2	±	0,1 ^{A}	0,4	±	0,0 ^{B}	0,3	±	0,1 ^{B}	2,4	±	0,4 ^{A}	0,4	±	0,0 ^{B}	**41,9**	**0,0000**

Примечание: Величины имели нормальное распределение (согласно критерия Колмогорова-Смирнова). Значения сравнивались в дисперсионном анализе ANOVA по критерию Тьюки. Статистически достоверные значения ($p < 0.05$) приведены жирным шрифтом, n – число проб.

Таким образом, все исследованные группы зообентосных организмов содержат значительные доли ЭПК в своей биомассе и являются ценными источниками этой ЖК для осетровых рыб. Однако, только гаммариды и моллюски имели в своем ЖК составе значительные доли не только ЭПК, но и ДГК. Эти объекты питания будут являться наиболее биохимически ценными, в качестве источников ПНЖК, для осетровых рыб исследованных рек.

Следует также отметить, что уровни ЭПК и ДГК в организмах зообентоса р. Енисей были несколько выше, чем в р. Обь. Возможной причиной этого является разный фитопланктонный комплекс, являющийся основой пищевых сетей, в этих реках.

Стоит отметить, что из-за изменения гидрологического режима р. Енисей в последние годы численность гаммаруса на основных местах нагула осетровых снижается, и растет численность олигохет [7]. Исходя из полученных нами данных, можно предположить, что, из-за подобных изменений в структуре сообществ зообентоса в р. Енисей, в ближайшее время можно ожидать снижение биохимического качества кормовой базы осетровых рыб, как источника ДГК.

В р. Обь в питании осетровых преобладают хирономиды, которые также являются источником ЭПК, но не ДГК.

Заключение

Полученные данные можно использовать для расчета биохимической ценности кормовой базы для осетровых рыб р. Обь и р. Енисей. Однако, на данный момент, не хватает исследований о роли отдельных групп зообентоса в питании осетровых рек Обь и Енисей, которые необходимы для оценки биохимической ценности всей кормовой базы осетровых.

Работа поддержана Грантом РНФ №22-24-20023, Красноярским краевым фондом науки

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tocher D.R. Fatty acid requirements in ontogeny of marine and freshwater fish // Aquaculture Research. – 2010. - V. 41. - P. 717 – 732.

2. Sushchik N.N., Gladyshev M.I., Makhutova O.N., Kalachova G.S., Kravchuk E.S., Ivanova E.A. Associating particulate essential fatty acids of the ω3 family with phytoplankton species composition in a Siberian reservoir // Freshwater Biology. - 2004. – V. 49. - P. 1206-1219.

3. Пресноводные рыбы Средней Сибири / под. ред. Е. Н. Шадрина. Норильск: АПЕКС, 2016. 200 с.

4. Рубан Г.И. адаптивные эколого-морфологические особенности сибирского осетра (*Acipenser baerii*, Brandt) // Биология внутренних вод. – 2019. - № 2. - с. 71–78.

5. Рубан Г.И. Сибирский осетр *Acipenser baeri*i Brandt. Структура вида и экология // Издательство ГЕОС (Москва). – 1999. - С. 103-110.

6. Makhutova O.N., Shulepina S.P., Sharapova T.A., Dubovskaya O.P., Sushchik N.N., Baturina M.A., Pryanichnikova E.G., Kalachova G.S., Gladyshev M.I. Content of polyunsaturated fatty acids essential for fish nutrition in zoobenthos species // Freshwater Science. - 2016. - V. 35. - P. 1222-1234.

7. Андрианова А.В. Динамика развития енисейского зообентоса в нижнем бьефе Красноярской ГЭС // Вестник Томского государственного университета. Биология. - 2013. - № 1 (21). - С. 74–88

BIOCHEMICAL VALUE OF THE ORGANISMS OF ZOOBENTHOS OF THE YENISEI RIVER AND THE OB RIVER AS THE MAIN FOOD SOURCES FOR SIBERIAN STURGEON

[1]Dimenko Olga Sergeevna, Ph.D. student
[2]Rudchenko Anastasia Evgenievna, Ph.D., Associate Professor of the Department of Water and Terrestrial Ecosystems
[3]Andrushchenko Svetlana Victorovna, Ph.D. student

[1,2,3]Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia, e-mail: [2]arudchenko@sfu-kras.ru

The composition of fatty acids in the biomass of the main food items of sturgeon fish was evaluated. Yenisei and the Ob River. The composition and percentage of individual FAs in the biomass of larvae of chironomids and caddisflys, as well as mollusks, oligochaetes and gammarids – the main feeding objects of sturgeon fish in these rivers - were studied. It was found that oligochaetes, larvae of chironomids and caddisflys contain high levels of eicosapentaenoic acid (EPA), whereas mollusks and gammarids, in addition to high levels of EPA, contain a fairly high level of docosahexaenoic acid (DHA). At the same time, the levels of EPA and DHA, which are physiologically important for fish, were higher in the organisms of zoobenthos Yenisei River, compared with the zoobenthos of the Ob River.

УДК 591.524.12:597.2/.5-154.5 (262.5)

ДИНАМИКА ВИДОВОГО СОСТАВА И ЧИСЛЕННОСТИ ИХТИОПЛАНКТОНА В СВЯЗИ С ОСОБЕННОСТЯМИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ЧЕРНОГО МОРЯ В 2016-2022 ГГ.

[1]Климова Татьяна Николаевна, канд. биол. наук, ст. науч. сотрудник
[2]Субботин Александр Анатольевич, канд. геогр. наук, ст. науч. сотрудник
[3]Вдодович Ирина Вячеславовна, канд. биол. наук, ст. науч. сотрудник
[4]Забродин Дмитрий Александрович, ведущий инженер

[1,2,3,4]Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, Россия,
e-mail: [1]tnklim@mail.ru

В период 2016–2022 гг. в ихтиопланктоне северной половины Черного моря были идентифицированы икра и личинки 69 видов рыб из 34 семейств. Отмечены сдвиги сроков массового нереста, а также пролонгирование летнего и зимнего нерестовых сезонов на осеннее и весеннее межсезонье в зависимости от особенностей гидрологического режима. Основными лимитирующими факторами результативности нереста и выживания рыб на ранних стадиях развития остаются оптимальные температурные условия в период эмбрионального и постэмбрионального развития и обеспеченность кормом личинок рыб.

1.1. Введение

Климатические изменения, наблюдаемые в последние десятилетия, оказали существенное влияние на экосистему Черного моря. Потепление климата, которое отмечают с середины 1990-х гг., привело к существенным изменениям в гидрологическом режиме Черного моря. «Глобальное потепление» вызвало устойчивые изменения в динамике вод, в параметрах гидрологических сезонов, повышение температуры поверхностного слоя моря и увеличение теплозапаса в слое 0–100 м [1, 2]. Произошло «размывание» холодного промежуточного слоя, последнее обновление которого за последние годы исследований отмечалось только в холодную зиму 2016-2017 гг. Сезонное

ослабление Основного Черноморского течения (ОЧТ) в летний гидрологический сезон способствует проявлению региональных синоптических и квазистационарных термодинамических образований, зон конвергенции и дивергенции течений. Сдвиги сроков начала и окончания гидрологических сезонов в зависимости от региональных гидрологических условий в предшествующий сезон, изменение термохалинных характеристик приводят к изменению видового состава гидробионтов, к отсутствию совпадения периодов массового развития кормового зоопланктона и результативного нереста рыб [3]. Произошло изменение фенологии нереста как тепловодных, так и умеренно-водных рыб в прибрежно-шельфовых и открытых водах. Повышение температуры моря в летний и зимний нерестовые сезоны привело к сокращению сроков эмбрионального развития и уменьшению размерно-массовых характеристик личинок рыб, а пролонгирование сроков нереста тепловодных и умеренноводных видов рыб на период межсезонья привело к одновременному присутствию их личинок в ихтиопланктоне [4, 5, 6, 7].

В летний нерестовый сезон региональные условия прогрева верхнего слоя моря и формирования вертикальной термической стратификации летнего типа являются основными лимитирующими факторами результативности нереста тепловодных видов рыб. С одной стороны, активизация квазистационарных прибрежно-шельфовых антициклонических вихрей способствует формированию устойчивых зон с благоприятными термодинамическими и кормовыми условиями для эффективного нереста и выживания личинок рыб, а с другой стороны приводит к активному водообмену прибрежно-шельфовых и глубоководных участков моря и расширению видового состава ихтиопланктона.

Регулярные исследования северной части Черного моря в пределах экономической зоны России на НИС «Профессор Водяницкий», начавшиеся с 2016 г. позволили изучить современное состояние ихтиопланктонных комплексов, характер их изменений после деградации экосистемы моря с конца 1980-90 гг. а также уровень соответствия устойчивому состоянию 1950-70 гг.

1.2. Материал и методика

Материал собран в весенний, летний, осенний и зимний сезоны в шельфовых и глубоководных районах в северной половине Черного моря в исключительной экономической зоне Российской Федерации. Ихтиопланктонные исследования проводили от северо-западной части моря до берегов Кавказа в научно-исследовательских рейсах НИС “Профессор Водяницкий”. Ихтиопланктон собирали планктонными сетями Хенсена, Богорова-Расса и ИКС-80 с ячеей газа 400 мкм в режиме тотальных вертикальных ловов. На мелководных станциях облавливали слой от поверхности до дна, а в глубоководной части моря − до границы сероводородной зоны, определяемой по изопикне $\delta t = 16.2$ усл. ед. по данным зонда “Sea-Bird STDplus”. Численность ихтиопланктона пересчитана в экземплярах под квадратным метром поверхности. Пробы фиксировали 4%-ным раствором формальдегида. Идентификацию ихтиопланктона проводили по монографии [8]. Питание личинок рыб анализировали по методике [9]. Для анализа гидрологического режима и поверхностной циркуляции вод использованы материалы рейсовых наблюдений и космические снимки температуры поверхности моря (ТПМ), и расчетные карты геострофических течений за период с 2016 по 2022 гг. [10].

1.3. Результаты и обсуждение

Видовой состав ихтиопланктона. По данным Т.С. Расса [11] в состав собственно морских рыб Черного моря входили 8 видов умеренно-водных бореально-атлантических реликтов и 109 видов тепловодных южнобореальных, субтропических и тропических видов. Многолетние исследования черноморского ихтиопланктона [8] позволили выделить 68 видов, которые достоверно или с высокой долей вероятности размножались в Черном море. Для большинства видов рыб черноморской ихтиофауны характерно порционное икрометание, которое является эффективным приспособлением для увеличения плодовитости [12]. В конце 1980-х – начале 1990-х гг., в связи с антропогенным воздействием, увеличением эвтрофикации вод и, как следствие, ростом биомассы хищного желетелого макропланктона, а также вселением и массовым развитием гребневика *Mnemyopsis leidy*, по всему шельфу Черного моря произошло катастрофическое снижение численности и видового разнообразия кормового зоопланкатона и ихтиопланктона. Если в конце 1960-х гг. в прибрежно-шельфовых водах северо-

западной части Черного моря в летний нерестовый сезон были отмечены 20 видов икры и личинок рыб, то в период с 1987 по начало 1990-х количество видов сократилось с 9 до 4. Средняя численность икры рыб в вертикальных ловах с 1987 по 1990 гг. сократилась с 23 до 0,6 экз./м^2, а личинок – с 1,3 до 0,1 экз./м^2. В районе Крымского полуострова в вертикальных ловах количество видов с 1988-89 гг. по 1990 гг. сократилось с 20 до 15, а средняя численность икры и личинок – с 62 и 30 экз./м^2 до 12 и 3 экз./м^2 соответственно. В 1991 г. были отмечены всего 6 видов икры и личинок рыб, а их средняя численность не превышала 3,6 и 0,3 экз./м^2 соответственно [13]. Начало восстановления видового состава и численности ихтиопланктона было отмечено только в конце 1990-х гг., что связывают с вселением и массовым развитием гребневика *Beroe ovater*, который питается в основном *Mnemyopsis leidy*. В период с 2000 по 2016 гг. в ихтиопланктоне прибрежно-шельфовых и глубоководных районов северной части Черного моря были отмечены икра и личинки 66 видов рыб из 33 семейств [4].

В период с 2016-2022 гг. всего были идентифицированы икра и личинки 69 видов рыб из 34 семейств. По сравнению с таксономическим составом периода 2000-2016 г. [4] таблица видов пополнилась личинками: *Clupeonella cultriventris* (Nordmann, 1840), *Merluccius merluccius* (Linneus, 1758), *Gasterosteus aculeatus* Linnaeus, 1758 и *Thunnus thynnus* (Linnaeus, 1758), которые до 2016 г. в ихтиопланктоне не встречались. В таблице представлен таксономический состав ихтиопланктона идентифицированного в прибрежно-шельфовой и глубоководной зонах северной части Черного моря исключительно экономической зоны Российской Федерации в период 2016-2022 гг. (табл.).

Таблица 1

Таксономический состав ихтиопланктона в северной части Черного моря в 2016-2022 гг.

Family: Engraulidae	*Pomatoschistus marmoratus* (Risso, 1810)
Engraulis encrasicolus (Linnaeus, 1758)	*P. minutus* (Pallas, 1770)
Family: Clupeidae	*P. pictus* (Malm, 1865)
Sprattus sprattus (Linnaeus, 1758)	**Family: Labridae**
Clupeonella cultriventris (Nordmann, 1840)	Ctenolabrus rupestris (Linnaeus, 1758)
Family: Gadidae	Symphodus cinereus (Bonnaterre, 1788)
Merlangius merlangus (Linnaeus, 1758)	S. ocellatus (Forsskel, 1775)
Trisopterus luscus (Linnaeus 1758)	*S. roissali* (Risso, 1810)
Family: Lotidae	S. rostratus (Bloch, 1791)
Gaidropsarus mediterraneus (Linnaeus, 1758)	S. tinca (Linnaeus, 1758)
*Molva macrophthalma (*Rafinesque, 1810)	**Family: Pomacentridae**
Family: Merlucciidae	*Chromis chromis* (Linnaeus, 1758)
Merluccius merluccius (Linneus, 1758)	**Family: Mugilidae**
Family: Gasterosteidae	*Chelon saliens* Risso, 1810
Gasterosteus aculeatus Linnaeus, 1758	*C. auratus* (Risso, 1810)
Family: Ophidiidae	*Mugil cephalus* (Linnaeus, 1758)
Ophidion rochei Muller, 1845	*Planiliza haematocheila* (Temminck & Schlegel, 1845)
Family: **Atherinidae**	**Family**: **Carangidae**
Atherina boyeri (Risso, 1810)	*Trachurus mediterraneus* (Steindachner, 1868)
A. hepsetus Linnaeus, 1758	**Family: Mullidae**
A. presbyter Cuvier 1829	*Mullus barbatus* (Linnaeus, 1758)
Family: Belonidae	**Family: Sciaenidae**
Belone belone (Linnaeus, 1761)	*Sciaena umbra* (Linnaeus, 1758)
Family: Syngnathidae	**Family: Serranidae**
Syngnathus schmidti (Popov, 1927)	*Serranus scriba* (Linnaeus, 1758)
Hippocampus guttulatus (Cuvier, 1829)	**Family: Sparidae**
Family: Scorpaenidae	*Boops boops* (Linnaeus, 1758)
Scorpaena porcus (Linnaeus, 1758)	*Diplodus annularis* (Linnaeus, 1758)
Family: Triglidae	*Diplodus puntazzo* (Walbaum, 1792)
Chelidonichthys lucerna (Linnaeus, 1758)	*Spicara smaris* (Linnaeus, 1758)
Family: Gobiesocidae	*Centracanthus cirrus* (Rafinesque, 1810)
Diplecogaster bimaculata (Bonnaterre, 1788)	**Family**: **Scombridae**
Lepadogaster candolii Risso, 1810	*Sarda sarda* (Bloch, 1793)

L. lepadogaster (Bonnaterre, 1788)	*Thunnus thynnus* (Linnaeus, 1758)
Family: Blenniidae	**Family: Pomatomidae**
Aidablennius sphynx (Valenciennes, 1836)	*Pomatomus saltatrix* (Linnaeus, 1766)
Coryphoblennius galerita (Linnaeus, 1758)	**Family: Ammodytidae**
Parablennius zvonimiri Kolombatovic, 1892	*Gymnammodytes cicerelus* (Rafinesque, 1810)
P.sanguinolentus (Pallas, 1814)	**Family: Trachinidae**
P.tentacularis (Brünnich, 1768)	*Trachinus draco* **(**Linnaeus, 1758)
P. zvonimiri (Kolombatovic, 1892)	*Echiichthys vipera* (Cuvier, 1829)
Salaria pavo (Risso, 1810)	**Family: Uranoscopidae**
Family: Tripterygiidae	*Uranoscopus scaber* (Linnaeus, 1758)
Tripterygion tripteronotus (Risso, 1810)	**Family: Scophthalmidae**
Family: Callionymidae	*Scophthalmus maeoticus* (Pallas, 1814)
Callionymus lyra (Linnaeus, 1758)	**Family: Bothidae**
Callionymus sp.	*Arnoglossus kessleri* (Schmidt, 1915)
Family: Gobiidae	**Family: Pleuronectidae**
Aphia minuta (Risso, 1810)	*Platichthys flesus* (Linnaeus, 1758)
Gobius niger (Linnaeus, 1758)	**Family: Soleidae**
Gobius bucchichi (Steindachner, 1870)	*Pegusa nasuta* (Pallas, 1814)
Knipowitschia longecaudata (Berg, 1916)	

Икру *Sardina pilchardus* Walbaum,1792 и *Sardinella aurita* Valenciennes, 1847, которая была поймана только у берегов Турции, а в пределах экономической зоны России не встречалась, мы исключили. Следует отметить, что по World Register of Marine Species в настоящее время *Spicara smaris* (Linnaeus, 1758) и *Centracanthus cirrus* Rafinesque, 1810 ранее выделенные в сем. Centracanthidae, перенесены в сем. Sparidae, а два вида атерин *Atherina mochon pontica* Linnaeus, 1758 и *Atherina boyeri* Risso, 1810 были объединены в один вид − *Atherina boyeri* Risso, 1810. Список Т.В. Дехник [8], был пополнен видами, описанными в монографии, но их достоверное размножение подвергалось сомнению: *Chelidonichthys lucerna* (Linnaeus, 1758), *Callionymus lyra* Linnaeus, 1758, *Pomatoschistus pictus* (Malm, 1865). Появились личинки *Clupeonella cultriventris* (Nordmann, 1840), обитателя Азовского и Черного морей [13], а также личинки *Diplodus puntazzo* (Walbaum, 1792) и молодь *Gasterosteus aculeatus* Linnaeus, 1758, обитатели Черного моря, которые не описаны в монографии Т.В. Дехник [8]. Кроме этого следует отметить появление личинок умеренноводных хищников − обитателей глубоководных районов Средиземного моря: *Molva macrophthalma* Rafinesque, 1810 и *Trisopterus luscus* (Linnaeus 1758), которые регулярно встречаются фактически круглый год в глубоководных районах и шельфовых водах у берегов Крымского полуострова [4]. Вероятно, проникновение этих видов в Черное море связано с одной стороны, повышением солености черноморских вод, а с другой − увеличением численности их кормовых объектов − массовых промысловых короткоцикловых видов (тепловодной *Engraulis encrasicolus* и умеренноводного *Sprattus sprattus*), обитающих как в прибрежно-шельфовых, так и в глубоководных районах Черного моря.

Тепловодне виды рыб. Большинство видов тепловодных рыб Черного моря размножаются в прибрежно-шельфовой зоне. В открытых водах в летний сезон обычно доминируют массовые промысловые виды *E. encrasicolus* и *Trachurus mediterraneus*, которые нерестятся как в прибрежно-шельфовых, так и глубоководных районах моря. Доля икры и личинок *E. encrasicolus* в открытых водах превышает 90% от общей численности всех видов. Массовый результативный нерест тепловодных видов рыб обычно наблюдается с формированием вертикальной стратификации вод летнего типа, поскольку тепловодные рыбы размножаются в верхнем квазиоднородном слое моря. Запаздывание летнего гидрологического сезона, как правило, обусловлено поздним наступление зимнего и весеннего гидрологическизх сезонов. В период прогрева верхнего слоя моря в переходной фазе от весеннего к летнему гидрологическому сезону активизация атмосферных процессов замедляет формирование вертикальной термической стратификации летнего типа.

Во второй половине июня 2017 г. в начальной фазе летнего гидрологического сезона отмечены 24 вида икры и личинок рыб как тепловодного, так и умеренноводного комплексов. Средняя численность икры и личинок рыб не превышала 11.9 и 2.0 экз./м^2 соответственно. В период ихтиопланктонной съемки резкое усиление северо-восточного ветра [1] привело к образованию вихре-

вого диполя в северо-восточной части моря и скрытого прибрежного апвеллинга в узкой прибрежной зоне от Гераклейского полуострова до Керченского пролива. В результате произошел вынос в глубоководные районы исследований личинок узкоприбрежных видов из демерсальной икры, где их доля составляла 51% от общей численности всех видов [16]. Личинки умеренноводных видов, наряду с холодолюбивыми видами кормового зоопланктона, наоборот, были вынесены в прибрежно-шельфовую зону прибрежным апвеллингом. Доля личинок умеренноводного шпрота здесь достигала 32%. Кроме того, низкая температура воды вдоль всего побережья Крымского полуострова способствовала возобновлению результативного нереста умеренноводных видов рыб. Тем не менее, одновременное присутствие в пробах личинок широкого размерного диапазона умеренноводных и теплолюбивых видов рыб, наличие личинок с разным типом питания, а также низкая доля личинок с пустыми кишечниками свидетельствовали о благоприятных условиях для их выживания. В питании личинок как умеренноводных, так и тепловодных видов рыб преобладали ювенильные стадии копепод из отряда Calanoida.

Начальная фаза летнего гидрологического сезона в районе Крымского полуострова наблюдалась и в начале июля 2021 г. после прохождения над Черным морем двух активных атмосферных циклонов, замедливших процесс формирования вертикальной стратификации вод летнего типа. В ихтиопланктоне были отмечены всего 13 видов рыб, а средняя численность их икры и личинок составляла 29,1 и 2,0 экз./м^2 соответственно. Усиление волнового воздействия до 3-4 баллов привело не только к разрушения верхнего квазиоднородного слоя, но и к увеличению доли мертвой икры в море с 58 до 77%. Усиление ветро-волновой деятельности в связи с прохождением атлантических циклонов препятствовала формированию верхнего квазиоднородного слоя и в июне 2022 г. Видовой состав и численность ихтиопланктона соответствовали началу летнего нерестового сезона. Были идентифицированы всего10 видов икры и личинок рыб тепловодных рыб из 9 семейств. Средняя численность икры составляла всего 1,16, а личинок 0,34 экз./м^2.

В июле-августе 2019 г. в северной половине Черного моря уже наблюдался летний гидрологический сезон, вертикальная стратификация вод летнего типа была уже полностью сформирована. Толщина верхнего квазиоднородного слоя составляла от 15 до 25 м. В ихтиопланктоне были отмечена икра и личинки 29 видов рыб [17]. Для сравнения, в июле-августе конца 1980-х гг. на шельфе Крымского полуострова в период деградации экосистем черноморского шельфа и массового развития желетелого гребневика мнемиопсиса в вертикальных ловах количество видов не превышало 20 [13]. В июле-августе 2019 г. средняя численность икры составляла 83,8, а личинок 23,7 экз/м^2, а у мыса Тарханкут она достигала 176,0 экз./м^2 и 55,3 экз./м^2 соответственно. В пробах доминировала *E. encrasicolus*. Показатели индекса видового богатства в открытых водах и в прибрежной акватории моря были сопоставимы, что обусловлено выносом икры и личинок рыб из прибрежной акватории в открытое море вследствие циркуляционных особенностей вод в системе прибрежных антициклонов. В шельфовой зоне Кавказского сектора в пределах распространения прибрежной разрозненной водной массы численность ее икры достигала 260 экз./м^2, а личинок − 117 экз./ м^2. Эффективность нереста *E. encrasicolus* в среднем составляла 25%, а у Кавказа − достигала 30%.

В начале августа 2021 г. в районе Кавказа при устойчивом состоянии параметров летнего гидрологического сезона с максимальным прогревом верхнего слоя моря и сформировавшейся вертикальной термической стратификацией вод летнего типа в ихтиопланктоне было отмечено 20 видов икры и личинок рыб, их средняя численность составляла 159,6 и 160,9 экз./м^2 соответственно. Активизация циклонической деятельности над восточной частью Черного моря в июне-июле привела к нетипичному для этого периода года «инерционному» усилению ОЧТ, его трансформации в ярко выраженный поток со скоростями до 30-35 м/сек., захватывающий всю шельфовую зону Кавказа. На всем исследуемом пространстве моря продолжался массовый результативный нерест промысловых видов рыб *E. encrasicolus* и *T. mediterraneus,* средняя численность их икры составляла около 160 экз./м^2 как в глубоководной, так и в прибрежно-шельфовой зоне. Средняя численность разновозрастных личинок рыб в глубоководной зоне исследований оказалась в 5 раз ниже, чем на шельфе. Личинки, вероятно, были вытеснены на шельф из глубоководной зоны усилившимся потоком ОЧТ. Средняя численность личинок в прибрежно-шельфовых водах в среднем составляла 452 экз./м^2, а их максимальная численность превышала 900 экз./м^2. Таким образом, трансформация струи ОЧТ в сплошной поток не повлияла на нерестовую активность массовых промысловых видов рыб, а высокая численность мелкоразмерных форм кормового зоопланктона

способствовала выживанию их личинок.

В середине августа 2022 г. в районе Крымского полуострова также наблюдался летний гидрологический сезон с сформировавшейся вертикальной стратификации вод. В ихтиопланктоне были идентифицированы икра и личинки 23 видов рыб из 16 семейств. Средняя численность икры составляла всего 36,1, а личинок – 11,7 экз./м^2. Сравнительно низкая численность икры и личинок в пробах, вероятно, связана с высокой температурой воды в море, которая с конца июля по конец августа в поверхностном слое достигала 26,6-27,8^{o}С, что превышало оптимальный уровень (20-24°С) для эмбрионального и постэмбрионального развития тепловодных видов рыб [8]. Максимальная численность икры составляла 321, а личинок – 55 экз./м^2. Доминировала *E. encrasicolus*, доля ее икры колебалась от 90% на шельфе до 95% − в глубоководной зоне, а доля личинок от 41 до 47% соответственно. Эффективность ее нереста составляла около 15%.

Медленное понижение температуры верхнего слоя моря в сентябре и даже октябре бывает благоприятной для продолжения результативного нереста тепловодных видов рыб. Так, в первой декаде сентября 2022 г. при понижении температуры поверхности моря до 24,5^{o}С еще наблюдался летний гидрологический сезон. В ихтиопланктоне были отмечены 15 видов тепловодных рыб из 9 семейств. Средняя численность икры составляла 4,6, а личинок – 9,7 экз./м^2, максимальная численность составляла 11 и 45 экз./м^2 соответственно. Доминировала *E. encrasicolus,* доля ее икры составляла 78%, а личинок − 59%.

В октябре 2022 г. после медленного понижения температуры верхнего слоя моря с 24°С, в начале второй декады сентября, до 20,5-18,5^{o}С в период ихтиопланктонной съемки, наблюдалась начальная фаза осеннего гидрологического сезона. Температурные условия были все еще благоприятны для нереста тепловодных видов рыб. В море продолжался результативный нерест 11 видов рыб. Доля *E. encrasicolus* составляла 14,5%, а личинок – 39%. Аналогичные гидрологические условия наблюдались и в октябре 2016 г. Система циркуляции поверхностных вод на исследуемой акватории все еще соответствовала летней с сохранением ее основных особенностей. Температура поверхности воды в море колебалась от 18,5 до 21,5^{o}С. В море продолжался результативный нерест 9 видов тепловодных рыб. В ихтиопланктоне преобладала *E. encrasicolus,* доля ее икры составляла 27%, а личинок – 39% [18]. Как в 2016, так и в 2022 гг. в октябре в море наблюдались благоприятные условия для выживания ихтиопланктона, что подтверждалось сравнительно высокой численностью разновозрастных личинок и отсутствием личинок на смешанном и внешнем типах питания с пустыми кишечниками.

Умененноводные виды рыб. В зимний гидрологический сезон в ихтиопланктоне встречаются только умеренно-водные виды рыб. В Черном море среди них доминирует *Sprattus sprattus,* который размножается практически круглый год [10]. Летом размножение происходит в холодном промежуточном слое, где температура воды составляет около 8°С, а зимой (с декабря по февраль) – во всем кислородном слое моря. Так, по данным Т.В. Дехник [8], в декабре-январе у берегов Крыма средняя численность икры колебалась от 12 до 220 экз./м^2, в среднем составляя 59 экз./м^2. Средняя численность личинок не превышала 2 экз./м^2, а максимальная численность – 30 экз./м^2. По данным [15] с 2016 г. наблюдалось снижение размерно-массового состава взрослого *S. sprattus,* то есть доминирование в уловах 0-2-летнего возраста, резкое снижение 4-леток и полное отсутствие 5-леток. Тем не менее, изменение размерно-массового состава промыслового стада не оказало влияния на нерестовую активность *S. sprattus*, поскольку он достигает половой зрелости в 8-10-месячном возрасте и нерестится практически круглый год.

В последние годы исследований при благоприятных гидрологических условиях массовый нерест умеренноводных видов рыб наблюдается уже в ноябре. Так, в конце октября 2016 г. произошло резкое выхолаживание верхнего слоя моря, температура поверхности моря в ноябре уже опустилась до 10°С, что способствовал началу интенсивного и результативного нереста *S. sprattus.* Хорошая кормовая база способствовала выживанию его личинок [6]. В 2016 г. средняя численность икры *S. sprattus* уже составляла 184 экз./м^2, а личинок 11 экз./м^2.

В ноябре 2017 г. при диапазоне изменчивости температуры воды от 13,6-14,2^{o}С до 11°С гидрологический режим соответствовал заключительной фазе осеннего гидрологического сезона. Средняя численность икры *S. sprattus* уже достигала 272 экз./м^2, а личинок – до 21 экз./м^2, что соответствовало максимальным значениям за все зимние нерестовые сезоны в 1950–1970 гг. [8].

В ноябре 2022 г. у Крымского полуострова температура поверхность моря изменялась от 15 до 17°С, что соответствовало развитому осеннему гидрологическому сезону. Тем не менее, нерест

S. sprattus был уже достаточно интенсивный. Максимальная численность икры достигала 164,5 экз./м^2. Средняя численность икры на шельфе составляла 16,8 экз./м^2, а в глубоководных участках исследований – 3,9 экз./м^2. Однако, поскольку температура воды превышала оптимальные показатели для нормального развития икры *S. sprattus*, личинки в пробах отсутствовали.

В декабре 2022 г. при диапазоне изменчивости температуры моря от 13,5-14°С до 11-12,5^{o}С. все еще наблюдалась заключительная фаза продолжительного осеннего гидрологического сезона.

Таким образом, аномально продолжительный осенний гидрологический сезон продолжался с 2 декады сентября до конца декабря. В районе исследований наблюдался нерест 5 видов умеренноводных рыб из 4 семейств – типичных представителей зимнего нерестового сезона. Средняя численность икры составляла 106,55 экз./м^2, а личинок – 4,12 экз./м^2. Доминировали икра и личинки *S. sprattus*, доля его икры составляла 97,5, а личинок 90,2% от общей численности соответственно. Численность икры шпрота колебалась от 2,4 до 1293,5 экз./м^2 и в среднем составляла около 104,13 экз./м^2. Численность личинок колебалась от 0 до 20,8 экз./м^2 и в среднем составляла 3,9 экз./м^2. Эффективность нереста шпрота составила 3,7%.

При позднем наступлении весеннего гидрологического сезона, результативный нерест *S. sprattus* пролонгируется и на весенние месяцы. Так, его массовый результативный нерест наблюдался в весенний сезон 2016, 2017 и 2019 гг. Максимальная численность икры достигала 224 экз./м^2, а личинок – 116 экз./м^2 [5]. Заключительная фаза продолжительного зимнего гидрологического сезона наблюдалась и в апреле 2022 г. Температура поверхности воды в море в среднем составляла 11°С. В районе исследований продолжался результативный нерест *S. sprattus*. Средняя численность его икры составляла 104 экз./м^2, а личинок – 3,9 экз./м^2.

1.4. Заключение

Исследования ихтиопланктона прибрежных и открытых вод Черного моря, прилегающих к берегам Крыма и Кавказа, в период с 2016 по 2022 гг. выполнены в условиях климатических изменений гидрологического режима Черного моря и его отдельных акваторий. Отмечены увеличение температуры деятельного слоя, фактическая деградация «классического» холодного промежуточного слоя, осолонение вод, структурные изменения в сезонном проявлении ОЧТ, региональных прибрежно-шельфовых динамических образований (квазистационарных антициклонических вихрей, прибрежных апвеллингов, вихревых диполей).

Изменения в гидрологическом режиме Черного моря привели к временным сдвигам параметров гидрологических сезонов, и соответственно в биологических циклах отдельных видов рыб: фенологии нереста, региональной и синоптической изменчивости активности процесса, существенной временной неоднородности распределения ихтиопланктона. Повышение температуры воды свыше оптимальных значений как для умеренноводных, так и тепловодных видов рыб приводит к безрезультативности их нереста. В летний нерестовый сезон активная ветро-волновая деятельность (шторм) не только замедляет процесс вертикальной стратификации вод летнего типа, но и вызывает гибель выметанной икры тепловодных рыб, а сопутствующий апвеллинг снижает температуру воды до показателей, не благоприятных для нереста. В последние годы отмечается снижение размерно-массовых характеристик личинок тепловодных и умеренноводных видов рыб, как при выклеве, так и при переходе на смешанный и внешний типы питания, что связано с сокращением продолжительности их эмбрионального и постэмбрионального развития с повышением температуры воды в море.

Тем не менее, как показали ихтиопланктонные исследования в различные гидрологические сезоны, климатические изменения в целом, не оказали существенного влияния на видовой состав и нерестовую активность, как теплолюбивых, так и умеренноводных видов рыб, которые достоверно размножаются в Черном море. Так, количество видов и численность икры и личинок рыб оказались вполне сопоставимы с периодом климатической стабильности 1960-1980х гг. XX в., а количественные характеристики ихтиопланктона основных промысловых видов (*Engraulis encrasicolus, Trachurus mediterraneus, Sprattus sprattus*), в разгар их нереста даже превысили зафиксированные в середине прошлого столетия.

В летний нерестовый сезон региональные условия прогрева верхнего слоя моря и формирования вертикальной термической стратификации летнего типа в начальной фазе летнего гидрологического сезона являются основными лимитирующими факторами результативности нереста. Сезонное ослабление ОЧТ способствует активизации прибрежно-шельфовых антициклонических

вихрей и активному водообмену прибрежно-шельфовых вод с глубоководными участками моря, а также формированию устойчивых зон с благоприятными термодинамическими и кормовыми условиями для эффективного нереста и выживания личинок рыб. Если в 1950-70 гг. количество видов личинок рыб снижалось от прибрежных районов к открытым водам шельфа, то в последние годы оно оказалось вполне сопоставимым.

Полученные данные позволяют предположить, что изменения гидрологического режима Черного моря благоприятно сказываются на нерестовой активности умеренноводного европейского шпрота *S. sprattus*. Расширяются сроки его результативного нереста на осенний и весенний гидрологические сезоны. Произошло увеличение как средней, так и максимальной численности его икры и личинок в ихтиопланктоне. Снижение размерно-массового состава взрослого *S. sprattus,* отмеченные с 2016 г., не оказало влияния на его нерестовую активность, поскольку *S. sprattus* достигает половой зрелости в 8-10-месячном возрасте и нерестится практически круглый год. Увеличение численности *S. sprattus* способствует миграции и адаптации к новым условиям обитания умеренно-водных средиземноморских хищников из отряда Gadiformes: *Trisopterus luscus* (Linnaeus 1758) из сем. Gadidae; *Molva macrophthalma* Rafinesque, 1810 из сем. Lotidae и *Merluccius merluccius* (Linneus, 1758) из сем. Merlucciidae. Появление в ихтиопланктоне Черного моря их разновозрастных личинок, свидетельствует о благоприятных условиях, как для нереста, так и выживания на ранних стадиях развития.

Таким образом, изменение гидрологического режима Черного моря в летний и зимний нерестовый сезоны пока не оказывает существенного влияния на видовое разнообразие и численность ихтиопланктона как тепловодных, так и умеренноводных видов рыб, поскольку для большинства видов рыб черноморской ихтиофауны характерно порционное икрометание. Порционное икрометание является эффективным приспособлением для увеличения плодовитости рыб и их адаптации к изменению условий обитания. При наступлении благоприятных гидрологических условий происходит быстрое созревание очередной порции икры, что приводит не только к возобновлению нереста умеренноводных и тепловодных видов рыб, но и пролонгированию, как летнего, так и зимнего нерестовых сезонов на осеннее и весеннее межсезонье.

Работа выполнена по темам: госзадания № 121030100028-0 «Закономерности формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна и других районов Мирового океана» и № 121030300149-0 «Исследование механизмов управления продукционными процессами в биотехнологических комплексах с целью разработки научных основ получения биологически активных веществ и технических продуктов морского генезиса».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Структура вод в зоне Основного Черноморского течения весной и летом 2017 г. (94-й, 95-й рейсы НИС “Профессор Водяницкий”) / Ю.В. Артамонов, А.В. Федирко, Е.А. Скрипалева и др. // Экол. безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. − 2019. − № 1. − С. 16-28.

2. Белокопытов В.Н. Климатические изменения гидрологического режима Черного моря: автореф. дис. … д-ра геогр. наук. – Севастополь, МГИ, 2017. − 42 с.

3. Павловская Р.М. Основные причины колебаний урожайности поколений черноморской хамсы // В сб. НТИ (ВНИРО). – 1963. – Вып. 9. – С. 23-35.

4. Klimova T.N., Podrezova P.S. Seasonal distribution of the Black Sea ichthyoplankton near the Crimean Peninsula // Regional studies in Marine Science. − 2018. − V. 24. − P. 260-269.

5. Klimova T., Vdodovich I., Podrezova P. Ichthyoplankton of the shelf and deepwater areas of the north and northeast of the Black Sea in the spring season // Turk. J. Fish. & Aquat. Sci. − 2021. − V. 5. − P. 255-263.

6. Влияние некоторых абиотических и биотических факторов на нерест европейского шпрота *Sprattus sprattus* (Linnaeus, 1758) в Черном море в ноябре 2016−2017 гг. / Т.Н. Климова, И.В. Вдодович, Б.Е. Аннинский, А.А. Субботин и др. // Журнал Океанология. − 2021. − Т. 61. − №1. − С.67-78.

7. Ихтиопланктон Черного моря в начале летнего нерестового сезона 2018 г. / Т.Н. Климова, П.С. Подрезова, А.А. Субботин, И.В. Вдодович и др. // Водные ресурсы. − 2022. − Т. 49. − № 3. − С. 351-360.

8. Дехник Т.В. Ихтиопланктон Чёрного моря. − Киев: Наук. думка, 1973. − 234 с.

9. Дука Л.А., Синюкова В.И. Руководство по изучению питания личинок и мальков морских рыб в естественных и экспериментальных условиях / − Киев: Наук. думка, 1976. − 133 с.

10. Морской портал. Архив данных по Черному морю // Электрон. дан. Режим доступа URL: http://dvs.net.ru/mp/data/main_ru.shtm/ (дата обращения 01.06.2023).

11. Расс Т. С. Современное представление о составе ихтиофауны Черного моря и его изменениях // Вопросы ихтиологии. − 1987. − Т. 27. − № 2. − С. 179−187.

12. Овен Л.С. Особенности оогенеза и характер нереста морских рыб. – Киев.: Наук. думка, 1976. − 132 с.

13. Климова Т.Н. Динамика видового состава и численности ихтиопланктона Черного моря в районе Крыма в летний период 1988-1992 гг. // Вопросы ихтиологии. – 1998. − Т. 38. − № 5. – С. 669-675.

14. Световидов А.Н. Рыбы Черного моря. − М.-Л.: Наука, 1964. – 551 с.

15. Промыслово-биологические показатели рыболовства для важнейших распределенных запасов водных биоресурсов Черного моря как основа их регионального оценивания / В.А. Шляхов, О.В. Шляхова, В.П. Надолинский, О.А. Перевалов // Водные биоресурсы и среда обитания. – 2018. − Т. 1. − № 1. − С. 86-103.

16. Распределение ихтиопланктона в связи с особенностями гидрологического режима у берегов Крыма (Черное море) в весенне-летний сезон 2017 г. / Т.Н. Климова, И.В. Вдодович, А.А. Субботин, Загородняя Ю.А., Подрезова П.С. Гарбазей О.А. // Вопросы ихтиологии. − 2021. − Т. 61. − № 2. − С. 194-204.

17. Черноморский ихтиопланктон в период массового нереста теплолюбивых рыб. / Т.Н. Климова, А.А. Субботин, П.С. Подрезова, С.В. Куршаков // Океанология. – 2022. − Т. 62. − № 4. − С. 598-610.

18. Состояние ихтио-, мезо- и макропланктонных комплексов у Крымского полуострова (Чёрное море) в связи с особенностями гидрологического режима в октябре 2016 г. / Т.Н. Климова, Б.Е. Аннинский, А.А. Субботин, И.В. Вдодович и др. // Морской биологический журнал. − 2023. − Т. 8. − № 2. − С. 55-73.

DYNAMICS OF SPECIES COMPOSITION AND ABUNDANCE OF ICHTHYOPLANKTON DUE TO THE PECULIARITIES OF THE HYDROLOGICAL REGIME OF THE BLACK SEA IN 2016–2022

[1]Klimova Tatiana Nikolaevna, PhD of biological sciences, senior researcher
[2]Subbotin Alexander Anatolyevich, PhD of geographical sciences, senior researcher
[3]Vdodovich Irina Vyacheslavovna, PhD of biological sciences, senior researcher
[4]Zabrodin Dmitry Alexandrovich, lead engineer

[1,2,3,4]A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS
e-mail: [1]tnklim@mail.ru

The eggs and larvae of 68 fish species from 34 families were identified in 2016–2022 in the ichthyoplankton of the northern half of the Black Sea. Shifts in the timing of mass spawning were noted, as well as prolongation of the summer and winter spawning seasons for the autumn and spring off-season, depending on the peculiarities of the hydrological regime. The main limiting factors of the spawning effectiveness and fish survival in the early stages of development remain optimal temperature conditions during embryonic and postembryonic development and food supply of the larvae.

УДК 595.384.12

БИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ И СОСТАВ ПИЩИ У КРЕВЕТКИ *SPIRONTOCARIS MURDOCHI* (RATHBUN, 1902) ИЗ САХАЛИНСКОГО ЗАЛИВА (ОХОТСКОЕ МОРЕ) В АВГУСТЕ 2016 ГОДА

Кобяков Кирилл Александрович, аспирант 3 курса

Калининградский государственный технический университет,
Калининград, Россия, e-mail: kir.321@mail.ru

Описаны биологическое состояние и состав пищи креветки Spirontocaris murdochi Rathbun, 1902. Собран материал в августе 2016 года в Сахалинском заливе (Охотское море), (54°23′ – 54°28′с.ш., 140°53′ – 141°08′в.д., на глубине 63 м) (75 особей, 50 из них с пищей, а 13 с полным желудком). Самки креветок несли на плеоподах только что отложенные яйца или же готовились к нересту. Это говорит о том, что в данный период у креветок проходит нерест, как раз в то время, когда температура воды максимально тёплая от 10 до 18 °С. По большей части креветка питается детритом и фораминеварими. Можно предположить, что S. murdochi – детритофаг и отчасти собиратель.

Введение

Креветка *Spirontocaris murdochi* занимает важное положение в экосистеме Сахалинского залива (Охотское море), так как, хотя она и не используют в промысле, но часто встречаются в качестве прилова [1]. Она широко распространена на шельфе, встречаясь от уреза воды до нижней границы кромки шельфа (400 м) [2].

Изучение биологии и трофологии гидробионтов, нужно для изучения жизненных циклов и экологии видов, а также правильного использования запасов промысловых объектов в хозяйственной деятельности.

Исследования креветок из этих вод ведутся давно, но биология и состав пищи у них практически не изучены. Половозрелые особи *S. murdochi* собраны в Сахалинском заливе, летом (август 2016 г). Их биология изучена слабо, а в арктических морях России не изучена вообще.

В задачи исследования входило:

1. Описание биологического состояния креветки из Сахалинского залива.
2. Исследование состава пищи этого и определение его типа питания.

Работа выполнена в рамках (1) инициативно-поисковых (фундаментальной и прикладной) научно-исследовательских работ кафедры Водные биоресурсы и аквакультуры по теме: “Эколого-фаунистическая характеристика гидробионтов из водоемов Калининградской области и некоторых районов Мирового океана” Рег. № 13.13.036.2 и (2) инициативно-поисковых (фундаментальной и прикладной) научно-исследовательских работ Научно-образовательного центра им. профессора Н.С. Гаевской по теме: “Систематика, зоогеография и экология ракообразных Мирового океана” Рег. № 13.13.029.2.

Материал и методика

Материал собирал научный сотрудник ВНИРО Сергей Евгеньевич Аносов в Сахалинском заливе летом (август 2016 года), 54°23′ – 54°28′с.ш., 140°53′ – 141°08′в.д., на глубине 63 м. Всего было исследовано 75 экземпляров креветок *S. murdochi*, из них 50 креветок имели в желудках пищу, а 13 были полными.

Орудие лова – донный трал. Креветки были зафиксированы в 4% растворе формалина.

Биологический анализ креветок происходил по методике Р.Н. Буруковского [3]. Измерение длины креветки от заднего края орбит до конца хвостового отдела, для установки пола креветки нужно определить есть или нет на эндоподите вторых плеопод appendix masculina. У самок устанавливается стадия зрелости гонад. У яиц при их нахождении определяется стадия эмбрионального развития. У самок стадии зрелости определяли по пятибалльной шкале с I по V.

Чтобы определить стадию эмбрионального развития использовалась пятибалльная шкала [4].

Плодовитость у исследуемых креветок определялась прямым подсчетом яиц.

Методика Р.Н. Буруковского используется при исследовании трофологии креветок [5].

Желудок после извлечения из креветки вскрывается. В первую очередь устанавливается степень наполнение желудка пищей по четырехбалльной шкале.

В неполных желудках устанавливается только состав съеденного. Для полных желудков, помимо состава съеденного, определяются объекты пищевого комка с точностью до 10%. Пищевые и не пищевые компоненты пищевого комка, составляющие менее 10% от его объема, просто перечислялись. После подсчитывается частота встречаемости и коэффициент Фроермана [5]. Для его получения суммируются все частоты встречаемости пищевых объектов, и эта сумма делится на 100.

Исходя из результатов, полученных от анализа полных желудков мы рассчитывали реконструированный усредненный (виртуальный) пищевой комок (то есть средняя доля каждого компонента пищевого комка в его объеме, выраженная в процентах) [5]. Все компоненты пищевого комка, найденные в желудке поддающееся подсчету и измерению, пересчитывались и измерялись.

Компоненты пищевого комка – это живые, и неживые остатки, встреченные в желудках. Пищевые объекты используются креветкой непосредственно в качестве пищи.

Определение таксономической принадлежности по их остаткам производилась с точностью до класса или отряда, в некоторых случаях до типа. Так как креветка сильно измельчает пищу, то более точное определение до таксона невозможно. Кроме того, в методике, используемой при исследовании на первом месте, стоит определение жертвы к определенной жизненной форме (пелагическая, донная, сидячая, зарывающаяся и.т.п.). При исследовании использовался окуляр-микрометр бинокулярной лупы. Также необходимо часто реконструировать размеры добычи, так как креветка сильно измельчает ее.

Описание содержимого желудков включает в себя три этапа: 1– описание остатков даёт возможность определить способ потребления пищи и ее состояние; 2 –частота встречаемости определятся во всех желудках с пищей; 3 – объемные соотношения пищевых компонентов в полных желудках позволяют реконструировать виртуальный пищевой комок и появляется возможность оценить место каждого пищевого объекта в питании креветки.

Результаты

Размерная и репродуктивная характеристика *S. murdochi*

Длина исследованных креветок начинается от 34 мм, самая крупная особь имеет размеры тела 47 мм (рис. 1 А). Самки составляют 100%, самцов в пробе нет.

Самки без яиц (47%) со II стадией зрелости гонад имеют общую длину от 35 до 46 мм. с тремя пиками, наибольший у креветок с размерами 44 мм. Самки без яиц (34%) с V стадией зрелости гонад имеют общую длину от 33 до 47 мм. с двумя пиками, наибольший у креветок с размерами 43 мм (рис. 1 Б).

14 самок, что составляет 19% от исследованных креветок несут на плеоподах только что отложенные яйца в 1 стадии эмбрионального развития (рис. 1 Г). Можно предположить, что в августе 2016 г. в Сахалинском заливе часть креветок *S. murdochi* только что отнерестилась, а большая часть – готовится к нересту. Количество яиц при подсчёте составляет от 29 до 307. Чаще всего размеры яиц были в диапазоне от 1,1, а малый – 0,8 мм.

Рис. 1. А – Длина креветок S. murdochi в Сахалинском заливе в августе 2016 г. (1 – самки); В – состояние гонад у самок; Г – стадия эмбрионального развития яиц. Б – Репродуктивная характеристика S. murdochi в Сахалинском заливе в августе 2016 г. (1 – самки без яиц со II стадией зрелости гонад, 2 – самки без яиц с V стадией зрелости гонад, 3 – самки с яйцами)

Питание *S. murdochi*

У большей части креветок пищи в желудке мало или совсем нет. Низкую интенсивность питания можно объяснить тем, что летнее время года креветки нерестятся.

Рис. 2. Интенсивность питания S. murdochi

Почти во всех желудках креветок обнаружен детрит в виде рыхлой массы сероватого цвета. Его частота встречаемости составляет 96%.

Далее идут Foraminifera (68%). Выделяются два вида, которые были почти в каждом желудке: *Elphidium arcticum* (от 0,3 до 1 мм) и *Nonion stelligerum* с размерами от 0,2 до 0,6 мм, а также *Cibicides lobatulus* – размером 0,5 мм.

Песок находится на третьем месте (18%), имеет размеры от 0,25 до 0,3 мм, т.е относятся к разрядам мелких и средних песков [6]. В одном желудке был “булыжник” размером 1,8 на 1,3 мм.

Bivalvia (10%) представлена видом *Dacrydium vyrteum* (?) размером 0,7 на 0,4 мм. Взрослые имеют размеры 7.2 х 5.0 х 4.3 мм, т.е. креветка питалась молодью этого вида.

Неопределённые остатки встречаются с частотой 8%.

Остальные объекты второстепенные. К ним относятся:

– Cumacea, хвостовая часть, вид определить невозможно

– Обрывки водорослей
– Субстрат
– Фасетчатый глаз

Таблица 1

Состав пищи у креветки *S. murdochi*

Объекты питания	Частота встречаемости, %	Доля в виртуальном пищевом комке, %
Детрит	96	71,5
Foraminifera	68	28,5
Песок	18	–
Bivalvia	10	–
Cumacea (?)	2	–
Неопределённые остатки	8	–
Обрывки водорослей	2	–
Субстрат	2	–
Фасетчатый глаз	2	–
Объем материала (всего желудков)	75	50
Коэфф. Фроермана	1,82	

Коэффициент Фроермана равен 1,82.

В большинстве желудков доминировал детрит (71,5%), Foraminifera занимает 28,5%. объема. Это значит, что *S. murdochi* является детритофагом и отчасти пасущимся хищником, специализирующимся на фораминиферах (по крайней мере в период сбора материала).

Обсуждение

Креветка, описываемая нами, собрана в Сахалинском заливе. Креветки были пойманы летом в августе. Их биология изучена слабо, а в арктических морях России не изучена вообще.

В августе 2016 г. в Сахалинском заливе у исследованных нами видов наблюдался нерест. На это указывает тот факт, что часть особей имеет на плеоподах яйца (первая стадия эмбрионального развития). Как раз в это время температура воды была максимально тёплая.

По частоте встречаемости можно увидеть, что доминирует детрит. Foraminifera у *S. murdochi* более чем в 50% случаев (68%), а это значит, что форамениферы относятся к основным объектам питания. Двустворчатые моллюски встречаются у *S. murdochi* в 10%. Песок, а также неопределённые остатки присутствуют в небольших количествах.

Доля в виртуальном пищевом комке у исследуемого вида по детриту отличается более чем на 20%, но также доминирует (71,5%).

Данных по креветке вида *S. murdochi* мало. Если делать вывод по нашим исследованиям, то в большинстве желудков доминировал детрит (71,5%), Foraminifera занимает 28,5%. Это значит, что *S. murdochi* является детритофагом и отчасти собирателем.

Благодарности

Выражаю огромную благодарность сотруднику ВНИРО Сергею Евгеньевичу Аносову за сбор материала и предоставление его для исследования. А также своему научному руководителю Буруковскому Рудольфу Николаевичу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блохин И.А. Непромысловые ракообразные северной части Западно-Камчатского шельфа в 2013-2014 гг // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. – 2017. – № 46. – С. 31–41.

2. Соколов В.И., 2001. Десятиногие ракообразные (Crustacea Decapoda) евразийских морей полярного бассейна. М.: Всероссийский научно–исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии ВНИРО. 344 с.

3. Буруковский Р.Н. Методика биологического анализа некоторых тропических и субтропических креветок // Промыслово-биологические исследования морских беспозвоночных. М.: ВНИРО, 1992. – С. 77–84.

4. Буруковский Р.Н. О биологии креветки *Acanthephyra purpurea* A. Milne-Edwards, 1881 (Decapoda, Natantia, Oplophoridae) // Бюлл. Моск. о-ва исп. природы. Отд. биол. Т. 103 № 6. 1998. С. 77 – 84.

5. Буруковский Р.Н. Питание и пищевые взаимоотношения креветок. Калининград: Издательство ФГОУ ВПО «КГТУ», 2009. 408 с.

6. Петелин В.П. Гранулометрический анализ морских донных осадков. М.: Наука, 1967. С. 11.

BIOLOGICAL STATE AND FOOD COMPOSITION OF THE SHRIMP SPIRONTOCARIS MURDOCHI (RATHBUN, 1902) FROM THE SAKHALIN BAY (SEA OF OKHOTSK) IN AUGUST 2016

Kobiakov Kirill Alexandrovich, 3rd year postgraduate student

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia, e-mail: kir.321@mail.ru

The biological state and food composition of the shrimp Spirontocaris murdochi Rathbun, 1902 are described. The material was collected in August 2016 in the Sakhalin Bay (Sea of Okhotsk), (54°23 – 54°28c.w., 140°53 – 141°08c.d., at a depth of 63 m) (75 individuals, 50 of them with food, and 13 full stomachs). Female shrimp carried newly laid eggs on pleopods or were preparing for spawning. This suggests that during this period, the shrimp are spawning, just at a time when the water temperature is as warm as possible from 10 to 18 °C. For the most part, the shrimp feeds on detritus and foraminevari. It can be assumed that S. murdochi is a detritophage and partly a collector.

УДК 639.517

КОМБИКОРМА КАРДИОПРОТЕКТОРНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ОСЕТРОВЫХ РЫБ

[1]Лагуткина Лина Юрьевна, д-р с.-х. наук, доцент, профессор кафедры аквакультуры и водных биоресурсов
[2]Хамад Хаидер Аббас, аспирант кафедры аквакультуры и водных биоресурсов
[3]Мартьянов Александр Сергеевич, канд. биол. наук, доцент кафедры гидробиологии и общей экологии
[4]Нгуен Тхи Хонг Ван, канд. с.-х. наук, доцент кафедры аквакультуры и водных биоресурсов
[5]Кузьмина Евгения Германовна, канд. биол. наук, доцент, доцент кафедры прикладной биологии и микробиологии

[1,2,3,4,5]Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, e-mail: [1]lagutkina_lina@mail.ru

Задача интенсификации роста культивируемых видов рыб, являясь первоочередной для аквакультуры, тем не менее должна совмещаться с созданием условий, в том числе в части рациона, способствующих сохранению здоровья особей на протяжении периода выращивания. Особенно важно уделять внимание технологиям и подходам, предотвращающим ухудшение состояния сердечно-сосудистой системы. Несоблюдение этого принципа может при формально высоких достигнутых показателях прироста приводить к увеличению потерь в рыбоводных хозяйствах.

Введение

В настоящее время в рыбохозяйственной отрасли накоплен большой опыт применения различных рецептур комбикормов для ценных видов рыб, в отношении которых освоены процессы искусственного выращивания и разведения (разработаны нормативы, методики и т.д.), в том числе с целью получения товарной рыбной продукции.

Несмотря на значительное количество достаточно эффективных рецептур кормов, большая их часть обладает также существенными недостатками (побочными эффектами). К их числу можно отнести, например, широкое распространение добавления повышенного содержания поваренной соли в комбикорма для увеличения темпов роста, что приводит к снижению рефлекса насыщения, к постоянному потреблению пищи и максимизации пика пищевой активности, а это, в свою очередь, способствует возникновению нарушений в работе сердечно-сосудистой системы рыб в процессе быстрого роста, а также возникновению ряда различных физиологических осложнений и в итоге к повышению потерь хозяйств при выращивании. Особенно велика цена таких потерь для рыбоводных предприятий, осуществляющих выращивание дорогих в культивировании (и продолжительных по срокам развития) хозяйственно ценных видов рыб (осетровых).

Одним из решений проблем, возникающих при выращивании рыб в условиях аквакультуры и связанных с ухудшением состояния сердечно-сосудистой системы (и, как следствие, приводящих к общему снижению эффективности процесса выращивания и повышению доли отхода особей), может стать внедрение в рецептуры производимых кормов специальных компонентов – кардиопротекторов, действие которых направлено на повышение резистентности сердечно-сосудистой системы выращиваемых рыб при воздействии неблагоприятных факторов. Помимо упомянутого выше повышенного содержания хлорида натрия это и неизбежный при искусственном выращивании хендлинг (ручные манипуляции) и вероятный тепловой шок (особенно в случае выращивания в прудах) [1-4], приводящие к учащению частоты сердечных сокращений, аортального давления, увеличению систолического объема и сердечного выброса [5-9], и, как следствие, кардиосоматического индекса.

В целом, при достаточно высоком общем технологическом уровне производственного процесса выращивания осетровых (рециркулятивные аквакультурные системы, установки замкнутого водоснабжения и т.д.) физиологический фактор питания остается недооцененным с точки зрения потенциала повышения продуктивности процесса выращивания посредством снижения стресс-факторов, улучшения здоровья и, как следствие, сокращения потерь и издержек производства.

На сегодняшний день необходима разработка новых рецептур комбикормов, обладающих свойствами поддержания нормального физиологического статуса сердечно-сосудистой системы осетровых рыб в условиях вероятного воздействия неблагоприятных факторов при товарном выращивании, а также поиск таких компонентов естественного растительного происхождения, которые могли бы быть внедрены в рецептуры комбикормов, не проходя процессов глубокой переработки и в относительно небольшой концентрации, что не снижало бы питательных свойств таких кормов, вместе с тем дополняя их продуктивное действие кардиопротекторным эффектом, способствуя сохранению нормального физиологического состояния организма. В качестве компонентов с потенциально возможным благоприятным эффектом воздействия в качестве кардиопротектора можно отметить ряд веществ натурального происхождения.

Согласно литературным данным, барбарис содержит витамины (А, С, Е, группы В), каротин, алкалоиды, пектины, танин, углеводы (фруктозу, глюкозу, сахарозу, клетчатку), органические кислоты (винную, яблочную, лимонную), дубильные вещества, эфирные масла. Из 22 алкалоидов, входящих в состав ягод, наиболее ценны берберин и бербамин, которые благодаря желчегонному действию облегчают работу желчного пузыря и печени. Барбарис важен для кровеносной системы: его воздействие понижает артериальное давление; нормализует сердечный ритм; повышает свертываемость крови; укрепляет стенки капилляров и останавливает кровотечения; растворяет холестериновые бляшки [10]; предотвращает возникновение сердечно-сосудистых заболеваний. Также особое внимание обращает на себя такое вещество, как *берберин* [5], которое содержится в большом количестве в барбарисе. Берберин способствует понижению давления и нормализует ритм сердечных сокращений. Наряду с противовоспалительным и антипролиферативным, берберин обладает также антигипертензивным действием [6]. Результаты исследований показали, что берберин предотвращает сердечную недостаточность, снижает уровень холестерина, повышает резистентность к стрессу [11-12]. Добавление бер-

берина в комбикорма рыб в соотношении 50 мг/кг значительно повысило темп роста леща, при этом иммунологические показатели оказались выше, чем у рыб, потреблявших комбикорм с высоким содержанием жиров [6]. Также для профилактики и вспомогательной терапии артериальной гипертензии применяется препарат [13], основанный на использовании водно-спиртового поликомпонентного экстракта, в состав которого входит 21 фитокомпонент. Хорошо зарекомендовал себя препарат-заменитель соли – надземная часть и корни растения солерос – в качестве продукционного комбикорма для осетровых рыб для решения задач нормализации состояния сердечно - сосудистой системы в период интенсивного роста [14] и для пресноводной креветки, как наиболее привлекательный, обладающий солоноватым вкусом [15].

Исходя из вышеизложенного было решено среди перечисленных компонентов исследовать действие берберина содержащегося в составе барбариса в качестве компонента комбикормов, что определило цель настоящего исследования – изучить возможность оптимизации процесса выращивания на основе кормовых рецептур с искомым компонентом-кардиопротектором барбарис обыкновенный (*Berberis vulgaris* L.) и изменения состояния сердечно-сосудистой системы стерляди (*Acipenser ruthenus*) при использовании такого комбикорма. Актуальность исследования обусловлена необходимостью создания эффективных кормов с включением компонентов, обладающих кардиопротекторным действием.

1.1 Материалы и методы

Экспериментальная работа по исследованию эффективности нового корма с включением кардиопротектора осуществлялась в летний период 2022 года. В качестве объекта исследований служили особи стерляди *Acipenser ruthenus* массой до 90 г, которые содержались в рыбоводных емкостях объемом рыбоводной части 400 л., при разреженной плотности посадки. Содержание кислорода в воде составляло 8,0 мг/л, температура воды –24 – 25° С при расходе воды 2 л/мин.

На протяжении всего периода содержания экспериментальных групп проводили мониторинг параметров среды общепринятыми гидрохимическими методами.

До начала эксперимента из общей выборки были случайно отобраны группа особей, для которых определены физиолого-биологические показатели, а также кардиосоматический индекс, затем общая выборка была разделена методом случайного отбора на контрольную и две опытные группы. Физиологический статус выращенных особей стерляди оценивали по гематологическим и биохимическим показателям, проводя биохимический анализ крови по общепринятым методикам, отбор проб методом случайной выборки проводился in vivo по рекомендациям, с соблюдением правил асептики и антисептики. Адаптивная реакция организма на кормление оценивалась по анализу рыбоводно-биологических и физиолого-биохимических показателей состава крови, изменению кардиосоматического индекса, относительной массы сердца. Используя предварительно определенные размерно-весовые показатели, вычисляли ряд производных характеристик и коэффициентов.

Вычисление абсолютного прироста проводили по формуле (1):

$$P_{аб} = m_к - m_0 \quad (1)$$

где $m_к$ – конечная масса, г; $m_о$ – начальная масса, г.

Среднесуточный прирост по формуле (2):

$$P_{ср} = P_{аб} / t \quad (2)$$

где $P_{аб}$ – абсолютный прирост; t – продолжительность опыта, сутки.

Среднесуточную скорость роста рассчитывали по формуле сложных процентов (3):

$$A = \left[(m_k/m_0)^{1/t}\right] * 100 \quad (3)$$

где $m_к$ – конечная масса, г; m_0 – начальная масса, г; t – продолжительность опыта, сутки.

Также рассчитывался коэффициент массонакопления ($К_м$) для наиболее точных результатов при определении скорости роста (4), обозначения аналогичны формуле (3):

$$K = \left(\left(m_k^{1/3} - m_0^{1/3}\right) * 3\right)/t \quad (4)$$

Дополнительно вычисляли коэффициент по формуле, изобретенной Фультоном (5):

$$Q_ф = W * 100 \,/\, I^3 \quad (5)$$

где $Q_ф$ – упитанность, ед; W – масса рыбы, г; l – длина рыбы, см.

Кормовые затраты – это общее количество корма, внесенное в емкость для выращивания. Кормовой коэффициент ($К_к$) – это количество внесенного корма, отнесенное к приросту массы тела рыб, с учетом выживаемости за период выращивания. Величина его для различных кормов устанавливается опытным путем. Вычисление кормового коэффициента проводится по формуле (6):

$$K_к = C^к/(M_1 - M_0) \quad (6)$$

где $C^к$ – количество съеденного корма, г(кг); M_0 – масса рыб на момент начала кормления, г(кг); M_1 – масса рыб в конце кормления г(кг).

Кардиосоматический индекс рыб (I, ‰) рассчитывали по формуле (7):

$$I = (x/y) * 1000 \quad (7)$$

где x – вес сердца, y – общий вес рыбы (г).

Выращивание производили на комбикормах собственной рецептуры, по схеме: контроль – опыт 1 – опыт 2 на протяжении 30 суток с момента начала кормления тремя вариантами комбикорма.

В состав рецептур входили следующие компоненты: рыбная мука, жмых тыквенный, соевая мука, дрожжи кормовые, овсяная мука, кукуруза, пшеница, премикс, рыбий жир. Дополнительно комбикорм содержал барбарис, при следующем содержании компонента, мас. %: опыт 1 – 1%, опыт 2 – 3%.

Разрабатываемый новый комбикорм изготовляли известным способом влажного прессования. Компоненты комбикорма в указанном процентном соотношении согласно рецептуре, смешивались и высушивались (сохраняя питательную ценность), после чего высушенная масса подвергалась дроблению и сушке. Готовые гранулы размером 2,5-3,0 мм хранили в холщовом мешке.

Статистическую обработку полученных результатов проводили методом вариационной статистики с использованием программы «Microsoft Excel 2016». Для вычисления доверительного интервала пользовались распределением Стъюдента, для оценки достоверности различий между средними выборочными значениями использовался t-критерий по Стьюденту, достоверными считались различия показателей при $p < 0{,}05$.

1.2. Результаты исследований

Разработка нового комбикорма оказалась довольно успешна по итогам сравнения с результатами измерений в контрольной группе, в результате исследований установили положительную динамику, которая определила высокие показатели темпов роста стерляди, что выражалось в увеличении прироста массы тела по сравнению с контрольным вариантом в 1,4 раза с единовременным снижением кормового коэффициента на 11% (табл. 1), а также улучшением ряда рыбоводно-биологических показателей (накопление массы и выживаемости).

Таблица 1

Рыбоводно-биологические показатели выращивания стерляди

Показатели	контроль	опыт 1	опыт 2
Масса начальная	85,51±6,54	87,58±1,94	78,00±4,59
Масса конечная, г	90,5±7,9	93,3±4,7	87,5±5,3
Абсолютный прирост, г	4,99	5,72	9,5
Среднесуточный прирост, г	0,17	0,19	0,32
Среднесуточная скорость роста, %	0,19	0,21	0,38
Коэффициент упитанности, по Q	0,3	0,31	0,3
Коэффициент массонакопления, ед	0,0084	0,0095	0,0167
Масса сердца, мг	0,170±0,026	0,137±0,024	0,115±0,024*
Кардиосоматический индекс, ‰	1,88	1,47	1,31
Кормовой коэффициент	2,62	2,56	2,34
Выживаемость, %	100	100	100
Продолжительность опыта, сут.	30	30	30
Физиолого-биохимические показатели выращивания стерляди			
Показатели	**контроль**	**опыт 1**	**опыт 2**
Гемоглобин, г/л	59,75±11,88	58,40±11,72	59,75±9,76*
Общий белок, г/л	18,35±3,8	19,43±1,58	26,80±1,98*
СОЭ, мм/ч	2,25±0,48	1,88±0,43	1,63±0,31*
Холестерин, ммоль/л	1,33±0,13	1,55±0,13	1,68±0,18*
β-липопротеиды, г/л	2,13±0,43	2,13±0,24	2,50±0,46*
Альбумин, г/л	33,38±3,03	34,78±3,61	25,88±5,27
АЛТ, мкмоль/(с×л)	0,11±0,08	0,08±0,06	0,14±0,2
АСТ, мкмоль/(с×л)	0,10±0,01	0,06±0,01	0,11±0,1

Примечание: * - различия достоверны при: $p<0,05$

Установлено, что особи стерляди второй опытной группы при активном питании разработанными комбикормами увеличили прирост на 12,17 % от первоначальной массы. Среднесуточный прирост особей в первой и второй опытных группах был превышен в 1,1 и 1,9 раза, а среднесуточная скорость роста в 1,1 и 2,0 раза в сравнении с контрольной группой.

Кормовые затраты были ниже в опытных кормах в сравнении с контролем, выживаемость во всех вариантах составила 100% (табл. 1). Основным показателем для оценки состояния сердца послужила величина кардиосоматического индекса. Необходимо отметить, что этот показатель при изменении условий среды может варьироваться в пределах до 40% [16]. Значение массы сердца варьировало, в начале эксперимента показатель составил 0,129±0,05 мг, в конце эксперимента наибольший показатель отмечен в контроле, который превысил на 0,033 мг среднее значение первой группы и на 0,055 мг второй. Исходя из полученных данных по массе сердца и общей массе рыб был рассчитан кардиосоматический индекс стерляди для выборки до начала эксперимента и для каждой из групп в его конце.

Среднее значение кардиосоматического индекса у стерляди в начале – 1,54 ‰ и в конце у первой и второй экспериментальных групп составило 1,47 и 1,31 соответственно, оказавшись по результатам эксперимента меньше на 21,8% и 30,3 % соответственно по сравнению с контролем, снижение показателя свидетельствует об улучшении состояния сердечной мышцы.

Среди биохимических показателей состояния крови уровни аминотрансфераз являются наиболее специфическими индикаторами клеточного некроза во внутренних органах, особенно в печени, сердце и почках. Аспартатаминотрансфераза (АСТ) обычно присутствует в крови в небольшой концентрации, но при заболевании или повреждении тканей органов, например, сердца или печени, в кровоток высвобождается дополнительное количество АСТ. Поэтому показатель АСТ в крови напрямую связан со степенью повреждения тканей [17-18]. В данном эксперименте уровень АСТ остался невысоким во всех группах, наиболее низкое значение АСТ было отмечено у рыб второй экспериментальной группы. Мониторинг полученных показателей крови, отобранной у особей стерляди экспериментальных группах, которых кормили разработанными комбикормами, не показал наличия заболеваний и отклонений от физиологической нормы.

У особей в экспериментальных группах наблюдалось повышение концентрации гемоглобина до 59,75 г/л, что соответствует норме. Выполняя важную дыхательную функцию, гемоглобин играет роль связующей станции в процессе дыхания и в целом жизнедеятельности гидробионтов, обеспечивая газообмен между дыхательным аппаратом и тканями, выстилающими органы. Благодаря нормальному содержанию гемоглобина в крови исключается риск гипоксии, вызванной кислородным голоданием, что в свою очередь ведет к нарушению работы сердца. Из таблицы следует, что величина СОЭ выше в контрольной группе, что говорит о вероятном протекании воспалительных процессов в организме рыб, более интенсивном у этих особей. Уровень холестерина является одним из важнейших показателей в данном эксперименте. Установлено, что в первой опытной группе отмечено снижение данного показателя до 1,65 моль/л.

Референтное значение концентрации общего сывороточного белка, гемоглобина оказалось достоверно выше в сравнении с группой контрольных особей стерляди ($p < 0,05$), что подтверждает высокий уровень резистентности на этом ответственном этапе развития организма. Показатели концентрации холестерина и β-липопротеидов у опытной группы на разработанном комбикорме были также выше, что подтверждено статистически ($p < 0,05$). Физиолого-биохимические показатели у осетровых рыб, выращенных на предлагаемом комбикорме, находились в пределах оптимальных референтных значений на протяжении периода выращивания в эксперименте.

Биохимические показатели крови особей стерляди, потреблявших предлагаемые новые комбикорма, улучшились, что подтверждает их высокое качество.

1.3. Заключение

Для рыбоводных предприятий, осуществляющих выращивание дорогих в культивировании хозяйственно ценных видов (осетровых) физиологический фактор питания и проблема повышения его эффективности становится одной из важнейших с точки зрения сокращения потерь и издержек производства. В ходе экспериментальной работы установлено, что введение в комбикорм препарата кардиопротектора барбариса обыкновенного (*Berberis vulgaris* L.), в концентрации 3% улучшает качество годовиков стерляди и обеспечивает более высокую эффективность их выращивания. На основе определения кардиосоматического индекса у выращиваемых особей стерляди показано достоверное и существенное снижение этого показателя при добавлении в комбикорм препарата барбариса, что служит доказательством значительного уровня кардиопротекторного действия указанной добавки. Изучение физиологических показателей состояния организма осуществлялось на основе измерений показателей крови и кардиосоматического индекса, которые дополняют общую характеристику отклонений в развитии или заболевания сердца, а также определяют физиологический статус рыбы. В ходе исследований установлено, что при кормлении стерляди массой 100 г норма кормления разработанным кормом составляет 4% от массы тела и при содержании в комбикорме барбариса 3,0 % обеспечивает улучшение показателей состояния сердца и может использоваться в качестве профилактического комбикорма, улучшающего ключевые хозяйственно важные признаки объектов аквакультуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Farrell A.P., Effects of temperature on cardiovascular performance, in: C.M. Wood, D.G. McDonald (Eds.), Global Warming: Implications for Freshwater and Marine Fish, Cambridge University Press, Cambridge, 1997, pp. 135-158.

2. Frederich M., Portner H.O. Oxygen limitation of thermal tolerance defined by cardiac and ventilatory performance in spider crab, Majasquinado, Am. // J. Physiol. Reg. Integr. Comp. Physiol, 2000, 279, 1531-1538.

3. Iftikar F.I., Hickey A.J.R. Do mitochondria limit hot fish hearts? Understanding the role of mitochondrial function with heat stress in Notolabruscelidotus // PLoS ONE, 2013, 8 (5), e64120.

4. Pörtner H.O. Climate change and temperature-dependent biogeography: oxygen limitation of thermal tolerance in animals, Naturwissenschaften, 2001, 88, 137-146.

5. Feng, X., Sureda, A., Jafari, S., Memariani, Z., Tewari, D., Annunziata, G., ... & Sychrova, A. Berberine // Journal in Cardiovascular and Metabolic Diseases: From Mechanisms to Therapeutics. Theranostics, 2019, 9(7), 1923-1951.

6. Chen Q.-Q., Liu W.-B., Zhou M., Dai Y.-J., Xu C., Tian H.-Y., Xu W.-N. Effects of berberine on the growth and immune performance in response to ammonia stress and high-fat dietary in blunt snout bream Megalobrama amblycephala // Fish & Shellfish Immunology, 2016, 55, 165–172. doi:10.1016/j.fsi.2016.05.023

7. Doan H. V., Hoseinifar S. H., Jaturasitha S., Dawood M. A. O., Harikrishnan R. The effects of berberine powder supplementation on growth performance, skin mucus immune response, serum immunity, and disease resistance of Nile tilapia (Oreochromis niloticus) fingerlings // Aquaculture, 2020, 520, 734927. doi:10.1016/j.aquaculture.2020.734

8. W.S. Kim, Y.S. Lee, S.H. Cha, Berberine improves lipid dysregulation in obesity by controlling central and peripheral AMPK activity // American Journal of Physiology Endocrinology and Metabolism, – 2009– 296. – p. 812-819.

9. Каппагода Чулани Тисса. Способ снижения артериального давления у индивидов с состоянием, предшествующим гипертензии, и/или у индивидов с метаболическим синдромом. Патент РФ №2427382

10. Yang, X. J., Liu, F., Feng, N., Ding, X. S., Chen, Y., Zhu, S. X., ... & Feng, X. F. *Berberine Attenuates* Cholesterol Accumulation in Macrophage Foam Cells by Suppressing AP-1 Activity and Activation of the Nrf2/HO-1 Pathway // Journal of Cardiovascular Pharmacology, 2020, 75(1). – p. 45-53.

11. Doan, H. V., Hoseinifar, S. H., Jaturasitha, S., Dawood, M. A. O., & Harikrishnan, R. The effects of berberine powder supplementation on growth performance, skin mucus immune response, serum immunity, and disease resistance of Nile tilapia (Oreochromis niloticus) fingerlings // Aquaculture – 2020 – 520, 734927. doi:10.1016/j.aquaculture.2020.734

12. W.S. Kim, Y.S. Lee, S.H. Cha, et al. Berberine improves lipid dysregulation in obesity by controlling central and peripheral AMPK activity // American Journal of Physiology Endocrinology and Metabolism – 2009 – 296. – p. 812-819.

13. Гафуров Ю.М., Мирошников Е.Г., Горовой П.Г. Препарат для оздоровления сердечно-сосудистой системы, обладающий кардиопротекторным, седативным и гипотензивным действием. Патент РФ № 2704323

14. Isyakaeva R. R., Lagutkina L. Yu., Akhmedzhanova A. B., Golubkina E.V., Kaplanov M. T., Khazova N. A. Alternative sources of aquaculture feed in the context of organic production priorities / // P2ARM 2020, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 2021, 640. – P. 062024. DOI:10.1088/1755-1315/640/6/062024 (Scopus)

15. Лагуткина Л.Ю., Кузьмина Е.Г., Ахмеджанова А.Б., Таранина А.А., Ясинский В.С., Пономарев Р.А. Фактологическое обеспечение практик повышения эффективности выращивания тропических пресноводных видов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство – 2020. – № 2. – С. 94-105.

16. Евграфова Е.М., Пятикопова О.В., Бедрицкая И.Н., Яковлева Е.П., Дубовская А.В., Тангатарова Р.Р., Перунова М.Е. Индексы физиологических признаков белуги и шипа и их межвидовых гибридов в условиях бассейнового хозяйства // Вестник Астраханского государственного технического университета // Серия: Рыбное хозяйство, 2020, № 4. – С. 154-164.

17. Dasgupta A. Liver enzymes as alcohol biomarkers. In: Alcohol and its biomarkers: clinical aspects and laboratory determination. Elsevier Inc, 2015– pp. 21-137.

18. Hastuti Sri Dwi, Subandiyono S. Aminotransferase, hematological indices and growth of Tilapia (Oreochomis niloticus) reared in various stocking densities in aquaponic systems.”, Aquaculture, Aquarium, Conservation and Legislation – International Journal of the Bioflux Society – 2020 – Vol. 13, Issue 2 – pp. 813 - 824

COMPOUND FEED WITH CARDIOPROTECTIVE ACTION FOR STURGEON FISH

[1]Lagutkina Lina Yurievna, Doctor of Agricultural Sciences, Assistant Professor, Professor of the Department of Aquaculture and Aquatic Bioresources
[2]Haider Abbas Hamad, Postgraduate Student of the Department of Aquaculture and Aquatic Bioresources
[3]Martyanov Alexander Sergeevich, Candidate of Biological Sciences, Assistant Professor of the Department of Hydrobiology and General Ecology
[4]Thi Hong Van Nguyen, Candidate of Agricultural Sciences, Assistant Professor of the Department of Aquaculture and Aquatic Bioresources
[5]Kuzmina Evgenya Germanovna, Candidate of Biological Sciences, Assistant Professor, Assistant Professor of the Department of Applied Biology and Microbiology

[1,2,3,4,5]Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia, e-mail: lagutkina_lina@mail.ru

The task of intensifying the growth of cultivated fish species, being a priority for aquaculture, must nevertheless be combined with the creation of conditions, including in terms of diet, that contribute to maintaining the health of individuals throughout the growing period. It is especially important to pay attention to technologies and approaches that prevent the deterioration of the cardiovascular system. Failure to comply with this principle may, despite the formally high growth rates achieved, lead to increased losses in fish farms.

УДК 539.512

БЫЧОК-ПЕСОЧНИК *NEOGOBIUS FLUVIATILIS* (PALLAS, 1814) КАК НОВЫЙ ВИД В ИХТИОФАУНЕ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

[1]Новожилов Олег Анатольевич, канд. биол. наук, доцент кафедры водных биоресурсов и природопользования
[2]Гулина Татьяна Сергеевна, старший преподаватель кафедры водных биоресурсов и природопользования

[1,2]Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия, e-mail: [1]oleg.novozhilov@klgtu.ru; [2]gulina@klgtu.ru

В настоящее время в мире происходит активная трансформация водных экосистем под воздействием изменения климата и расселения инвазионных видов. Одним из таких видов, активно расширяющих свой ареал, является бычок-песочник (Neogobius fluviatilis (Pallas, 1814)), нативным ареалом которого является Понто-Каспийский бассейн. В настоящее время вид широко распространился в водоемах Белоруссии, Польши, Германии и других стран Европы. С 2012 года бычок регулярно отмечается в водоемах Калининградской области, где сформировал самовоспроизводящуюся популяцию.

В настоящее время в мире происходит активная трансформация водных экосистем в том числе под воздействием изменения климата и расселения инвазионных видов. В пределах Калининградской области в настоящее время отмечено четыре представителя инвазионных видов рыб: ротан-головешка (*Percottus glenii* (Dybowski, 1877)), первая поимка которого состоялась в 1982 году [0], а устойчиво он стал попадаться в уловах с 2010 года [собственные данные, 0]; белоглазка (*Ballerus sapa* (Pallas,1814)) с 2009 года [0]; два инвазионных вида из рода Neogobius – бычок кругляк (*Neogobius melanostomus* (Pallas,1814)), регулярные поимки которого начинаются с 2002

года [0] и новый компонент, не описанный до настоящего времени, бычок-песочник (*Neogobius fluviatilis* (Pallas, 1814)), нативным ареалом которого является Понто-Каспийский бассейн.

Бычок-песочник распространился на семь стран Европы за пределами своего естественного ареала (Беларусь, Польша, Венгрия, Словакия, Сербия, Германия и Нидерланды), где был зарегистрирован в бассейнах рек верхнего Днепра, Припяти, Вислы, Западного Буга, Дуная и Рейна [0, 0, 0]. С 2012 года регулярно отмечается в водоемах Калининградской области, где сформировал самовоспроизводящуюся популяцию.

Материалом к работе послужили данные мониторинговых исследований кафедры водных биоресурсов и аквакультуры ФГБОУ ВО «КГТУ». Регулярные наблюдения во внутренних водах Калининградской области осуществляются с 1996 года. Количество обловов в период с 1996 по 2009 гг. составляло порядка 200 в год. В период с 2009 по 2023 год отмечалась интенсификация научных исследований во внутренних водоемах области, что было отражено в проведении порядка 4,5 тысяч обловов пятью видами орудий лова и в среднем составило около 500 обловов в год (таблица 1).

В Вислинском заливе обловы проводились в летний период (июнь-июль) в приустьевом районе р. Преголи. Нижнее течение реки Неман облавливалось в период с апреля по октябрь (на станциях до 80 км от устья). Обловы проводились, как в самом русле реки, так и в пойменных водоемах (затонах). Исследования в реке Преголе также проводились в нижнем ее течении, а именно от города Калининграда до г. Гвардейска (10 - 80 км от устья) и в пойменных водоемах (озера Пустое и Воронье, карьер Сокольники) в период с апреля по октябрь. В реке Дейме обловы были в верхнем (г. Гвардейск) и нижнем (г. Полесск) ее течениях.

Использовались стандартные методики сбора и обработки биологического материала [0]. Длина фиксировалась с точностью до миллиметра, масса - до грамма. Длина измерялась промысловая (до конца чешуйного покрова), масса - общая.

Первая поимка бычка-песочника отмечена на территории Калининградской области в 2012 году в восточной части Вислинского залива, в прибрежной зоне на глубинах до 1,2 метра. Вид был обнаружен на трех станциях: станция куток (около устья р.Преголи), станция СНТ Мечта (в 10 км восточнее станции куток) и станция п. Береговое (около 20 км от станции куток). В том же 2012 году была отмечена повторная поимка бычка-песочника в районе кутка (номер 2 на рис. 1).

С 2015 года песочник начинает встречаться в уловах ежегодно (табл. 1, рис.1).

Таблица 1

Размерные показатели бычка-песочника в водоемах Калининградской области

Водоем	**Данные**	**Годы**									
		2012	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**
залив Вислинский	N, шт.	18	12	-	17	-	-	-	-	-	3
	$L_{ср,}$ см	7,3	9,6	-	4,8	-	-	-	-	-	2,7
река Преголя	N, шт.	-	-	17	-	3	-	-	-	-	-
	$L_{ср,}$ см	-	-	7,2	-	5,7	-	-	-	-	-
река Неман	N, шт.	-	-	1	-	4	12	443	92	2	38
	$L_{ср,}$ см	-	-	3,3	-	2,6	4,15	4,4	3,3	7,7	5,4
река Шешупе	N, шт.	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-
	$L_{ср,}$ см	-	-	-	-	-	-	-	6,34	-	-
море Балтийское	N, шт.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	195
	$L_{ср,}$ см	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,3
Итого	экз.	18	12	18	17	7	12	443	102	2	236

Рис.1. Поимки бычка-песочника в Вислинском заливе в 2012 году:1 - куток; 2 - СНТ Мечта; 3 - п. Береговое

В 2016 году поимки вселенца были отмечены в двух водоемах – реке Преголе и реке Неман (рис. 2).

Рис.2. Поимки бычка-песочника в 2016 году:1 - р. Преголя, приустьевой участок; 2 - р. Неман, п. Ясное

Поимка бычка-песочника в р. Неман отмечена на расстоянии около 23 км от устья (устьем принято считать место впадения рукава Скирвит (Северная) в Куршский залив).

В 2017 году исследуемый вид был зафиксирован на новых станциях в Вислинском заливе, в районе устья р. Ближней (г. Мамоново) и повторная поимка в районе п. Береговое (рис. 3).

Рис. 3. Поимки бычка-песочника в 2017 году: 1- п. Береговое; 2- устье р. Ближней (г. Мамоново)

В 2018 году бычок-песочник продолжил активно расселяться, расширяя свой ареал в реках Преголя и Неман. Так в реке Преголе он был обнаружен в 16 км от устья, а в реке Неман подтверждено его обитание на станции п. Ясное, и был пойман более чем в 65 км выше по течению на станции п. Неманское (рис. 4).

Рис. 4. Поимки бычка-песочника в 2018 году: 1 - р. Преголя в 16 км от устья; 2 - р. Неман (п. Ясное); 3 - р. Неман (п. Неманское)

С 2019 года бычок-песочник отмечался на всех станциях мониторинга реки Неман в пределах Калининградской области (рис. 5).

Рис. 5. Поимки бычка-песочника в 2018 году: 1 - р. Неман (п. Русне); 2 - р. Неман (п. Ясное); 3 - р. Неман (ниже г. Советск); 4 - р. Неман (затон); 5 - р. Неман (п. Большое Село); 6 - р. Неман (п. Неманское)

С 2021 года фиксируется проникновение вселенца в р. Шешупе, где он был пойман в районе п. Лагерное (около 7 км от места впадения в р. Неман).

В 2023 году бычок-песочник были отмечен в трех водоемах: Вислинский залив (станция куток), р. Неман (станции Ясное, ниже Советска, Большое Село и Неманское) и впервые в Балтийском море на северном побережье Самбийского полуострова на нескольких станциях, представленных на рисунке 6.

Рис. 6. Поимки бычка-песочника в Балтийском море в 2023 году: 1 - станция Светлогорск; 2 - станция Заостровье; 3 - станция Куликово

В результате контрольных обловов, проведенных на западном берегу Самбийского полуострова, бычок-песочник не обнаружен.

Заключение

За 11 лет с момента первой поимки бычок-песочник *Neogobius fluviatilis* (Pallas, 1814) на территории Калининградской области натурализовался и образовал самовоспроизводящуюся популяцию в водоемах области. Он отмечен в солоноватоводном Вислинском заливе, прибрежной части Балтийского моря и в наиболее крупных реках области.

Вероятнее всего количество водоемов, в которых он в настоящее время обитает, существенно больше. Потенциально он может обитать в Куршском заливе (месте впадения р. Неман; от последней станции до залива расстояние менее 20 км), р. Дейме (соединяет р. Преголю и Куршский залив), р. Матросовка (рукав р. Неман, впадающий в Куршский залив) и другие.

Остается открытым вопрос расселения вида в Балтийском море по западному берегу Самбийского полуострова, вдоль Куршской и Балтийской кос. Все поимки бычка-песочника в море пришлись на станции, где дно было представлено галькой и валунами, тогда как западный берег полуострова и косы представляют собой биотопы с песчаным дном.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гулюгин С. Ю. Эколого-биологическая характеристика бычка-песочника рек Беларуси: дис… канд. биол. Наук. – Калининград, 2001. – 197 с.

2. Дирипаско О.А. Первый случай поимки бычка-ротана Perccottus glenii (Eleotridae) в Калининградской области // Вопросы ихтиологии. – 1996. – Т. 36. – № 6. – С. 842.

3. Понто - Каспийские иммигранты в структуре молоди рыб прибрежной мелководной зоны р. Днепр (в пределах Беларуси) / В.К. Ризевский, И.А. Ермолаева, А.В. Лещенко, А.П. Кудрицкая // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. – 2014. – № 30. – С. 267-280. – EDN VDHHUB.

4. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных) / Под ред. проф. П. А. Дрягина и канд. биол. наук В. В. Покровского. - 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Пищ. пром-сть, 1966. – 376 с.

5. Соколов С.Г., Новожилов О.А. Зараженность ротана Perccottus Glenii Dybowski, 1877 (Actinopterygii, Odontobutidae) паразитами в копаных прудах // Биология внутренних вод. – 2015. – № 2. – С. 110.

6. Тылик К.В., Закревский Е.Д. Натурализация вселенца бычка-кругляка Neogobius melanostomus (Pallas, 1814) в Вислинском заливе Балтийского моря // Тез. докл. международ. конф. «Инновации в науке и образовании – 2003». – Калининград: КГТУ, 2003. – С. 39–40.

7. Grabowska J. (2022) ‘Neogobius fluviatilis (monkey goby)’, CABI Compendium. CABI. doi: 10.1079/cabicompendium.115759.

8. Novozhilov, O., Aldushina, Y., Baranovsky, P. (2022). Ways of Penetration and Further Spread of White-Eye Bream (Ballerus sapa, Pallas, 1814) in Inland Water Bodies of Kaliningrad Oblast (Russia). In: Arkhipov, A.G. (eds) Sustainable Fisheries and Aquaculture: Challenges and Prospects for the Blue Bioeconomy. Environmental Science and Engineering. Springer, Cham. Режим доступа URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-08284-9_19

MONKEY GOBY *NEOGOBIUS FLUVIATILIS* (PALLAS, 1814) AS A NEW SPECIES IN THE ICHTHYOFAUNA OF THE KALININGRAD REGION

[1]Novozhilov Oleg Anatolievich, PhD in Biology, Associate Professor of the Department of water bioresourses and aquaculture

[2]Gulina Tatiana Sergeevna, Senior Lecturer of the Department of water bioresourses and aquaculture

[1,2]Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,
e-mail: oleg.novozhilov@klgtu.ru; gulina@klgtu.ru

Currently, the world is experiencing an active transformation of aquatic ecosystems under the influence of climate change and the spread of invasive species. One of these species, which is actively expanding its range, is the monkey goby (Neogobius fluviatilis (Pallas, 1814)), whose native habitat is the Ponto-Caspian basin. The species can be found in water bodies of Belarus, Poland, Germany and other European countries. Since 2012, goby has been regularly observed in water bodies of the Kaliningrad region, where it has formed a self-reproducing population.

УДК 597+577.115.3

АКВАКУЛЬТУРНЫЙ И ДИКИЙ САЗАН (*CYPRINUS CARPIO* LINNAEUS *1758*) КАК ИСТОЧНИК ОМЕГА 3 ПОЛИНЕНАСЫЩЕННЫХ ЖИРНЫХ КИСЛОТ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ СИБИРИ

[1]Рудченко Анастасия Евгеньевна, канд. биол. наук, доцент кафедры водных и наземных экосистем
[2]Карпов Владимир Алексеевич, аспирант

[1,2]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия,
e-mail: arudchenko@sfu-kras.ru

Проведено исследование жирнокислотного состава мышечной ткани сазана из естественных экосистем и аквакультуры. Карп из Красноярского водохранилища и оз. Сосновое содержит в мышечной ткани 1,4 и 1,1 мг/г ЭПК+ДГК соответственно. Источниками этих ЖК, вероятно, являются бентосные пищевые цепи в естественных водоемах. Соотношение омега 6 и омега 3 ЖК близкое к 1 у диких карпов указывает на их высокую биохимическую ценность для человека. Мышечная ткань аквакультурного сазана содержала 0,7 мг/г ЭПК+ДГК.

Сазан или обыкновенный карп (*Cyprins carpio* Linnaeus, 1758) традиционно считается одним из ценных промысловых видов рыб. Этот фито-бентоядный вид рыб быстро достигает промысловых размеров, и является популярным объектом как промышленного, так и любительского лова на территории Сибири и России. В водоемы Красноярского края и Республики Хакасия, где было проведено данное исследование, сазан попал после намеренной интродукции в оз. Сосновое, откуда он расселился по ближайшим озерам и Красноярскому водохранилищу. На данный момент основная популяция карпа в Красноярском водохранилище сосредоточена в мелководных заливах в его верхней и средней части. Численность карпа небольшая, а официальный промысел составляет около 600 кг в год [1].

Однако уровень любительского лова карпа по некоторым оценкам может превышать официальный промысел. При этом пик любительского лова приходится на июнь и совпадает с периодом нереста. Отсутствия регуляции и контроля над любительским ловом может привести к значительному снижению численности и без того не большой популяции карпа в водохранилище.

Альтернативным источником продукции карпа для населения является его аквакультурное выращивание. Карп является одним из популярных видов рыб для выращивания в аквакультуре. На данный момент, среди всех рыб, выращиваемых в аквакультуре сазан (карп) занимает 4 место [2]. Активное аквакультурное выращивание карпа ведется в том числе и в Красноярском крае. Объемы выращивания карпа в крае достаточно высокий, однако встает вопрос о биохимическом качестве аквакультурного карпа по сравнению с дикими рыбами, в качестве источника омега 3 полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК).

Известно, что рыбная продукция является источником не только белка, но и ценных омега 3 ПНЖК кислот для человека. Прежде всего, речь о эйкозапентаеновой кислоте (ЭПК) и докозагексаеновой кислоте (ДГК), которые необходимы для функционирования сердечно-сосудистой и нервных систем [3]. ВОЗ рекомендует суточное потребление ЭПК+ДГК в диапазоне от 0,5 до 1 г на человека в сутки. Кроме того, рекомендуется потреблять продукцию с соотношением омега 6 к омега 3 кислотам близкой к 1:1 и 1:2 [3].

Содержание ЭПК и ДГК в мышечной ткани рыб будет зависеть от многих факторов: кормовой базы диких рыб, качества аквакультурного корма, генетических особенностей вида [4]. Среди основных факторов, определяющих содержание ЭПК и ДГК в рыбе, одним из наиболее важных будет являться кормовая база. Так, основным источником пищи для сазана в Красноярском водохранилище будет являться бентос и растительный детрит [1]. Известно, что некоторые организмы зообентоса могут являться хорошим источников омега 3 ПНЖК, в особенности ЭПК, для рыб в естественных экосистемах [5]. А значит пищевая ценность дикого сазана, как источника

ЭПК, может быть достаточно высока. Содержание ЭПК и ДГК в аквакультурных карпах будет напрямую зависеть от состава жирных кислот (ЖК) в используемых кормах. При низком качестве кормов, содержание омега 3 ПНЖК в выращенных карпах может быть очень низким.

По этой причине основная цель нашей работы была сравнить состав и содержание ЖК в мышечной ткани карпа из естественных водоемов и аквакультуры.

Материалы и методы

В ходе исследования был проведен анализ состава ЖК филе (мышечная ткань) дикого сазана и выращенного в условиях аквакультуры. Сазанов из естественных популяций отлавливали в июне и июле 2022 года в Красноярском водохранилище (залив Сыда, Красноярский край) и оз Сосновое (Республика Хакасия). Для отлова использовались ставные жаберные сети и крючковая снасть. Аквакультурный карп для анализов приобретался в ОАО «Назаровское рыбное хозяйство». Сазаны для анализа из естественных популяций и аквакультуры были половозрелые, в возрасте от 2 до 4 лет. Для анализа отбирали навески до 1 г мышечной ткани из-под спинного плавника которые фиксировали в растворителе (хлороформ: этанол, 2:1 по объему). Экстракция липидов проводилась по методу Фолча в модификации. Для проведения хроматографического анализа экстрактов липидов получали метиловые эфиры жирных кислот (МЭЖК). [6]. Полученные МЭЖК хранили при температуре – 20°С до последующих анализов. Анализ МЭЖК проводили на газовом хроматографе с масс-спектрометрическим детектором (модель 6890/5975С, “AgilentTechnologies”, США) с колонкой HP-FFAP. Идентификацию пиков жирных кислот осуществляли по полученным масс-спектрам, сравнением их с имеющимися в базе данных AgilentNIST2005, а также сравнением времен удерживания с таковыми стандартами (Sigma, США).

Статистические расчеты были выполнены в программах Microsoft Excel и STATISTICA 9.0.

Результаты и обсуждение

Сравнение биохимического состава филе сазана из аквакультуры и природных местообитаний представлено в Таблице 1. Прежде всего, можно отметить, что ЖК состав мышц карпа их водохранилища и озера был близок и более разнообразен, чем у аквакультурного карпа. Пойманный нами в Красноярском водохранилище сазан, исходя из анализов содержимого кишечника, потреблял в большей степени макрофиты и залитую водой наземную растительность. В то время как сазан из оз. Сосновое (Республика Хакасия) питался более разнообразно (бентос, макрофиты). Разный характер питания, вероятно, отразился на ЖК составе мышечной ткани сазанов из этих двух водоемов (Табл.1). В ЖК составе сазана из Красноярского водохранилища были обнаружены достоверно более высокие проценты 18:2n-6 и 18:3n-3, источниками которых могут быть макрофиты и наземные растения, обнаруженные в желудках сазана. Вместе с тем, в ЖК составе мышечной ткани сазана, выращенного в аквакультуре, были обнаружены достоверно более высокие уровни 18:1n-9, 18:2n-6, Σ20:1 и Σ22:1 (Табл. 1).

Мультивариантный анализ методом главных компонент ЖК состава мышц по первой компоненте четко разделил пробы карпа на две группы (Рисунок 1). В первую группу попали образцы дикого карпа, которые ассоциировались с такими ЖК как, 15-17 РЖК, 16:1n-7, 18:1n-7 и 20:5n-3, 22:6n-3. Во вторую группу, которая ассоциировалась с 18:1n-9, 18:2n-6, а также суммой процентов мононенасыщенных ЖК с 20 и 22 атомами углерода (Σ20:1 и Σ22:1), попали пробы карпа из аквакультуры.

Таким образом, для мышечной ткани карпа из аквакультуры отмечались значительно более высокие уровни олеиновой и, в особенности, линолевой кислот. Эти ЖК, содержатся и в тканях диких рыб, однако их столь высокий уровень, особенно омега 6 линолевой кислоты, указывает на использование в кормах в данном аквакультурном хозяйстве в основном растительных компонентов наземного происхождения (растительные масла, шрот, пшеница и тд.) [7, 8, 9]. Это может указывать на плохое биохимическое качество аквакультурного корма.

Рис. 1. Анализ главных компонент жирнокислотного состава (% от суммы ЖК) мышечной ткани (филе) карпа (Cyprinus carpio) из естественных водоемов и аквакультуры.

Таблица 1

Содержание жирных кислот (% от суммы ЖК, среднее значение ± стандартная ошибка) в мышечной ткани (филе) сазана (*Cyprinus carpio*) из естественных водоемов и аквакультуры

ЖК	Красноярское водохранилище			оз. Сосновое			Аквакультура			F	p
	m		SE	m		SE	m		SE		
	n-7			n-7			n-7				
14:0	1,4	±	0,1 ^{A}	1,4	±	0,1 ^{A}	0,9	±	0,2 ^{B}	**5,1**	**0,0177**
15-17 РЖК	2,6	±	0,1 ^{A}	1,7	±	0,1 ^{B}	0,2	±	0,0 ^{C}	**265,9**	**0,0000**
16:0	14,9	±	0,5 ^{A}	17,5	±	0,2 ^{B}	14,6	±	0,5 ^{A}	**15,4**	**0,0001**
16:1n-7	5,8	±	0,3 ^{A}	6,6	±	0,6 ^{A}	1,8	±	0,4 ^{B}	**35,3**	**0,0000**
17:0	0,6	±	0,0 ^{A}	0,5	±	0,1 ^{A}	0,2	±	0,0 ^{B}	**26,9**	**0,0000**
18:0	4,9	±	0,2^{A}	6,6	±	0,2 ^{B}	6,2	±	0,1 ^{B}	**31,2**	**0,0000**
18:1n-9	15,8	±	0,7 ^{A}	13,4	±	0,5 ^{A}	26,0	±	0,8 ^{B}	**90,2**	**0,0000**
18:1n-7	4,0	±	0,1 ^{A}	4,8	±	0,0 ^{A}	1,4	±	0,1 ^{B}	**374,9**	**0,0000**
18:1n-5	0,1	±	0,0	0,2	±	0,0	0,1	±	0,0	1,0	0,3386
18:2n-6	12,3	±	0,7 ^{A}	4,4	±	0,2 ^{B}	28,7	±	1,4 ^{C}	**192,2**	**0,0000**
18:3n-3	4,1	±	0,3 ^{A}	1,2	±	0,2 ^{B}	0,8	±	0,0 ^{C}	**70,8**	**0,0000**
18:4n-3	0,4	±	0,0 ^{A}	0,6	±	0,1 ^{A}	0,1	±	0,0 ^{B}	**23,0**	**0,0000**
Σ20:1	1,5	±	0,0 ^{A}	1,4	±	0,1 ^{A}	2,9	±	0,1 ^{B}	**71,8**	**0,0000**
20:2n-6	0,5	±	0,0 ^{A}	0,4	±	0,0 ^{A}	1,6	±	0,0 ^{B}	**317,4**	**0,0000**
20:3n-6	0,7	±	0,0 ^{A}	0,3	±	0,1 ^{B}	1,3	±	0,1 ^{C}	**44,3**	**0,0000**
20:4n-6	5,6	±	0,5 ^{A}	7,4	±	0,3 ^{B}	3,9	±	0,4 ^{C}	**17,4**	**0,0001**
20:5n-3	5,8	±	0,4 ^{A}	8,8	±	0,3 ^{B}	0,5	±	0,0 ^{C}	**218,4**	**0,0000**
Σ22:1	0,2	±	0,0 ^{A}	0,2	±	0,0 ^{A}	0,8	±	0,0 ^{B}	**126,2**	**0,0000**
22:5n-3	2,1	±	0,1 ^{A}	3,7	±	0,1 ^{A}	0,4	±	0,0 ^{B}	**214,0**	**0,0000**
22:6n-3	9,8	±	0,9 ^{A}	10,7	±	0,5 ^{A}	3,7	±	0,4 ^{B}	**34,5**	**0,0000**

Примечание: Величины имели нормальное распределение (согласно критерия Колмогорова-Смирнова). Значения сравнивались в дисперсионном анализе ANOVA по критерию Тьюки. Статистически достоверные значения ($p < 0.05$) приведены жирным шрифтом, n – число проб

На это указывают и уровни ЭПК (20:5n-3) и ДГК (22:6n-3), которые были крайне низкие в мышечной ткани аквакультурного карпа по сравнению с дикими. Можно предположить, что кора в рыбном хозяйстве почти не содержат их источников – рыбной муки или копеподной биомассы. Напротив, карп из Красноярского водохранилища и оз. Сосновое содержал в мышцах значительные доли ЭПК и ДГК. Источниками этих ЭПК и ДГК вероятно были бентосные пищевые цепи в водохранилище и озере. На это указывают повышенные уровни ЖК – которые синтезируются диатомовыми водорослями и бактериями, и попадают по пищевым сетям к рыбам [5]. Известно, что диатомовые водоросли в большом количестве синтезируют ЭПК.

Таким образом, ЖК состав мышц дикого карпа отражает питание этого вида в бентосных пищевых цепях, которые являются источником ЭПК и ДГК для этого вида рыб в Красноярском водохранилище и оз. Сосновое. Однако у аквакультурного карпа, вероятно из-за низкого биохимического качества корма, высокие уровни омега 6 линолевой кислоты и очень низкие уровни ЭПК и ДГК, могут стать причиной снижения качества аквакультурной продукции карпа для населения Красноярского края.

Количественное содержание ЭПК+ДГК в сырой массе мышечной ткани дикого и аквакультурного сазана представлено в Таблице 2. Содержание ЭПК и ДГК в аквакультурном карпе было в два раза ниже, чем в диких рыбах. Так, для удовлетворения потребностей в ЭПК и ДКГ, человеку нужно будет съесть более 1,5 кг аквакультурного карпа, тогда как дикого в 2 раза меньше. Стоит отметить, что основные различия в количественном содержании ЖК были отмечены в содержании ЭПК, источником которой в естественных водоемах является бентос, не доступный для потребления сазанами в аквакультуре.

Кроме того, соотношение омега 6 к омега 3 ЖК в мышцах аквакультурного капа было в 8 раз выше, чем у дикого. А значит потребление дикого карпа значительно полезнее для состояния сердечнососудистой системы человека.

Таблица 2

Содержание жирных кислот (мг/г сырой массы, среднее значение ± стандартная ошибка) в мышечной ткани (филе) карпа (Cyprinus carpio) из естественных водоемов и аквакультуры

	Красноярское вдхр.			**Оз. Сосновое**			**Аквакультура**				
	m		**SE**	**m**		**SE**	**m**		**SE**	**F**	**p**
	n-7			n-7			n-7				
ЛК	1,17	±	$0,19^{A}$	0,26	±	$0,03^{B}$	5,03	±	$0,68^{C}$	**90,2**	**0,0000**
АЛК	0,39	±	$0,07^{A}$	0,07	±	$0,02^{B}$	0,14	±	$0,02^{B}$	**23,0**	**0,0000**
АРК	0,49	±	$0,03^{A}$	0,42	±	$0,02^{A}$	0,64	±	$0,02^{B}$	**31,2**	**0,0000**
ЭПК	0,51	±	$0,04^{A}$	0,50	±	$0,04^{A}$	0,08	±	$0,00^{B}$	**5,1**	**0,0177**
ДГК	0,87	±	$0,06^{A}$	0,60	±	$0,02^{B}$	0,59	±	$0,02^{B}$	**15,4**	**0,0001**
ЭПК+ДГК	1,38	±	$0,10^{A}$	1,10	±	$0,06^{B}$	0,67	±	$0,03^{C}$	**70,8**	**0,0000**

Примечание: Величины имели нормальное распределение (согласно критерия Колмогорова-Смирнова). Значения сравнивались в дисперсионном анализе ANOVA по критерию Тьюки. Статистически достоверные значения ($p < 0.05$) приведены жирным шрифтом, n – число проб

Заключение

Карп из Красноярского водохранилища и оз. Сосновое содержит в мышечной ткани 1,4 и 1,1 мг/г ЭПК+ДГК соответственно. Источниками этих ЖК, вероятно, являются бентосные пищевые цепи в естественных водоемах. Соотношение омега 6 и омега 3 ЖК близкое к 1 у диких карпов указывает на их высокую биохимическую ценность для человека.

Вероятное использование в аквакультурном хозяйстве кормов не содержащих источников ЭПК и ДГК приводит к снижению биохимического качества продукции карпа из аквакультуры.

Работа поддержана Грантом РНФ №22-24-20023, Красноярским краевым фондом науки

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Красноярское водохранилище: мониторинг, биота, качество вод: монография. под ред. Алимова А.Ф., М.Б. Ивановой / А.В. Агеев, Н.А. Гаевский, М.И. Гладышев, Л.А. Глущенко, З.Г. Гольд, В.М. Гольд, Г.А. Еникеев, И.Г. Еникеева, Е.А. Иванова, Н.А. Кожевникова, И.И. Морозова, И.М. Попельницкая, В.Е. Распопов, Г.Н. Скопцова, В.А. Сапожников, В.А. Олейников, С.М. Чупров, С.П. Шулепина, А.В. Шапошников. – Красноярск: Изд-во Сибирского федерального университета, 2008. – 537 с.

2. Пищенко Е.В., Морузи И.В. Мировые тенденции и перспективы выращивания карпа // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2022. - №3 (194). – С. 164-177.

3. Гладышев, М.И. Незаменимые полиненасыщенные жирные кислоты и их пищевые источники для человека / М.И. Гладышев. // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. – 2012. - Т.5. - С. 352-386.

4. Tocher D.R. Fatty acid requirements in ontogeny of marine and freshwater fish // Aquaculture Research. – 2010. - V. 41. - P. 717 – 732.

5. Makhutova O.N., Shulepina S.P., Sharapova T.A., Dubovskaya O.P., Sushchik N.N., Baturina M.A., Pryanichnikova E.G., Kalachova G.S., Gladyshev M.I. Content of polyunsaturated fatty acids essential for fish nutrition in zoobenthos species // Freshwater Science. - 2016. - V. 35. - P. 1222-1234.

6. Gladyshev M.I., Sushchik N.N., Gubanenko G.A., Kalachova G.S., Rechkina E.A., Malyshevskaya K.K. Effect of the way of cooking on contents of essential polyunsaturated fatty acids in filets of zander // Czech Journal of Food Sciences. – 2014. - V. 32. - P. 226–231.

7. Teves J.F., Ragaza J.A. The quest for indigenous aquafeed ingredients: a review // Reviews in Aquaculture. – 2016. - V. 8. - P.154–171.

8. Лагуткина Л.Ю. Перспективное развитие мирового производства кормов для аквакультуры: альтернативные источники сырья // Вестник АГТУ. Серия Рыбное хозяйство. – 2017. - №1. - С. 67 - 78.

9. Сущик Н.Н. Роль незаменимых жирных кислот в трофометаболических взаимодействиях в пресноводных экосистемах // Журнал общей биологии. – 2008. - Т.69. - №4. - С. 299 – 316.

AQUACULTURED AND WILD CARP (CYPRINUS CARPIO LINNAEUS 1758) AS A SOURCE OF OMEGA 3 POLYUNSATURATED FATTY ACIDS FOR THE POPULATION OF SIBERIA

[1]Rudchenko Anastasia Evgenievna, Ph.D., Associate Professor of the Department of Water and Terrestrial Ecosystems
[2]Karpov Vladimir Alekseevich, Ph. D student

[1,2]Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia, e-mail: arudchenko@sfu-kras.ru

A study of the fatty acid composition of muscle tissue of carp from natural ecosystems and aquaculture was carried out. Carp from the Krasnoyarsk reservoir and lake Sosnovoe contains 1.4 and 1.1 mg/g EPA+DHA in muscle tissue, respectively. The sources of these FAs are probably benthic food chains in natural water bodies. The ratio of omega 6 to omega 3 FAs close to 1 in wild carp indicates their high biochemical value for humans. The muscle tissue of aquaculture carp contained 0.7 mg/g EPA+DHA.

УДК 595.36:574.583

РЕПРОДУКТИВНОЕ СОСТОЯНИЕ ОСОБЕЙ АНТАРКТИЧЕСКОГО КРИЛЯ *EUPHAUSIA SUPERBA* (DANA, 1850) (EUPHAUSIACEA: EUPHAUSIIDAE) ИЗ ДВУХ РАЙОНОВ ЮЖНОГО ОКЕАНА В 2020 Г.

[1]Судник Светлана Александровна, канд. биол. наук, доцент кафедры ВБА ИРА КГТУ
[2]Колесникова Александра Дмитриевна, магистр группы 23-ВА/м

[1,2]Калининградский государственный технический университет,
Калининград, Россия, e-mail: [1]svetlana.sudnik@klgtu.ru; [2]kolesnikova_aleksasha@bk.ru

Анализ 130 самцов и 150 самок антарктического криля (Euphausia superba) из двух районов Южного океана, собранных в январе-феврале 2020 г., показал доминирование среди особей обоих полов мелкоразмерных рачков с неразвитыми и слаборазвитыми гонадами; семенники остальных более крупных самцов были предзрелыми и зрелыми, более крупные самки имели созревающие яичники; средний разовый гонадосоматический индекс у предзрелых самок криля продемонстрировал достаточно высокий уровень репродуктивных затрат на разовый нерест; впервые для бассейна Пауэлла и пролива Брансфилд описаны размеры созревающих ооцитов у предзрелых самок (зрелые самки не встречены); предположены причины разнокачественности созревания самок криля из моря Уэдделла; впервые выявлен ряд черт связи линочного цикла особей криля с их развитием и половым созреванием.

Введение

Объект исследования – антарктический криль, *Euphausia superba* – пелагический вид из отряда эуфаузиевых ракообразных с циркумполярно-антарктическим распространением. Этот фитопланктофаг – главное звено пищевой цепи вод Антарктики, "ключевой вид" в экосистеме Южного океана. Громадные объемы первичной продукции становятся через криль доступными для морских хищников.

В водах Антарктики поселения *E. superba* создают огромную биомассу – около 300 млн. тонн. Первым, с начала 1960-х гг., криль начал добывать Советский Союз: на долю страны приходилось более 93% его мирового вылова. После 1991 г. добыча криля РФ практически не осуществлялась, однако в стратегии развития рыбохозяйственного комплекса страны до 2030 г. запланировано возобновление его промысла с выловом до 450 тыс. т. Благодаря особенностям химического состава тела, высокой пищевой ценности, криль стал ценнейшим сырьем для пищевой промышленности, биотехнологии, фармакологии, аквакультуры [1-4].

Цель работы – исследование репродуктивного состояния особей антарктического криля (*E. superba)* из вод моря Уэдделла и пролива Брансфилд в январе-феврале 2020 г, оценка степени связи процессов линьки и репродукции у криля.

Задачи исследования: проведение комплексного лабораторного биологического анализа особей криля; анализ репродуктивного состояния самцов и самок, оценка стадии линочного цикла и связи процессов линьки со степенью созревания гонад у особей, формулирование выводов об особенностях репродуктивного состояния самцов и самок криля из моря Уэдделла и пролива Брансфилд.

Материалы и методы

Материал исследований – четыре пробы особей антарктического криля *Euphausia superba* (всего 500 особей), собранные сотрудниками Института океанологии им. Ширшова (г. Москва; особую благодарность выражаем Василию Альбертовичу Спиридонову) во время 79-й экспедиции НИС «Академик Мстислав Келдыш» в конце января – начале февраля 2020 г. Районы сбора материала– северо-западная часть окраинного моря Уэдделла (с входящим в него бассейном Пауэлла) и близлежащий пролив Брансфилд (пролив между Южными Шетландскими островами и Антарктическим полуостровом) (таблица 1; рисунок 1).

Рис. 1 – Карта сбора проб E. superba [по 1, с авт. коррекцией]

Таблица 1

Материал для исследования биологии криля *Euphausia superba*, 2020 г.

Станция	Дата	Место сбора	Координаты сбора проб	Глубина, м	Орудие сбора	N особей, экз.	Сборщики	Фиксация проб
6614	21 января	пролив Брансфилд	62°36'05" ю.ш. 59°30'16" з.д.	223	сеть Бонго	60	сотрудники института им. Ширшова (г. Москва) В.А. Спиридонов, А.К. Залота, В.А. Яковенко, К.М. Горбатенко	4 % р-р формалина
6607	28 января	бассейн Пауэлла	61°45'15" ю.ш. 48°46'23" з.д.	265	сеть Джеди	187		
6618	31 января	пролив Брансфилд	60°59'21" ю.ш. 50°00'86" з.д.	269	Трал Айзекса – Кидда	107		6 % р-р формалина
6619	1 февраля	северо- западная часть бассейна Пауэлла	62°20'52" ю.ш. 53°13'44"з.д.	216		146		
Итого						500		

Исследования осуществлялись с применением методики комплексного лабораторного анализа криля [5], включающей данные ряда методик [6-14], с оценкой 11 количественных и качественных биологических характеристик особей. Для оценки репродуктивного состояния самцов и самок особей криля был применен морфологический и гистологический методы: оценка вторичных половых признаков особей криля (степени развития совокупительных органов) без их вскрытия, и, после вскрытия, – анализ состояния первичных половых признаков (степени развития и созревания гонад) [15,16].

В целом, методика включает: измерение с помощью окуляр-микрометра бинокулярного микроскопа с точностью 0,01 мм общей длины тела особей криля (ДТ; от заднего края глазных орбит до середины заднего края тельсона без терминального шипика (или до конца уроподов, если шипик отсутствует)) и длины карапакса (ДК; по спинной стороне тела от заднего края глазных орбит до середины заднего края карапакса); определение с помощью электронных весов с точностью до 0,01 г массы тела особи и массы предзрелых яичников (после кратковременного их подсушивания на фильтровальной бумаге); определение пола особей, анализ степени развития вторичных половых признаков у самцов и самок; оценка стадии зрелости яичников по 6-балльной шкале; измерение в гонадах самок наиболее зрелых ооцитов (указывается стадия зрелости самок), определение степени наполнения желудка, оценка состава пищи по методике [11]; визуальная оценка покров особей на предмет присутствия на них различных паразитов и эпибионтов, оценка клинических признаков типичных заболеваний высших ракообразных по методикам [12, 14].

Определение пола у криля проводились по вторичным (совокупительные придатки) и первичным (тип гонад) половым признакам. Самцы криля отличаются присутствием петазмы (парный орган из видоизменённых эндоподитов плеоподов 1) и трубковидных извитых парных семенников. Наличие теликума (карманообразного органа на брюшной поверхности) и парных яичников, характеризует самок. Ювенильные особи определяются по отсутствию петазмы и теликума. Шкалы оценки репродуктивного состояния самок и самцов выполнены нами как результат анализа и компиляции методик и описаний по [3, 7-8].

Фиксированные формалином ооциты, взятые в связи с отсутствием в пробах зрелых особей у предзрелых самок (стадия зрелости IV), имели овальную форму. Измерялись с помощью окуляр-микрометра бинокулярного микроскопа с точностью до 0,01 мм большой (длина) и малый (ширина) диаметры не менее 10 ооцитов и подсчитывались их средние величины.

Величина разового гонадосоматического индекса (ГСИ) преднерестовых самок рассчитывалась как отношение массы предзрелого яичника к массе самки (в %).

Оценка состояния экзоскелета особи (степени его твердости – то есть стадии линочного цикла) проводилась по трехбалльной шкале [10], где: панцирь у линяющих особей (стадия 1) был чрезвычайно тонким и мягким; у перелинявших особей панцирь чистый, упругий, при этом у недавно перелинявших рачков (стадия 2) он может при нажатии легко прогибаться; панцирь у межлиночных особей (стадия 3) утолщенный, негибкий.

1. Репродуктивное состояние особей

1.1. Самцы

Анализ репродуктивного состояния 113 самцов криля показал двукратное преобладание среди них более мелких особей (средняя ДТ около 30–34 мм) с неразвитыми и слаборазвитыми половыми признаками (суммарная доля 69%) (таблица 2). Доля самцов с практически развитыми и развитыми семенниками составила 31%, и они были достоверно крупнее (средняя ДТ около 42–45 мм) самцов с неразвитыми гонадами (средняя ДТ около 30–34 мм) ($t_{стат}$= 14,31, $t_{табл}$= 2,01) (таблица 2). Это указывает на большую вероятность линьки, происходящей перед созреванием семенников у самцов криля, что схоже с такими процессами, известными для самок других высших ракообразных (креветок) [17].

Таблица 2

Репродуктивное состояние самцов *Euphausia superba,* море Уэдделла, пролив Брансфилд, 21.01–01.02.2020 г. (ДТ – общая длина тела; ср – среднее значение; со – стандартное отклонение)

Стадия репродуктивного состояния	Состояние половой системы		Количество особей		ДТ самцов, мм	
	степень развития семенников, семяпроводов	степень развития петазмы, состояние сперматофоров	экз.	%	диапазон	ср± со
стадия I	*семенники не развиты*, слабо различимы; семяпроводы без утолщений	петазма в виде неподразделенной лопасти	26	23	28,1–34,8	29,9± 1,7
стадия II	*семенники слабо развиты*, беловатого цвета; семяпроводы несут развитые в разной степени зачатки ампул и сперматофорных мешков	петазма двулопастная, «крылья» на эндоподитах не развиты	52	46	27,0–42,9	33,8± 3,9
Стадия III	*семенники развиты практически полностью*; семяпроводы содержат мелкие сперматофоры с симметричными по форме головками	петазма двулопастная, «крылья» на эндоподитах развиты	7	6	39,1–44,1	42,2± 2,0
Стадия IV	*семенники полностью развиты*; семяпроводы содержат крупные сперматофоры с ассиметричными головками	петазма полностью развита, сперматофоры отсутствуют	28	25	40,5–50,2	45,2± 2,8

1.2. Самки

Оценка репродуктивного состояния 150 самок криля *Euphausia superba* показала, что в целом, в пробах января – начала февраля 2020 года, преобладали самки с неразвитыми яичниками (суммарная доля 82%) (таблица 3). Остальную, малую, часть (18%) составили созревающие и предзрелые самки (стадии III и IV: с развитым теликумом и с развивающимися или предзрелыми яичниками). При этом, размеры предзрелых самок (стадия IV; средняя ДТ около 45 мм) были достоверно крупнее таковых у самок с неразвитыми яичниками (стадии I и II; средняя ДТ около 32–37 мм; tстат= 13,76, tтабл= 1,98) или развивающимися гонадами (стадия III; средняя ДТ около 39 мм; tстат= 6,74, tтабл= 2,10) (таблица 3). Зрелые самки криля (стадия репродуктивного состояния V) в пробах не встречены.

Таблица 3

Репродуктивное состояние самок криля *Euphausia superba*, море Уэдделла, пролив Бранс- филд, 21.01–01.02.2020 г. (ср – среднее значение; со – стандартное отклонение)

Стадия репродуктивного состояния	Состояние половой системы		Количество особей		ДТ самок, мм	
	стадия зрелости яичников	степень развития теликума, присутствие сперматофоров	экз.	%	диапазон	ср±со
стадия I	совсем не развиты	теликум не развит; сперматофоры отсутствуют	63	42	27,1–34,9	31,3±1,9
стадия II	не развиты, не созревающие	в начале стадии теликум есть, его стернальная и коксальные пластинки развиты не полностью;	41	27	30,2–34,6	32,4±1,6
		в конце стадии пластинки теликума развиты, сперматофоры отсутствуют	20	13	32,2–40,9	36,6±1,9
стадия III	развивающиеся созреваю щие	теликум полностью развит, у живых особей красный, полон спермы и/или содержит сперматофоры; самки спариваются в состоянии линьки.	13	9	32,9–41,5	38,6±2,8
стадия IV	хорошо развиты предзрелые	теликум развитый, красного цвета; самки спариваются, кроме тех, которые недавно линяли.	13	9	42,1–47,3	45,3±1,6

Итак, признаков нереста самок (65% из них были из проб моря Уэдделла, 75° ю. ш.) в конце января – начале февраля 2020 гг. нами не отмечено, 18% особей только готовились к нему.

Для сравнения: чуть севернее (у Южных Оркнейских островов, в море Скотия: 57–60° ю. ш.) в это же время сборов описан нерест особей вида [1], что, возможно, связано с более благоприятными там для них условиями. Годом ранее (декабрь-февраль 2019–2020 гг.) самки криля из проб района 61–63° ю. ш. (пролив Брансфилд, у островов Мордвинова и Жуэнвиль, Южных Шетландских островов) были как созревающими, так и предзрелыми [18]. Разнокачественность репродуктивного состояния самок показал также анализ проб из глубоководной части (300–600 м) бассейна Пауэлла, собранных в этот период: в одном массовом скоплении доминировали особи с неразвитыми гонадами, а во втором – предзрелые самки [1].

Отличия во времени созревания особей антарктического криля в разных районах результируются в отличиях времени их нереста: например, в проливе Брансфилд – в конце сентября; у о-вов Мордвинова и Жуэнвиль – в октябре; в море Скотия – в конце ноября [1].

Разноразмерность исследованных нами самок из моря Уэдделла, разнокачественность их созревания, может быть следствием смешивания разнокачественной молоди в этом районе из-за особенностей циркуляции здесь вод: молодь, вынесенная антарктическим прибрежным течением (АПЧ) из районов у Южных Шетландских островов, островов Мордвинова и Жуэнвиль, попадает в поток вод западной ветви круговорота Уэдделла (антарктического склонового фронта – АСФ), несущий молодь криля из мест соприкосновения моря Скотия и Уэдделла, течение переносит разнокачественную молодь на север, а затем у Южных Оркнейских островов – на юго-восток, попадая в бассейн Пауэлла моря Уэдделла и там остается в мезомасштабных вихрях Уэдделловского фронта (УФ), где смешиваясь с молодью местного происхождения, криль растет и постепенно созревает, готовится к неодновременному нересту (рисунок 2).

АПЧ – Антарктическое прибрежное течение, АСФ – Антарктический склоновый фронт; УФ – фронт Уэдделла; ГВУ – глубинные воды Уэдделла
Рис. 2 – Течения в западной части моря Уэдделла [по 18, с изменениями]

Масса исследованных предзрелых яичников (стадия зрелости IV) у 12 самок составила 0,11–0,20 г (0,15±0,03 г).

Их разовый гонадосоматический индекс (ГСИ) был равен 16–25% (21±2,6%). Данных для сравнения полученной нами величины ГСИ для самок криля не отмечено. Но, если сравнить его с таковым, например, у креветок, получим близкие максимальные, но в два раза меньшие средние его значения для предзрелых и зрелых самок (2–24%; 9,8±2,7%) [20], что может указывать на, в среднем, отличный уровень трат на репродукцию у этих двух групп высших ракообразных, с причинами чего еще нужно разбираться.

Размеры наиболее развитых ооцитов в предзрелых яичниках 12 самок криля с ДТ 45,3±1,4 мм, в среднем, составили: 0,52 х 0,45 мм (большой диаметр х малый диаметр) (таблица 4).

Таблица 4

Размеры наиболее развитых ооцитов в яичниках предзрелых самок *E. superba* (стадия зрелости IV) из разных частей ареала (д – диапазон, ср – среднее значение; со – стандартное отклонение)

ДТ, мм		Масса яичников, г		Малый диаметр ооцитов, мм		Большой диаметр ооцитов, мм		Район	Дата	Источник
д	ср±со	д	ср±со	д	ср±со	д	ср±со			
42,1–47,3	45,3±1,4	0,11–0,20	0,15±0,03	0,35–0,56	0,45±0,09	0,45–0,66	0,52±0,03	море Уэдделла	28.01.2020	наши данные
41–49,1	45±1,0	–	–			0,49–0,7	0,59±0,05	к западу от пролива Брансфилд	2002	[3]
44,3–49,8	47±1,3	–	–			0,45–0,7	0,57±0,07	Южные Шетландские острова	2006	[21]

Сравнение данных по размерам наиболее развитых ооцитов в яичниках предзрелых самок *E. superba* из трех частей ареала в Южной Атлантике (таблица 4) показало отсутствие их достоверных различий у самок, в среднем, схожих размеров.

2. Связь состояния покровов со степенью зрелости особей

Известно, что у ряда десятиногих ракообразных наблюдается связь линьки и репродукции [19], поэтому было решено оценить ее у особей криля.

Анализ состояния покровов самцов и самок (таблица 5) криля *E. superba* выявила в пробах января–февраля 2020 г. присутствие, как линяющих особей, так и рачков в межлиночном состоянии.

Таблица 5

Состояние покровов особей *E. superba* на разных стадиях зрелости, море Уэдделла, пролив Брансфилд, 2020 г.

Стадия зрелости	Количество самцов	Стадия линочного цикла			
		линяющие особи		особи в межлиночном состоянии	
		экз.	%	экз.	%
самцы					
I	26	26	23	–	–
II	52	41	36	11	10
III	7	3	3	4	3
IV	28	5	5	23	20
ВСЕГО	113				
самки					
I	63	63	42	–	–
II	61	41	27	10	7
III	13	3	2	20	13
IV	13	2	1	11	8
ВСЕГО	150				

В целом, как у самцов, так и у самок, наиболее активно линька происходила у особей, находящихся на стадиях зрелости I и II, когда их гонады еще совсем не развиты или развиты слабо (доля таких особей у самцов, в сумме, достигала 59%, у самок – 69%). Среди созревающих и зрелых самцов, также как у созревающих и предзрелых самок, суммарная доля линяющих особей не превышала 3–8%.

Итак, оцененные нами линяющие самцы и самки криля, в основном, имели неразвивающиеся гонады.

В межлиночном состоянии были большинство предзрелых и зрелых самцов и созревающих самок (общая доля – 20% от всех особей). Это, предварительно, может свидетельствовать в пользу того, что, как это описано для многих креветок [22], во время созревания особи криля не линяют и не растут.

Присутствие некоторых линяющих особей, с гонадами в начале созревания могло объясняться оставшимися признаками линьки полового созревания, стимулирующей среди прочего созревание яичников [22]. В то время как встреча единичных линяющих предзрелых и зрелых особей могло быть результатом их подготовки к преднерестовой линьке, описанной другими авторами для криля: признаки линьки ими были отмечены у зрелых особей обоих полов [3].

Заключение

Анализ репродуктивного состояния криля, собранного летом 2020 г., показал: среди самцов преобладали мелкие самцы (средняя ДТ 30–34 мм) с совсем неразвитыми и слабо развитыми гонадами, семенники остальных были почти или полностью развитыми; репродуктивная система большинства мелких самок (средняя ДТ 32–37 мм) была слабо развита, остальные, при этом более крупные особи (средняя ДТ 38–45 мм), были созревающими.

Выявленные нами отличия в репродуктивном состоянии самцов и самок криля из моря Уэдделла и пролива Брансфилд могли быть результатом роста, развития и созревания в море Уэдделла молоди местного и иного происхождения, приносимой сюда не только Антарктическим

прибрежным течением, как в пролив Брансфилд, но и течениями склонового фронта и фронта Уэдделла из разных близких районов. Разовый гонадосоматический индекс предзрелых яичников самок составил 16–25 (21±2,6%). Средние размеры наиболее развитых ооцитов в них были 0,52 х 0,45 мм, что оказалось схоже с данными для самок вида из пролива Брансфилд из исследований за другой период времени и самок антарктического криля из района Южных Шетландских островов. Оценка состояния экзоскелета особей выявила преобладание линяющих самок и самцов (66-73%); большинство из них имели неразвитые гонады, у остальных особей они были созревающими и предзрелыми, что указывало на присутствие у вида преднерестовой линьки, что отмечено для ан тарктического криля и другими авторами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Спиридонов В. А., Залота А. К., Яковенко В. А., Горбатенко К. М. Состав популяции и транспорт молоди антарктического криля в районе бассейна Пауэлла // Труды ВНИРО. М.: Изд–во ВНИРО, 2020. С. 33–47.

2. Fisheries and Aquaculture [Электронный ресурс]. URL: https: //www.fao.org/ fishery/en/aqspecies/3393/en (дата обращения: 03.03.2023).

3. Siegel V., Watkins J.L. Distribution, biomass and demography of Antarctic krill, *Euphausia superba*, 2015 // Advances in Polar Ecology. Vol. (1), 2015. P. 21–100.

4. Джонс К., Кавагути С. Криль – биология, экология и промысел // CCAMLR, Комиссия по сохранению морских живых ресурсов Антарктики: справочный портал [Электронный ресурс]. URL: https://www.ccamlr.org/ru/fisheries/криль——биология–экология–и–промысел_(дата обращения: 02.09.2022).

5. Судник С. А., Колесникова А. Д. Комплексная методика лабораторного анализа криля *Euphausia superba* (Dana, 1850) (Euphausiacea: Euphausiidae) // Актуальные проблемы зоологии России и сопредельных территорий. Сборник материалов Всероссийской научно–практической конференции с международным участием, посвященной памяти профессора Вадима Викторовича Золотухина. – Ульяновск: «УГПУ им. И.Н. Ульянова», 2022. С. 225–233.

6. Антарктический криль: Справочник // Под ред. В.М. Быковой. – М.: Изд–во ВНИРО, 2001. 207 с.

7. Макаров Р. Р., Наумов А. Г., Шевцов В. В. Методика сбора и обработки материала по биологии антарктического криля. М.: ВНИРО, 1982. 65 с.

8. Makarov R.R., Denys C.J. Stages of sexual maturity of *Euphausia superba* SCAR, Cambrige. // BIOMASS Handbook. Vol. (11), 1981. P. 1–13.

9. Ikeda, T. Life history of Antarctic krill *Euphausia superba*: a new look from an experimental approach // Bulletin of marine science. Vol. (2), 1985. 599 p.

10. Буруковский Р.Н. Методика биологического анализа некоторых тропических и субтропических креветок // Промыслово–биологические исследования морских беспозвоночных: сборник научных трудов. М.: Изд–во ВНИРО, 1992. С. 77–84.

11.Буруковский Р.Н. Питание и пищевые взаимоотношение креветок. Калининград: Изд–во ФГОУ ВПО «КГТУ», 2009. 408 с.

12. Стексова В. В. Морфофизиологическое состояние краба–стригуна опилио (*Chionoecetes opilio*; Brachyura: Majidae) в водах Сахалина. – Южно–Сахалинск, 2003. 137 с.

13. Джонс К., Кавагути С. Криль – биология, экология и промысел // CCAMLR, Комиссия по сохранению морских живых ресурсов Антарктики: справочный портал [Электронный ресурс]. URL: https://www.ccamlr.org/ru/fisheries/криль–биология–экология–и–промысел (дата обращения: 2.09.2022).

14. Устименко, Е. А., Карманова, И. В., Рязанова, Т. В. Воздействие патогенов различной этиологии на камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius) в Охотском море // Современное состояние популяций крабов Баренцева моря и их взаимодействие с донными биоценозами: тр. межд. конф. Мурманск, 2006. С. 101–103.

15. Живоглядова Л. А. Морфометрическое созревание самок и самцов равношипого краба (*Lithodes aequispina* Benedict) у северных Курильских островов // Труды ТИНРО. 2001. Т. 28. Ч. II. С. 659-662.

16. Шагинян Э. Р. Размер половозрелости самок и самцов равношипого краба восточной части Охотского моря // Современное состояние популяций крабов Баренцева моря и их взаимодействие с донными биоценозами: тр. межд. конф. Мурманск, 2006. С. 109-111.

17. Судник С.А. О связи линочного и репродуктивного циклов у самок креветок (Crustacea, Decapoda, Natantia) // Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов (25-26.09.2013 г.): тр. научн. конф. Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. С. 290–293.

18. Сытов А. М., Козлов Д. А. Размерный состав и биологическая характеристика антарктического криля // Труды АтлантНИРО Т. 5. №2 (12), 2021. С. 101–115.

19. Bitiutskii D. G., Samyshev E. Z., Minkina N. I., Melnikov V. V., Chudi-novskikh E. S., Usachev S. I., Salyuk P. A., Serebrennikov A. N., Zuev O. A., Orlov A. M. Distribution and Demography of Antarctic Krill and Salps in the Atlantic Sector of the South-ern Ocean during Austral Summer 2021–2022. Water. 14. Vol. (12). 2022. P. 1–21.

20. Самышев Э. З. Антарктический криль и структура планктонного сообщества в его ареале. М.: Наука, 1991. 168 с.

21. Сологуб Д. О. Современные особенности распределения, биологии и горизонтальных миграций антарктического криля (Euphausia superba) в Атлантическом секторе Антарктики: дис. канд. биол. наук: 03.02.10 / Сологуб Денис Олегович. Москва, 2016. 247 с.

22. Судник С.А. Современные проблемы управления природными ресурсами и развитием социально–экономических систем // Материалы XII Международной научной конференции: в 4–х частях. Т. 1 (1), 2016. С. 146–159.

REPRODUCTIVE STATUS OF ANTARCTIC KRILL *EUPHAUSIA SUPERBA* (DANA, 1850) (EUPHAUSIACEA: EUPHAUSIIDAE) FROM TWO AREAS OF THE SOUTHERN OCEAN IN 2020

[1]Sudnik Svetlana Aleksandrovna, Ph.D. in Biology, Associate Professor of VBA Department of IRA KGTU
[2]Kolesnikova Alexandra Dmitrievna, MA, Group 23-BA/m

[1,2]Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,
e-mail: [1]svetlana.sudnik@klgtu.ru; [2]kolesnikova_aleksasha@bk.ru

Analyses of 130 male and 150 female Antarctic krill (Euphausia superba) from two are- as of the Southern Ocean collected in January-February 2020, showed the dominance of small-sized specimens with undeveloped and underdeveloped gonads among males and females; testes of other larger males were pre-mature and mature, larger females had maturing ovaries; the mean single gonadosomatic index of maturing krill female showed a sufficiently high level of reproductive costs for single spawning; the size of vitellogenic oocytes in maturing krill females from the Powell Basin and Bransfield Strait (mature females have not been met in samples) was described for the first time; the reasons of differences in reproductive condition of females of the Weddell Sea were suggested; some features of the relationship between the larval cycle of krill individuals and their development and sexual maturation were revealed for the first time.

УДК 597.591.5

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛЮМПЕНА ФАБРИЦИУСА *LUMPENUS FABRICII* (STICHAEIDAE) КАРСКОГО МОРЯ

[1]Токранов Алексей Михайлович, д-р биол. наук, ст. науч. сотрудник
[2]Орлов Алексей Маркович, д-р биол. наук, доцент
[3]Емелин Павел Олегович, ведущий специалист

[1]Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия, e-mail: tok_50@mail.ru
[2]Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия, e-mail: [2]orlov@vniro.ru
[2]Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия
[3]Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, Россия, e-mail: emelin@vniro.ru

По материалам, собранным в сентябре 2019 г., представлена биологическая характеристика (размерно-возрастная и размерно-половая структура, плодовитость, состав пищи) люмпена Фабрициуса Lumpenus fabricii Карского моря. Установлено, что для этого вида стихеевых рыб характерен половой диморфизм в размерах – самцы крупнее самок, плодовитость которых варьирует от 115 до 436 икринок. Люмпен Фабрициуса – мезобентофаг, основной пищей которому в Карском море служат мелкие донные и придонные беспозвоночные (главным образом, различные многощетинковые черви).

Введение

Люмпен Фабрициуса *Lumpenus fabricii* Reinhardt, 1836 – арктическо-бореальный представитель стихеевых рыб (сем. Stichaeidae), который характеризуется циркумполярным распространением. До недавнего времени считалось, что этот вид встречается в арктических водах (в Белом, южной части Баренцева и юго-западной части Карского моря, отсутствует в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском и вновь появляется в южных районах Чукотского моря и вдоль побережья Северной Америки до Гренландии) и прилегающей к ним акватории западной части Атлантического (в Гудзоновом заливе и проливе Веллингтона, у западного побережья Гренландии на север до о. Диско) и Тихого (по азиатскому побережью от Берингова пролива на юг до северо-восточного побережья о-ва Сахалин и Татарского пролива, по американскому – до бухты Аук на юго-востоке Аляски) океанов [1-21, и др.]. Однако, в последние годы высказывается мнение [12, 22, 23], что люмпен Фабрициуса в Охотском и Японском морях в прошлом неверно идентифицирован и, вероятно, здесь замещается другими видами стихеевых рыб – средним люмпеном *Anisarchus medius*, пятнистым лептоклином *Leptoclinus maculatus* или стреловидным люмпеном *Lumpenus sagitta*, а собственно люмпен Фабрициуса распространен севернее, в связи с чем, его наиболее южной частью ареала в Северной Пацифике следует считать зал. Аляска и Берингово море [11, 24]. Несмотря на столь широкую область географического распространения и то, что этот люмпен во многих местах своего обитания является довольно обычным представителем донных рыб, сведения о его биологии в арктических водах в настоящее время крайне ограничены и фрагментарны [3, 17, 19]. В 2019 г. во время трансарктического рейса на НИС «Профессор Леванидов» в Карском море был собран материал, позволяющий охарактеризовать некоторые черты биологии (размерно-возрастную и размерно-половую структуру, плодовитость, состав пищи) люмпена Фабрициуса в арктических водах.

Материал и методика

Материалом для настоящего сообщения послужили сборы, выполненные в Карском море в сентябре 2019 г. во время проведения на НИС «Профессор Леванидов» траловой съёмки донным тралом ДТ-27,1/24,4 (горизонтальное раскрытие 14–16 м, вертикальное 4–6 м, ячея в кутке 10 мм). Продолжительность большинства тралений составляла 30 минут при средней скорости

около 3 узлов. Выловленные особи люмпена Фабрициуса были заморожены, доставлены во Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), а затем переданы в Камчатский филиал Тихоокеанского института географии (КФ ТИГ) ДВО РАН для последующей камеральной обработки в лабораторных условиях. Всего исследовано 66 экз. люмпена Фабрициуса общей длиной (*TL*) от 124 до 268 мм, которые были подвергнуты полному биологическому анализу с определением возраста. Длину *TL* измеряли с точностью до 1 мм, массу тела на электронных весах - с точностью до 0,1 г. Возраст всех рыб определяли по отолитам, которые предварительно разламывали поперёк с помощью скальпеля в районе центральной ложбины, затем прокаливали на электроплитке и покрывали поверхность глицерином (при необходимости слегка подшлифовывали). Для оценки плодовитости люмпена Фабрициуса использованы яичники 11 его самок длиной 144-188 мм на III-IV стадии зрелости, каждый из которых взвешивали, брали навеску (около 25% от общей массы яичника), просчитывали в ней икру, а затем рассчитывали индивидуальную плодовитость. Обработку желудков всех 66 экз. люмпена Фабрициуса вели количественно-весовым методом в соответствии с «Методическим пособием…» [1974]. Статистическую обработку полученных результатов проводили согласно общепринятой методике [26].

Результаты и обсуждение

По данным траловой съёмки, выполненной в сентябре 2019 г., люмпен Фабрициуса отмечен в уловах только на четырех из 55 станций в самой юго-восточной части обследованной акватории Карского моря на глубинах от 20 до 105 (в среднем 50,5) м. Уловы результативных тралений варьировали в пределах 1-81 (в среднем 29,5) экз. или 0,026-4,42 (в среднем 1,24) кг, что в пересчете на часовое траление составило 0,05-8,84 (в среднем 2,47) кг. Средняя плотность по численности в пределах обследованной акватории оценена нами в 107,37 экз./км^2, по биомассе – в 5,09 кг/км^2.

Согласно имеющейся в литературе информации, предельная длина люмпена Фабрициуса, зарегистрированная у экземпляра из Белого моря, достигает 365 мм [1, 12, 14, 17, 19], хотя в Баренцевом море она не превышает 354 мм, а у берегов Гренландии – 342 мм. Сведения о весовом составе этого люмпена отсутствуют, а максимальная продолжительность его жизни оценивается в 17 лет [19]. По нашим данным, наибольшая длина люмпена Фабрициуса в Карском море во время выполнения траловой съёмки в сентябре 2019 г. составила 268 мм, масса тела – 28,3 г, а возраст – 9 лет. В целом на обследованных участках Карского моря этот вид стихеевых рыб был представлен в траловых уловах особями длиной 124-268 (в среднем 174±3) мм с массой тела 4,8-28,3 (в среднем 12,8±0,5) г в возрасте от 5 до 9 (в среднем 6,3±0,1) лет (рис. 1). Однако доминировали рыбы в возрасте 6-7 лет (79,5%) длиной 141-200 мм (78,8%) с массой тела 8-16 г (72,7%). Более 60% исследованных особей оказались неполовозрелыми, в том числе, 75,0% самцов и 52,3% самок.

Рис. 1. Размерный (а), весовой (б) и возрастной (в) состав люмпена Фабрициуса в траловых уловах в Карском море, сентябрь 2019 г.

По нашим данным, самцы люмпена Фабрициуса в Карском море в сентябре 2019 г. были представлены в уловах особями длиной 139-268 (в среднем 191±5) мм с массой тела 7,5-28,3 (в среднем 14,6±0,8) г в возрасте от 6 до 9 (в среднем 6,7±0,1) лет, самки – 124-218 (в среднем 161±3) мм и 4,8-20,9 (в среднем 11,6±0,6) г в возрасте от 5 до 8 (в среднем 6,1±0,1) лет соответственно (рис. 2). Аналогичная разница в максимальных размерах особей разного пола отмечена ранее у некоторых других видов стихеевых рыб в прибрежных водах Охотского моря у Западной Камчатки, в том числе, у колючего *Acantholumpenus mackayi* и стреловидного *Lumpenus sagitta* люмпенов [27, 28]. Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что для люмпена Фабрициуса характерен половой диморфизм в размерах половозрелых особей разного пола (самцы крупнее самок), относительно высокая доля самок среди более мелких рыб (что ведёт к их существенному увеличению в нерестовой части популяции) и почти полное (до нуля) отсутствие среди самых крупных особей.

Рис. 2. Размерный (а), весовой (б) и возрастной (в) состав самцов (1) и самок (2) люмпена Фабрициуса в траловых уловах в Карском море, сентябрь 2019 г.

Но как свидетельствуют наши материалы, разница в длине и массе тела одновозрастных самцов и самок люмпена Фабрициуса невелика, что, по-видимому, обусловлено незначительными различиями в темпе их роста и продолжительности жизни (табл. 1). Поэтому, если среди мелких экземпляров этого вида соотношение полов, по-видимому, примерно равное, либо несколько преобладают самки, то среди особей длиной свыше 120 мм их относительное количество значительно возрастает, составляя в размерной группе 141-180 мм 84,4%. Однако, среди рыб длиной более 180 мм доля самок начинает резко сокращаться, доходя до нуля при длине свыше 220 мм (рис. 3), в связи с чем, самые крупные экземпляры у этого вида представлены исключительно самцами. В целом же, по нашим данным, в Карском море самки люмпена Фабрициуса в 1,35 раза преобладают над самцами, что, по-видимому, обусловлено их низкой индивидуальной плодовитостью.

Таблица 1

Размеры самцов и самок люмпена Фабрициуса разных возрастных групп в Карском море (сентябрь 2019 г.)

Показатель	Возраст, годы				
	5	**6**	**7**	**8**	**9**
Самцы					
Длина, мм		173±5* 139-187	197±2 190-215	215±10 210-225	268
Масса тела, г		12,3±0,8 7,5-15,9	14,7±0,4 13,0-17,2	20,0±2,5 15,4-20,4	28,3
Число рыб, экз.		12	13	2	1
Самки					
Длина, мм	128±3 124-135	156±2 139-187	192±5 188-205	218	
Масса тела, г	5,6±0,7 4,8-6,4	12,8±0,6 6,8-7,8	17,0±0,8 15,8-18,1	17,1	
Число рыб, экз.	3	30	4	1	

*Над чертой - среднее значение показателя ± его ошибка, под чертой – пределы колебаний

Рис. 3. Относительное количество самок (%) в размерных группах люмпена Фабрициуса в Карском море

По литературным данным, люмпен Фабрициуса в Карском море созревает при длине 160 мм [19], а у самки размером 164 мм из юго-западной части этого моря обнаружено 490 почти зрелых икринок диаметром около 3 мм [3, 17, 19]. По нашей оценке, его особи обоих полов созревают в одном возрасте на шестом году жизни, хотя самки при меньших линейных размерах, чем самцы – соответственно 144 и 170 мм. Индивидуальная плодовитость шести-семилетних самок люмпена Фабрициуса длиной 148-188 мм в Карском море варьирует от 115 до 436, составляя в среднем 275±28 икринок. Однако, преобладающее большинство (8 из 11 или почти 73 %) исследованных нами самок на III-IV стадии зрелости обладали индивидуальной плодовитостью от 200 до 400 икринок. Поскольку нерест этого вида в Карском море, по литературным данным [3, 17], происходит, по-видимому, в октябре-ноябре, икринки ещё не достигли окончательной величины и их диаметр варьировал от 2,0 до 2,3 мм. Как и у многих других видов рыб, с увеличением размеров и возраста самок этого вида люмпенов количество продуцируемой ими икры возрастает, несмотря на существенные колебания индивидуальной плодовитости внутри каждой размерной, весовой и возрастной группы (табл. 2).

Таблица 2

Изменения индивидуальной плодовитости люмпена Фабрициуса Карского моря с увеличением длины, массы тела и возраста

Показатель		Индивидуальная плодовитость, икринок		
		Средняя±ошибка	Колебания	Число рыб, экз.
Длина, мм	141-160	250±40	115-330	4
	161-180	250±40	154-360	4
	181-200	350±57	222-436	3
Масса тела, г	8-12	150±14	115-154	4
	12-16	275±47	163-360	4
	16-20	350±100	222-436	2
	20-24	390	-	1
Возраст, лет	6	261±26	115-390	9
	7	350±100	222-436	2

Согласно имеющимся в литературе данным [17, 19], по типу питания люмпена Фабрициуса можно отнести к мезобентофагам, использующим в пищу различных мелких донных беспозвоночных. Результаты наших исследований свидетельствуют, что, хотя для этого люмпена в Карском море характерен довольно широкий пищевой спектр, включающий представителей 8 групп кормовых организмов (табл. 3), основа его биомассы (около 82%) формируется за счет одной группы пищевых объектов – многощетинковых червей Polychaeta.

Таблица 3

Состав пищи (% по массе) люмпена Фабрициуса в Карском море в сентябре 2019 г.

Компонент	Длина, мм			В целом
	121-160	161-200	>200	
Polychaeta	79,5	77,3	96,8	81,9 (92,4) *
Ostracoda	0,1	<0,1	0,1	<0,1 (21,2)
Leptostraca	-	-	<0,1	<0,1 (1,5)
Amphipoda	16,7	1,5	2,5	4,2 (24,2)
Decapoda	-	0,1	-	0,1 (1,5)
Bivalvia	3,7	1,6	0,5	1,8 (27,3)
Gastropoda	-	0,2	0,1	0,1 (4,5)
Pisces, juv	-	19,3	-	11,9 (3,0)
Доля пустых желудков, %	8,0	0	0	3,0
Индекс наполнения желудков, ‰	82	123	113	114
Число исследованных рыб, экз.	25	32	9	66

*В скобках указана частота встречаемости (в %) каждого пищевого компонента.

Как и у некоторых других стихеевых рыб [27], с увеличением размеров люмпена Фабрициуса потребление им различных групп кормовых организмов в Карском море несколько изменяется. Если у его относительно мелких особей (121-160 мм), наряду с многощетинковыми червями, заметную роль в пище играют также бокоплавы и двустворчатые моллюски с размером раковины 1-3 мм, суммарная доля которых составляет свыше 20% по массе, то у крупных рыб (более 200 мм) их значение сокращается всего до 3% по массе, тогда как потребление многощетинковых червей, наоборот, возрастает (табл. 3). Нами впервые зарегистрировано использование в Карском море таким типичным мезобентофагом как люмпен Фабрициуса в качестве пищевого компонента мелких мальков сайки *Boreogadus saida* длиной около 30-35 мм. Одно из возможных объяснений этого – высокая концентрация в осенний период в придонном слое в местах нахождения люмпена Фабрициуса молоди данного вида рыб, соизмеримой по размерам с традиционными объектами его питания - многощетинковыми червями и бокоплавами.

Заключение

Результаты выполненных исследований свидетельствуют, что люмпен Фабрициуса в Карском море во время выполнения траловой съёмки в сентябре 2019 г. был представлен в уловах особями общей длиной от 124 до 268 (в среднем 174±3) мм с массой тела 4,8-28,3 (в среднем 12,8±0,5) г в возрасте от 5 до 9 (в среднем 6,3±0,1) лет. Однако доминировали 6-7-летние рыбы (79,5%) длиной 141-200 мм (78,8%) с массой тела 8-16 г (72,7%).

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что созревание самцов и самок люмпена Фабрициуса происходит на шестом году жизни при линейных размерах первых 170, а вторых - 144 мм. Для этого вида стихеевых рыб характерен половой диморфизм в размерах половозрелых особей, максимальные значения которых в сентябре 2019 г. в Карском море у самцов составляли 268 мм и 28,3 г, а у самок – 218 мм и 20,9 г. Поэтому, если среди мелких экземпляров люмпена Фабрициуса соотношение полов примерно равное, либо несколько преобладают самки, то среди особей длиной свыше 120 мм их относительное количество значительно возрастает, составляя в размерной группе 141-180 мм 84,4%. Однако, среди рыб длиной более 180 мм доля самок резко сокращается, доходя до нуля при размере свыше 220 мм, в связи с чем, самые крупные экземпляры у этого вида представлены исключительно самцами. Некоторое преобладание самок над самцами у люмпена Фабрициуса в Карском море, очевидно, обеспечивает при их малой индивидуальной плодовитости (по нашим данным, от 115 до 436, в среднем 275±28 икринок) увеличение популяционной плодовитости этого вида, а, следовательно, продуцирование большего количества икры, обеспечивающего появление более многочисленного потомства.

Согласно нашим данным, для люмпена Фабрициуса в Карском море характерен довольно широкий пищевой спектр, включающий представителей 8 различных групп кормовых организмов. Однако, поскольку основа его биомассы (около 82%) формируется за счет многощетинковых червей, по типу питания этого люмпена здесь можно отнести к мезобентофагам. По мере увеличения размеров, потребление люмпеном Фабрициуса различных групп кормовых организмов в Карском море несколько изменяется. Если у его относительно мелких особей (121-160 мм), наряду с многощетинковыми червями, заметную роль в пище играют также бокоплавы и двустворчатые моллюски с размером раковины 1-3 мм (суммарная доля - свыше 20% по массе), то у крупных рыб (более 200 мм) их значение сокращается всего до 3% по массе, тогда как потребление многощетинковых червей, наоборот, возрастает.

Благодарности

Авторы выражают благодарность своим коллегам из ВНИРО, ПИНРО и ТИНРО за помощь в море при сборе материалов, использованных в данной работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Определитель рыб морей Баренцева, Белого и Карского / Н.М. Книповича // Труды Научно-исследовательского института по изучению Севера. - 1926. - Вып. 27. - С. 1-183.

2. Шмидт П.Ю. Рыбы Охотского моря. - М.: Изд-во АН СССР, 1950. - 370 с.

3. Андрияшев А.П. Рыбы северных морей СССР. - М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1954. - 566 с.

4. Федоров В.В. Список рыб Берингова моря // Известия ТИНРО. - 1973. - Т. 87. - С. 42-71.

5. Видовой состав, распределение и глубины обитания видов рыбообразных и рыб северных Курильских островов / В.В. Федоров // Промыслово-биологические исследования рыб в тихоокеанских водах Курильских о-вов и прилежащих районах Охотского и Берингова морей в 1992-1998 гг. - М.: ВНИРО, 2000. - С. 7-41.

6. Линдберг Г.У., Красюкова З.В. Рыбы Японского моря и сопредельных частей Охотского и Желтого морей. - Л.: Наука, 1975. - Ч. 4. - 463 с.

7. Atlas and zoogeography of common fishes in the Bering Sea and northeastern Pacific / M.J. Allen, G.B. Smith // U.S. Department of Commerce, NOAA Technical Report NMFS 66. - 1988. - 151 p.

8. Андрияшев А.П., Чернова Н.В. Аннотированный список рыбообразных и рыб морей Арктики и сопредельных вод // Вопросы ихтиологии. - 1994. - Т. 34. - № 4. - С. 435-456.

9. Борец Л.А. Донные ихтиоцены российского шельфа дальневосточных морей: состав, структура, элементы функционирования и промысловое значение. - Владивосток: ТИНРО-центр, 1997. - 217 с.

10. Борец Л.А. Аннотированный список рыб дальневосточных морей. - Владивосток: ТИНРО-Центр, 2000. - 192 с.

11. Класс Cephalaspidomorphi – Миноги. Класс Chondrichthyes – Хрящевые рыбы. Класс Holocephali – Цельноголовые. Класс Osteichthyes – Костные рыбы / Б.А. Шейко, В.В. Федоров // Каталог позвоночных животных Камчатки и сопредельных морских акваторий. - Петропавловск-Камчатский: Камчатский печатный двор, 2000. – Гл. 1. - С. 7-69.

12. Mecklenburg C.W., Mecklenburg T.A., Thorsteinson L.K. Fishes of Alaska. - Bethesda, Maryland: American Fisheries Society, 2002. - XXXVII+1037 p. + 40 Pl.

13. Долгов А.В. Видовой состав ихтиофауны и структура ихтиоценов Баренцева моря // Известия ТИНРО. - 2004. - Т. 137. - С. 177-195.

14. Resources Inventory of Marine and Estuarine Fishes of the West Coast and Alaska: A Checklist of North Pacific and Arctic Ocean Species from Baja California to the Alaska- Yukon Border / M.S. Love, C.W. Mecklenburg, T.A. Mecklenburg et al. – Seattle, Washington: U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Biological Resources Division, 2005. – 276 p.

15. Датский А.В., Андронов П.Ю. Ихтиоцен верхнего шельфа северо-западной части Берингова моря. - Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2007. - 261 с.

16. Dolgov A.V. Annotated list of fish-like vertebrates and fish of the Kara Sea // Journal of Ichthyology. – 2013. - Vol. 53. - № 11. - P. 914–922.

17. *Lumpenus fabricii* Reinhardt, 1836 – люмпен Фабриция / О.В. Карамушко // Рыбы в заповедниках России. В 2-х томах. - М.: Товарищество научных изданий КМК, 2013. - Т. 2. Морские рыбы. - С. 394-396.

18. Парин Н.В., Евсеенко С.А., Васильева Е.Д. Рыбы морей России: аннотированный каталог. - М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. - 733 с.

19. Атлас-определитель рыб Карского моря / А.В. Долгов, А.П. Новоселов, Т.А. Прохорова и др. - Мурманск: ПИНРО, 2018. - 271 с.

20. Некоторые предварительные результаты биологических исследований в Карском море на НИС «Профессор Леванидов» в сентябре 2019 г. /А.М. Орлов, А.Н. Бензик, М.О. Рыбаков и др. // Труды ВНИРО. – 2000. - Т. 182. – С. 201-2015. DOI: 10.36038/2307-3497-2020-182-201-215

21. Новые данные по ихтиофауне четырёх морей российской Арктики (Чукотского, Восточно-Сибирского, Лаптевых и Карского) / А.М. Орлов, М.О. Рыбаков, Е.В. Ведищева и др. // XXI международная научная конференция, посвященная 75-летию со дня рождения одного из организаторов современной гидробиологической науки на Камчатке, д.б.н. В.В. Ошуркова «Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей»: Сборник материалов. - Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2020. - С. 296-305.

22. Pacific Arctic marine fishes / C.W. Mecklenburg, T.A. Mecklenburg, B.A. Sheiko et al. // Conservation of Arctic flora and fauna, Akureyri, Iceland. CAFF Monitoring Ser. Report. – 2016. – №23. – 377 p.

23. Marine fishes of the Arctic region / C. W. Mecklenburg, A. Lynghammar, E. Johannesen et al. // CAFF Monitoring Ser. Report 28. – 2018. – Vol. 1. – vii + 1–454 p.

24. Ихтиофауна залива Анива (остров Сахалин, Охотское море) / Ю.В. Дылдин, А.М. Орлов, А.Я. Великанов и др. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2020. – 396 с.

25. Методическое пособие по изучению питания и пищевых отношений рыб в естественных условиях. - М.: Наука, 1974. - 254 с.

26. Лакин Г.Ф. Биометрия. - М.: Высшая школа, 1980. - 292 с.

27. Токранов А.М. Питание массовых видов стихеевых рыб (Stichaeidae, Pisces) у западного побережья Камчатки // Бюллетень МОИП. - Отделение биологии. – 1990. - Т. 95. - Вып. 2. - С. 51-58.

28. Токранов А.М. Некоторые черты биологии трёх видов стихеевых рыб (Stichaeidae) в прикамчатских водах Охотского моря // XVI международная научная конференция, посвященная 20-летию образования природных парков на Камчатке «Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей»: Сборник тезисов докладов. – Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2015. – С. 248-252.

BIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF SLENDER EELBLENNY *LUMPENUS FABRICII* (STICHAEIDAE) OF THE KARA SEA

[1]Tokranov Alexey Mikhailovich, Doctor of Biological Sciences, Senior Scientist
[2]Orlov Alexei Markovich, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor
[3]Emelin Pavel Olegovich, Leading Specialist

[1]Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute FEB RAS,
Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, e-mail: tok_50@mail.ru
[2]Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, Russia, e-mail: orlov@vniro.ru
[2]A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution RAS, Moscow, Russia
[3]Russian Research Institute of Fishery and Oceanography, Moscow, Russia,
e-mail: emelin@vniro.ru

Based on the 2019 studies, the biological features (size-age and size-sex structures, sexual dimorphism, fecundity, diet composition) of slender eelblenny Lumpenus fabricii (Stichaeidae) of the Kara Sea are presented. This species of Stichaeidae is characterized by sexual dimorphism in size (males are larger than females). Its fecundity is varied from 115 to 436 eggs. Slender eelblenny is mesobenthophage, which diet in the Kara Sea consists mostly of Polychaeta.

УДК 594.124+УДК 574.633

ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ, САНИТАРНО-МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ И ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ СУБЛИТОРАЛЬНЫХ ПОСЕЛЕНИЙ МИДИИ ГУБЫ ПЕЧЕНГА БАРЕНЦЕВА МОРЯ

[1]Тюкина Ольга Сергеевна, старший преподаватель кафедры биологии и биоресурсов
[2]Кравец Пётр Петрович, канд. биол. наук, доцент, заведующий кафедрой биологии и биоресурсов
[3]Деркач Светлана Ростиславовна, д-р хим. наук, профессор, профессор кафедры химии

[1,2,3] Мурманский арктический университет, Мурманск, Россия,
e-mail: [1]tyukinaos@mstu.edu.ru

В работе по материалам, собранным в июле 2023 г., представлены данные исследованных сублиторальных поселений мидии в губе Печенга на западном побережье Баренцева моря. Изучены показатели обилия, размерно-весовая и возрастная структуры поселения моллюсков, а также определены содержание тяжёлых металлов и радионуклидов в мягких тканях мидии и санитарно-микробиологические показатели.

Одним из наиболее распространенных гидробионтов сублиторали Кольского берега Баренцева моря являются представители двустворчатых моллюсков рода *Mytilus* (рис.1) [1]. Мидии являются важным компонентом прибрежных высокопродуктивных экосистем Баренцева моря, входят в пищевые цепи многих гидробионтов, являются фильтраторами и средообразующими организмами [1-3]. Кроме того, данные моллюски являются диетическим продуктом, с хорошим вкусовым качеством и богатым по биохимическому составу пищевым объектом для человека [4-10]. Мидии в процессе жизнедеятельности пропускают через себя значительные объёмы морской воды, аккумулируя в организме токсичные вещества из морской среды. Поэтому могут использоваться как индикатор состояния окружающей среды в комплексных исследованиях [11].

Цель представленной работы – оценить возможность организации мидиевых хозяйств в губе Печенга Баренцева моря на основе эколого-биологического, санитарно-микробиологического и токсикологического состояния поселений мидии губы.

Рис. 1. Мидии: очищенные для анализов (1) и в естественных поселениях (2)

Сбор биоматериала сублиторальных поселений мидии (*Mytilus*) в губе Печенга проводили во второй половине июля 2023 года в трех районах – устье, середине, куту (рис. 2). Протяженность губы около 17 км, максимальные глубины в кутовой части около 60 м, в устьевой части около 120 м. Грунты глинистые, илистые, песчаные, местами с небольшими камнями. Вблизи берегов могут быть крупные валуны. В кутовую часть губы, для которой характерна песчано-глинистая отмель, обсыхающая во время отлива, впадает одноименная река Печенга. Скорость течения может достигать 1 м/с. [12,13]. Развитие внутреннего туризма (дайвинг), активная деятельность по товарному выращиванию лососевых рыб и вводом в эксплуатацию комплекса с фабрикой по убою и переработке рыбы компанией ООО «Русский лосось», прибрежный промысел, а также дислокация военной части способствуют увеличению активности трафика движения, кораблей, катеров и моторных лодок. Наибольшая деятельность человека наблюдается в устье и середине губы.

Рис. 2. Карта района исследования губы Печенга: 1 – район устья губы, 2 – средняя часть губы, 3 – кутовая часть губы (https://yandex.ru/maps/?ll=31.460102%2C69.618510&z=11.18)

Пробы моллюска отбирали при водолазных погружениях методом вертикальных трансект, которые закладывали перпендикулярно по отношению к берегу [14]. Трансекты закладывали на глубине от 2 до 10 м по мере встречаемости моллюсков. Мидии собирали с помощью рамки 0,01 м^2. Всего было собрано для камеральной обработки 15 проб. Также были отобраны мидии с суб-

литорали для проведения санитарно-микробиологического и токсикологического анализов.

Для камеральной обработки раковины мидий очищали от эпибионтов (рис. 1(1)). Штангенциркулем проводили измерения размерных параметров с точностью до 0,1 мм. Далее проводили взвешивание целых моллюсков на весах с точностью до 0,01 г. Затем проводили вскрытие особей и взвешивание их тела и створок согласно стандартным протоколам. Вес полостной жидкости определяли путем расчетов [14]. Особо выделяли моллюсков с длиной раковины от 5 см, т.к. они являются промысловыми объектами. В конце на высушенных створках раковины проводили подсчет колец зимней остановки роста для определения возраста моллюсков.

Санитарно-микробиологические и токсикологические исследования живых мидий проводили на соответствие требованиям: ГОСТ 33283-2015 Мидии живые. Технические условия, ТР ТС 021/2011 Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции», ТР ЕАЭС 040/2016 Технический регламент Евразийского экономического союза «О безопасности рыбы и рыбной продукции», Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю), утвержденные решением Комиссии Таможенного союза от 28.05.10 №299. Методики использовали по следующим нормативным документам: ГОСТ 30178-96, ГОСТ 2630-86, ГОСТ 2630-86, ГОСТ 32163-2013, ГОСТ 32161-2013, ГОСТ 32031-2022, ГОСТ 31746-2012 (ISO 6888-1:1999, ISO 6888-2:1999, ISO 6888-3:2003), ГОСТ ISO/TS 21872-1-2013, ГОСТ 31747-2012, ГОСТ 28566-90, ГОСТ 10444.15-94, ГОСТ 31659-2012, ГОСТ 29185-2014, СР РК 2779-2015. Данная часть исследования образцов проведена на базе ГОБВУ «Мурманская областная станция по борьбе с болезнями животных».

Математическую обработку протоколов исследования проводили с помощью MS Excel 2010. Особи возрастом с длинной раковины менее 9 мм не принимались во внимание при расчетах популяционных и размерно-весовых параметров.

В ходе проведенного исследования было зарегистрировано, что мидии на сублиторали губы Печенга встречались на глубине от 3 м до 10 м в устье, от 2,5 до 10м в средне губы и от 2 м до 6 м в куту. В последней части моллюски сформировали плотное скопление (банку) в зарослях ламинарии.

Рассматривая показатели обилия поселений объекта исследования можно проследить увеличение данных показателей в направлении от устья к кутовой части губы (таблица 1). Вероятно, это связано с повышенной гидродинамикой в рассматриваемом районе, которая обеспечивает моллюсков пищей и способствует процессам самоочищения. Кроме того, там было отмечено наличие на дне камней и большого количества представителей разных видов бурых водорослей – ризоиды и листовые пластины которых используются мидией в качестве субстрата для прикрепления, а также поверхности для оседания личинок. Максимальные значения биомассы (25553± … г/м^2) и плотности (3500±… экз./м^2) характерны для мидиевой банки, что свидетельствует о хорошей обеспеченности гидробионтов пищей и способствует образованию их значительного скопления.

Таблица 1

Показатели обилия сублиторальных поселений мидии губы Печенга в июле 2023 г.

Район губы	**Численность, тыс. экз./м^2**	**Биомасса, г/м^2**
Устье	0,8 ± 0,38	14449 ± 1933
Середина	0,8 ± 0,41	10773 ± 4704
Кут	3,5 ± 7,44	25553 ± 5928
Губа	**1,7** ± 0,43	**16925** ± 2824

Примечание: «±» стандартная ошибка.

Размерно-весовая структура сублиторальных поселений мидии в изучаемых районах представлена в таблице 2. По данным видно, что значения данных параметров различаются по районам. Моллюски из средней части по средней длине раковины превосходят остальных, однако по всем другим параметрам уступают мидиям из устья губы. Максимальная длина створок и масса моллюска из собранных в губе Печенга составила 94,5 мм и 112,6 г соответственно. На долю моллюсков промыслового размера (от 5 см) от общей численности пришлось: в устье – 28%, в средней части – 40% и в кутовой части – 20%.

Таблица 2

Размерно-весовая структура моллюсков сублиторальных поселений губы Печенга в июле 2023 г.

Район исследования	Длина раковины моллюска, см	Масса мидии, г	Масса створок моллюска, г	Масса тела моллюска, г	Масса мантийной жидкости, г
Устье	4,0 ± 0,38	18,1 ± 3,83	10,5 ± 2,25	5,6 ± 1,17	3,5 ± 0,68
Середина	4,4 ± 0,27	13,8 ± 1,74	6,6 ± 0,78	4,3 ± 0,50	3,3 ± 0,57
Кут	3,4 ± 0,15	8,5 ± 0,97	4,4 ± 0,49	3,2 ± 0,31	2,0 ± 0,28
Губа	**3,7 ± 0,13**	**11,5 ± 1,06**	**6,1 ± 0,59**	**3,9 ± 0,32**	**2,3 ± 0,25**

Примечание: «±» стандартная ошибка.

Относительная масса сырых мягких тканей тела у мидий колебалась в пределах от 31 % до 37,6 % (кутовая часть) общей прижизненной массы, а доля раковины в пределах от 51% до 58%, наибольший показатель получен для устья губы.

Рассмотренные в данной работе параметры, отражающие размерно-весовые характеристики моллюсков, тесно связаны с физиологическими характеристиками гидробионтов. В свою очередь, эти характеристики зависят как от биотических, так и от абиотических факторов окружающей среды [15]. При этом раковина мидии является метаболически инертной массой, т.е. не вступающей в химические и биологические реакции обмена веществ моллюсков [16]. Соответственно, при длительном воздействии неблагоприятного(ых) фактора(ов) на организм моллюска возникает ответная защитная реакция формирования мощной, утолщенной раковины. Данная реакция в конечном итоге приводит к возникновению дефицита энергии для формирования продукции мягких тканей двустворчатых. В связи с выше изложенным, в качестве биомаркера морской воды возможно использование размерных параметров и коэффициента отношения массы тела мидий к общей массе моллюска с раковиной в совокупности [11].

Средний коэффициент массы (w/W) в сублиторальном поселении моллюсков кутовой части составил 0,37, средней – 0,31 и устьевой – 0,30. Полученные значения коэффициента хорошо соотносятся с экологическими различиями в районах губы (наблюдаемой усиленной эксплуатацией середины и устья, а также благоприятными условиями для развития кормовой базы мидий в куту). Кроме того, полученное значение коэффициента для кута такое же, как и для фонового участка – губы Ярнышная восточного побережья Баренцева моря (0,37), полученное по материалам, собранным в июле 2022 г. Губа Ярнышная считается относительно чистой акваторией с точки зрения антропогенной нагрузки [1].

Возрастная структура поселений мидий довольно неоднородная, различия есть как в количестве возрастных классов, так и в соотношениях их численности. Возраст мидий в исследуемых районах не превышал 15 лет, но для кутовой части максимальный возраст составил 10 лет. Поселения устья и кутовой части представлены преимущественно молодыми особями возрастом до 3 лет. Для средней части характерно присутствие большого числа моллюсков старших возрастных групп (4, 6, 7 и 9 лет), также характерно наличие молодых особей возрастом от 0+ до 3+ которые составляют в сумме 30% от общего числа моллюсков. Многочисленные сеголетки, одно-, двух и трехлетние особи в поселениях свидетельствуют об интенсивном ежегодном оседание молоди.

В результате проведенных санитарно-микробиологических и токсикологических анализов было установлено, что концентрация тяжелых металлов и радионуклидов не превышали допустимых значений, микробиологические показатели и паразитическое исследование соответствовали принятым нормативам по моллюскам, как пищевому сырью (таблица 3).

Таблица 3

Санитарно-микробиологическое и токсикологическое исследование

№	Наименование показателя	Результат испытаний	Норматив
1	As	0,86 ± 0,13мг/кг	не более 5,0
2	Pb	0,29 ± 0,05мг/кг	не более 10,0
3	Cd	0,037 ± 0,007мг/кг	не более 2,0
4	Hg	0,008 ± 0,002мг/кг	не более 0,2
5	удельная активность ^{90}Sr	1,1 ± 6,6Бк/кг	100,0
6	удельная активность ^{137}Cs	менее 1 ± 3,0 Бк/кг	130,0
7	*Listeria monocytogenes*	Не обнаружены	Наличие не допускается
8	*Staphylococcus aureus*	Не обнаружены	Наличие не допускается
9	*Vibrio parahaemolyticus*	Не обнаружены	Наличие не допускается
10	Бактерии рода *Enterococcus*	Не обнаружены	Наличие не допускается
11	Бактерии группы кишечных палочек (колиформы)	Не обнаружены	Наличие не допускается
12	Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов	$1,1*10^3$ КОЕ/г	Не более $5*10^3$ КОЕ/г
13	Патогены, в том числе сальмонеллы	Не обнаружены	Наличие не допускается
14	Сульфитредуцирующие клостридии	Не обнаружены	Наличие не допускается
15	Живые личинки паразитов, опасных для здоровья человека	Не обнаружены	Наличие не допускается

Примечание: «±» погрешность (неопределенность)

Таким образом, по итогам проведенных работ в губе Печенга Баренцева моря для выращивания мидии наиболее перспективна исследованная акватория кутовой части в связи с подходящими условиями для организации мидиевых хозяйств.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 22-16-20046) и Министерства образования и науки Мурманской области (соглашение № 103). Авторы выражают благодарность научному коллективу ФГАОУ ВО «Мурманский арктический университет», работающему по гранту за помощь в сборе и камеральной обработке материала: Малавенде С.С., Приймаку П.Г., Шерстюк Е.С., Аллояровой Ю.В., Бордиян В.В. и Глухареву А.Ю.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кравец П. П. Популяционный анализ поселений мидий *Mytilus edulis* L. в экосистемах Баренцева моря: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. биол. наук. – Петрозаводск. – 2011. – 25 с.

2. Общая информация о Мурманской области // Электрон. Дан. Режим доступа URL: https://gov-murman.ru/region/index.php (дата обращения 01.09.2023)

3. Песов А. Э. Промысловые двустворчатые моллюски (Bivalvia) верхней сублиторали Баренцевоморского побережья Кольского полуострова: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. биол. наук. – Москва, 2008. – 25 с.

4. Битютская О.Е. Систематизация способов комплексной переработки мидий // Известия Вузов. Пищевая технология. – 2019. – № 5-6. – С.9-15.

5. Патент 2576870 «Способ производства консервов «Салат овощной с мидиями», опубликовано: 10.03.2016, Бюл. № 7.

6. Патент 2548109 «Способ получения основы для поликомпонентного пищевого продукта из мидий», опубликовано: 10.04.2015 Бюл. № 10.

7. Патент 2743019 «Способ получения масляной композиции, обогащенной полиненасыщенными жирными кислотами и каротиноидами из мидий *Calloprovincialis*, опубликовано 12.02.2021 Бюл. № 5.

8. Табакаева О. В., Табакаев А. В. Микронутриентный состав пищевых частей промыслового двустворчатого моллюска *Anadara broughtoni* // Вопросы питания. – 2016. – № 1. – С. 92-98.

9. Hyunga Jun-Ho, Ahnb Chang-Bum, Jea Jae-Young. Blue mussel (*Mytilus edulis*) protein hydrolysate promotes mouse mesenchymal stem cell differentiation into osteoblasts through upregulation of bone morphogenetic protein // Food Chemistry. – 2018. – Vol. 242. – P. 156–161.

10. Meram Chalamaiah, Wenlin Yu, Jianping Wu. Immunomodulatory and anticancer protein hydrolysates (peptides) from food proteins: A review // Food Chemistry. – 2018. – Vol. 245. – P. 205–222.

11. Горбунова Т. Л., Башарова М. П., Матова Н. И. Морфометрические характеристики черноморских мидий *Mytilus galloprovincialis* lam. как биоиндикатор антропогенного воздействия на прибрежные биоценозы черного моря на территориях рекреационно-туристской специализации // Амурский зоологический журнал. – 2022. – №3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/morfometricheskie-harakteristiki-chernomorskih-midiy-mytilus-galloprovincialis-lam-kak-bioindikator-antropogennogo-vozdeystviya-na (дата обращения: 01.09.2023).

12. Лоция Баренцева моря. В 2-х частях. – СПб.: ГУН и О, 2001, 1995. – 264 с., 464 с.

13. Гидролого-гидрохимическая характеристика среды обитания водных биоресурсов в губе Печенга / В.В. Сапожников, Н.В. Аржанова, А.К. Грузевич, Н.М. Зозуля и др. // Труды ВНИРО. – 2017. – Т. 165. – С. 83-100.

14. Изучение экосистем рыбохозяйственных водоемов, сбор и обработка данных о водных биологических ресурсах, техника и технология их добычи и переработки / Е. И. Блинова, О. Ю. Вилкова, Д. М. Милютин и др. // Вып. 3: Методы ландшафтных исследований и оценки запасов донных беспозвоночных и водорослей морской прибрежной зоны. – М.: ВНИРО. – 2005. – 139 с.

15. Васечкина Е. Ф., Казанкова И. И. Математическое моделирование роста и развития мидии *Mytilus galloprovincialis* на искусственном субстрате // Океанология. – 2014. – Т. – № 6. – С. 816–824. https://doi.org/10.7868/S0030157414060112

16. Золотницкий А. П., Сытник Н. А. Энергетический бюджет и эффективность использования пищи на рост у черноморской мидии (*Mytilus galloprovincialis*) // Экосистемы. – 2019. – № 20 (50). – С. 105–116.

ECOLOGICAL-BIOLOGICAL, SANITARY-MICROBIOLOGICAL AND TOXICOLOGICAL STUDIES OF NATURAL SUBLITTORAL SETTLEMENTS OF THE PECHENGA BAY MUSSEL IN THE BARENTS SEA

[1]Tyukina Olga Sergeevna, senior lecturer
[2]Kravets Petr Petrovich, Ph.D., Associate Professor, Head of department
[3]Derkach Svetlana Rostislavovna, Doctor of Sciences, Professor, professor of the department

[1,2,3]Murmansk Arctic University, Murmansk, Russia, e-mail: [1]tyukinaos@mstu.edu.ru;

The article describes the results of a study of mussels living on the sublitoral of the Pechenga Bay of the western Murmansk of the Barents Sea in July 2023. We present the results of the study of the number, size-weight and age structure of mussel settlements. The article also describes the content of heavy metals and radionuclides, sanitary-microbiological and toxicological indicators of the soft tissues of the mussel.

УДК 575.17:597.553.2.

РАЗНООБРАЗИЕ ВАРИАНТОВ ГЕНА *ONNE-DAB* ИЗ ГЛАВНОГО КОМПЛЕКСА ТКАНЕВОЙ СОВМЕСТИМОСТИ (МНС) НЕРКИ (*ONCORHYNCHUS NERKA*) АЗИАТСКО-ТИХООКЕАНСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ

[1]Хрусталева Анастасия Михайловна, канд. биол. наук, ст. науч. сотрудник группы биоинформатики
[2]Ревель-Муроз Анастасия Жановна, мл. науч. сотрудник, аспирант группы биоинформатики

[1,2]Институт биологии гена Российской академии наук (ИБГ РАН), Москва, Россия, e-mail: [1]mailfed@mail.ru

Исследована изменчивость двух локусов однонуклеотидного полиморфизма (SNP), расположенных в гене Onne-DAB, участвующем в регуляции иммунного ответа у рыб, в 30 выборках нерки из 19 озерно-речных систем азиатского побережья Тихого океана. Выявлены разнонаправленные клины оценок популяционного разнообразия вдоль Западного и Восточного побережий п-ва Камчатка, обусловленные широтным распределением паразитофауны. Установлено, что в островных популяциях патоген-индуцированный балансирующий отбор преобладал над эффектами дрейфа генов и способствовал поддержанию высокого уровня разнообразия в гене Onne-DAB.

Введение

Нерка *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) является одним из наиболее ценных видов среди тихоокеанских лососей, объектом промысла и искусственного разведения в пределах ее обширного ареала, охватывающего всю северную часть Тихого океана и оба его побережья [1]. В водоемах Камчатского полуострова сосредоточено более 95 % ее запаса в Азии, второстепенные популяции населяют водоемы Чукотки, материкового побережья Охотского моря, Курильских и Командорских островов [2]. Нерка свойственна наиболее сложная популяционная структура среди всех шести видов р. *Oncorhynchus*. Изолированные популяции отдельных рек чаще всего подразделены на сезонные расы (ранюю (весеннюю) и позднюю (летнюю)), те в свою очередь − на локальные субпопуляции и/или группы субпопуляций различных участков бассейна. Кроме того, у нерки выделяют экологические формы (озерную и речную) и экотипы отдельных нерестилищ (ручьевой, речной, озерный и т.д.).

Российские островные популяции нерки до сих пор плохо изучены в силу транспортной труднодоступности этих районов и технических сложностей организации лова на незаселенных территориях. Несмотря на относительную малочисленность и весьма ограниченное коммерческое значение островные популяции исключительно интересны с научной точки зрения и могут предоставить важную информацию о происхождении и эволюции нерки в Азии. Кроме того, популяции островов представляют собой удобную модель для изучения микроэволюционных процессов и возможных путей адаптивной эволюции вида. Такие популяции чаще всего обладают уникальными свойствами и отличаются от континентальных рядом экологических, морфологических и генетических признаков. Это явление получило название ‘островной синдром", формирующийся в результате исторических и демографических процессов и под влиянием климатических, орографических, этологических и биоценологических факторов в условиях изоляции [3]. Уникальные характеристики, которые делают биологическое разнообразие островов таким особенным, также делают его особенно хрупким и уязвимым. Уровень разнообразия в островных популяциях обычно невысок, к тому же численность их не велика, все это делает их более подверженными вымиранию. Кроме того, поскольку островные популяции уменьшили способность к расселению, обитают в более стабильных и предсказуемых условиях морского климата, но при этом чаще всего находятся на краю ареала и, соответственно, больше подвержены воздействию лимитирующих факторов, а также эволюционируют в конкуренции и взаимодействии с относительно небольшим количеством других видов, они разрабатывают стратегии выживания, основанные на специфических локальных адаптациях и коэволюции с другими представителями островной фауны, а не на

защитных механизмах от широкого спектра хищников, конкурентов, инфекций и вариабельных факторов физической среды.

Исследование приспособительного характера генетического полиморфизма и его роли в эволюции и формировании популяционной структуры вида - одна из основных фундаментальных проблем в современной популяционной и экологической генетике рыб. К наиболее изученным адаптивным молекулярным маркерам у рыб можно отнести гены главного комплекса гистосовместимости (Major histocompatibility complex, MHC). MHC – семейство генов позвоночных играющее ключевую роль в формировании иммунного ответа организма. Гены, входящие в комплекс MHC, кодирующие домены с антиген связывающими участками (пептид связывающий регион, peptide-binding region, PBR), отвечающими за распознавание и фиксирование на мембране белков-патогенов, приводящее к активации Т-хелперов и последующему иммунному ответу, обычно демонстрируют большое число несинонимичных замен, высокие оценки аллельного разнообразия и гетерозиготности [4]. Аллельные частоты таких генов, непосредственно отвечающих за контроль иммунных процессов в организме, быстро реагируют на пространственные и временные вариации разнообразия паразитов и патогенов, а также их суммарной нагрузки в конкретной экосистеме, и это позволяет выявлять различия между популяциями/субпопуляциями вида-хозяина даже с малым временем дивергенции, в которых еще не установилось равновесие между генной миграцией и дрейфом, а также в случае, если поток генов между ними настолько велик, что нивелирует различия по нейтральным локусам.

Таким образом, главная цель наших исследований – изучение характера изменчивости гена, отвечающего за формирование иммунного ответа у рыб, на всей азиатской части ареала нерки, включая малоизученные островные популяции, и выявление следов воздействия, как естественного отбора, так и демографических процессов, имевших место в популяциях нерки.

Материал и методика

Исследована изменчивость двух локусов однонуклеотидного полиморфизма (ОНП или SNP), *MHC2_190v2* и *MHC2_251v2*, расположенных в гене *Onne-DAB*, кодирующем β-цепь молекулы MHC класса II (MHCII). Первый расположен в позиции 249 первого экзона, кодирующего наиболее вариабельный N-концевой домен β1-цепи пептид-связывающего региона, второй – на расстоянии 61 н.п. от него в интроне.

Генотипирование SNP проводили двумя методами − аллель-специфической ПЦР и TaqMan-ПЦР, методика подробно описана ранее [5,6]. В работе представлены, как оригинальные данные, так и проанализированы открытые данные д-ра К. Хабичта с соавторами [7] по частотам генотипов объединенного локуса *MHC2_190v2-MHC2_251v2* в выборках нерки Восточной и Западной Камчатки. Суммарно проанализировано 30 выборок нерки из 19 озерно-речных систем азиатского побережья Тихого океана (табл.1, рис. 1).

Для проверки ряда гипотез также привлечены собственные данные по изменчивости 29 предположительно нейтральных локусов SNP в тех же выборках.

Статистический анализ был проведен для двух типов данных: для двух локусов раздельно и для объединенных мультилокусных генотипов группы сцепления *MHC2_190v2-MHC2_251v2* (объединенный локус *MHC2*). Расчет частот аллелей в выборках, оценок ожидаемой и наблюдаемой гетерозиготности, коэффициентов инбридинга (*Fst, Fis*), а также вероятностные тесты на соответствие равновесию Харди-Вайнберга (по методу полного перебора), генную дифференциацию и проверку неравновесия по сцеплению (с применением цепей Маркова) осуществляли в программе GENEPOP 3.4 [8]. Для проверки гипотезы о недавнем сокращении эффективной численности популяций ("бутылочное горлышко") использовали программу Bottleneck 1.2.02 [9]. Число ожидаемых объединенных мультилокусных генотипов, скорректированное для единого минимального объема выборки (генотипическое разнообразие), оценивали в R-пакете poppr [10]. Парные оценки *Fst* и тесты на нейтральность Ивенса-Ваттерсона проведены в Arlequin 3.5[11]. Мантель-тест для MHC-локусов и 29 нейтральных SNP расчитывали с использованием R-библиотеки ade4 [12]. Хордовые генетические расстояния Кавалли-Сфорца для локуса *MHC2* и 29 нейтральных локусов были рассчитаны в пакете Rphylip [13]. Графическое проецирование матриц хордовых генетических расстояний на основе многомерного шкалирования (MDS) было реализовано с использованием библиотеки MASS [14] в R. Корреляционные тесты и регрессионный анализ проводились с использованием пакета ggpubr R [15].

Рис. 1. Карта-схема района исследований с указанием мест сбора материала и частот генотипов локуса MHC2 в выборках нерки азиатского побережья Тихого океана. Обозначения как в табл. 1.

Результаты и обсуждение

На первый взгляд, очевидно, что столь тесно соседствующие локусы *MHC2_190v2* и *MHC2_251v2* физически сцеплены. Однако тесты на их независимое наследование были положительны почти в одной трети выборок (табл. 1). Причиной этому может быть высокая частота точечных мутаций в последовательностях, кодирующих пептид-связывающий регион, в сочетании с интенсивным положительным отбором [16,17]. С другой стороны, нарушение сцепления между двумя соседствующими локусами весьма вероятный процесс в генах МНС, причем по некоторым оценкам частота рекомбинации и микро-рекомбинации в генах комплекса гистосовместимости на порядок превышает темп возникновения точечных мутаций [18].

Соответствие фактических и ожидаемых генотипических распределений по каждому из локусов наблюдалось в большинстве тестов на равновесие Харди-Вайнберга (табл. 1). Значимые отклонения от равновесия, проявляющиеся в дефиците гетерозигот, обнаружены лишь в выборках из устьев рек Авачи и Камчатки по обоим локусам, а также в выборках из рек Плотникова (бассейн р. Большая) и Еловка (бассейн р. Камчатка) по локусу *MHC2_251v2* и р. Двухюрточная (бассейн р. Камчатка) по локусу *MHC2_190v2*.

Наименьшее внутрипопуляционное разнообразие, как по обоим локусам в отдельности, так и по объединенным гаплотипам было свойственно нерке р. Лагуна Анана (рис. 2А). Также низкие значения наблюдаемой гетерозиготности отмечены в выборках ранней и поздней нерки из устья р. Камчатка, существенного снижения генотипического разнообразия в которых, однако, выявлено не было, что закономерно, т.к. обе выборки взяты в устье крупной озерно-речной системы на путях миграции производителей к разобщенным нерестилищам. Таким образом, здесь может сказываться эффект Валунда, т.е. снижение гетерозиготности в смешанной выборке по локусам, в которых имеется вариация аллельных частот между субпопуляциями. Наиболее высокие оценки наблюдаемой гетерозиготности зафиксированы в выборке из оз. Саранное (о. Беринга), а также в выборках из водоемов юго-западного побережья Камчатки (бассейн р. Большой, р. Опала) и Курильских о-вов. Напротив, по нейтральным локусам в островных популяциях наблюдалась тенденция к значительному снижению оценок популяционного разнообразия (рис. 2А). В основном генетическое разнообразие было заметно выше в водоемах бассейна Охотского моря по сравнению с озерно-речными системами тихоокеанского побережья. В целом по азиатской части ареала просматривается слабая отрицательная корреляция между оценками внутрипопуляционного разнообразия по локусу *MHC2* ($R = -0.31$, $p=0.11$ для гетерозиготности и $R = -0.27$, $p=0.15$ для генотипического разнообразия) и географической широтой устья реки, т.е. разнообразие увеличивается с севера на юг. Причем если по охотоморскому побережью данная тенденция совпадает с общей, то по тихоокеанскому наблюдается обратный градиент в широтном направлении (рис. 2Б),

т.е. снижение оценок гетерозиготности и генотипического разнообразия исследуемого локуса прослеживается не в северном, а в южном направлении (островные популяции в силу особой роли нейтральных демографических процессов в них исключены из корреляционного анализа).

Рис. 2. (А) − Ожидаемая гетерозиготность (He) по нейтральным локусам, а также наблюдаемая и ожидаемая гетерозиготность (Но, He) по локусам MHC2_190v2 и MHC2_251v2 в популяциях нерки вдоль азиатского побережья Тихого океана. (Б) − Зависимость генотипического разнообразия локуса MHC2 и наблюдаемой гетерозиготности (Но) локусов MHC2_190v2 и MHC2_251v2 от географической широты для нерки азиатского побережья Тихого океана: Восточное побережье – Восточное побережье Камчатки и Чукотки, Западное побережье – Западное побережье Камчатки и Река Охота. Островные популяции и выборка KAL были исключены из анализа (см. пояснения в тексте).

Клины показателей генетического разнообразия вдоль западного и восточного побережий п-ва Камчатка могут быть обусловлены как демографическими (миграцией генов) или историческими процессами, связанными с особенностями становления ареала данного вида в Азии (послеледниковое расселение, вторичный контакт), так и широтным градиентом различных абиотических и биотических факторов, влияющих на изменчивость гена *Onne-DAB*. Кроме того, показатели внутрипопуляционного разнообразия нейтральных маркеров как правило коррелируют с общей численностью популяции. Гипотеза «обильного центра-периферии» постулирует, что меньшие по численности и более изолированные популяции, приуроченные к краю ареала, испытывают большее влияние факторов, ограничивающих их воспроизводство [19,20]. В центральных популяциях отмечаются наиболее высокие эффективная численность и поток генов, что сказывается в высоких значениях внутрипопуляционной изменчивости и низкой межпопуляционной дифференциации. Между тем к краю ареала, генетическое разнообразие снижается, а степень дивергенции популяций увеличивается. Однако в нашем случае четкой зависимости оценок гетерозиготности и генотипического разнообразия локуса *MHC2*, равно как и оценок дивергенции (парные *Fst*, генетические дистанции), от эффективной численности и удаленности от двух ядерных популяций данного вида на азиатском побережьи (двух крупнейших стад Западной (р. Озерная) и Восточной (р. Камчатка) Камчатки) не наблюдалось (табл. 1, рис. 2А). Относительно низкие показатели внутрипопуляционного разнообразия были свойственны лишь для двух периферических популяций северо-охотоморского побережья (р. Палана, р. Охота).

Таблица 1

Характеристики выборок и сводная статистика для локусов *MHC2_190v2* и *MHC2_251v2* и комбинированных генотипов, включая количество ожидаемых мультилокусных генотипов − генотипическое разнообразие (*eMLG*), среднюю ожидаемую гетерозиготность (*He*), среднюю наблюдаемую гетерозиготность (*Ho*), коэффициент инбридинга (F_{IS}), результаты тестов на неравновесие по сцеплению (LD)и на равновесие Харди-Вайнберга (*HWE*) и тестов нейтральности Эвенса-Ваттерсона (*EW*), где наблюдался дефицит гомозигот (*Pr* < 0,05). считается показателем балансирующего отбора, тогда как превышение (*Pr* > 0,95) указывает на направленный отбор (выделено жирным шрифтом). В других результатах теста звездочка означает, что значение *p* меньше уровня значимости для принятия нулевой гипотезы.

№	Регион	Водоем, тип выборки	Обозначение	Даты вылова	Источник данных	*n*	*Ho(SD)*	*He(SD)*	*eMLG(SD)*	LD *p*-value	HWE *p*-value	F_{IS}	EW $Pr(F_{sim} \leq F_{obs})$
1	Чукотка, Наваринский район	Мейныпильгынская оз.-р. сист., оз. Ваамочка	Ch	28.07.2004	наши данные	50	0.398(0.049)	0.049(0.429)	6.27(0.88)	0.6296	0.7676	0.073	0.043*
2	Северо-Восточная Камчатка, Олюторский район	оз. Лагуна Северная	KSL	26.06.2002	[7]	98	0.328(0.034)	0.034(0.31)	4.52(1)	0.8598	0.0354	-0.058	0.277
3		оз. Лагуна Анана (смешанная выборка ранней и поздней нерки)	KAL	24.06.2002	[7]	80	0.033(0.014)	0.014(0.033)	1.75(0.73)	0.0771	1	-0.011	***0.992****
4		р. Апука, оз. Ватыт-Гытхын	KAvat	07.08.2002	[7]	51	0.406(0.05)	0.05(0.41)	4.81(0.83)	0*	0.561	0.008	0.104
5		р. Апука (ранняя нерка)	KAerl	24.06.2008-25.06.2008	наши данные	18	0.429(0.066)	0.066(0.438)	5.37(0.9)	0.0006*	1	0.023	0.052
6		р. Апука (поздняя нерка)	KAlt	24.06.2008-25.06.2008	наши данные	28	0.167(0.062)	0.062(0.244)	3.79(0.41)	0.003*	0.245	0.325	0.774
7		р. Пахача	KPh	17.06.2005-27.06.2005	наши данные	59	0.39(0.045)	0.045(0.432)	4.13(0.79)	0*	0.5232	0.098	0.045*
8		р. Пахача, оз. Потат-Гытхын	KPhpot	29.07.2001	[7]	50	0.459(0.05)	0.05(0.438)	4.51(0.83)	0*	0.9588	-0.049	0.030*
9	Восточная Камчатка, Бассейн р. Камчатка	р. Камчатка (нерка позднего хода)	KK-04	29.06.2004-09.07.2004	наши данные	82	0.029(0.013)	0.013(0.273)	3.03(0.87)	0.0046*	0*	0.893	0.367
10		р. Камчатка (нерка раннего хода)	KK-05	14.06.2005	наши данные	15	0.067(0.046)	0.046(0.434)	5(0)	0.2444	0.0001*	0.851	0.122
11		оз. Азабачье, р. Бушуйка (ранняя реофильная нерка)	KKa	03.07.2004, 13.07.2004	наши данные	81	0.306(0.036)	0.036(0.361)	3.48(0.75)	0*	0.1817	0.152	0.407
12		р. Двуюрточная	KKdv	1994, 1995	[7]	88	0.282(0.034)	0.034(0.421)	6.16(1.03)	0.0061*	0.0002*	0.332	0.073
13		р. Еловка	KKel	1994, 1995	[7]	109	0.164(0.025)	0.025(0.358)	4.26(0.88)	0.0001*	0*	0.545	0.126
14	Юго-Восточная Камчатка	р. Авача (залив)	KAv	2002	[7]	60	0.178(0.035)	0.035(0.437)	5.66(1.04)	0*	0*	0.595	0.131
15	Командорские о-ва	о. Беринга, оз. Саранное	BS	7.2008	наши данные	43	0.558(0.054)	0.054(0.474)	5.78(0.85)	0.034	0.3525	-0.18	0.015*

№	Регион	Водоем, тип выборки	Обозначение	Даты вылова	Источник данных	*n*	*Ho(SD)*	*He(SD)*	*eMLG(SD)*	LD *p*-value	HWE *p*-value	F_{IS}	EW $Pr(F_{sim} \leq F_{obs})$
16	Материковое побережье Охотского моря	р. Охота	Okh	22.07.2004	наши данные	80	0.192(0.032)	0.032(0.174)	2.76(0.45)	0*	0.9017	-0.108	0.473
17	Северо-Западная Камчатка	р. Палана	KP	10.07.2003-21.07.2003	наши данные	79	0.316(0.037)	0.037(0.298)	4.02(0.67)	0.1197	0.9305	-0.062	0.124
18		р. Тигиль	KT	18.06.2002	[7]	107	0.44(0.035)	0.035(0.481)	6.1(0.99)	0*	0.4659	0.086	0.002*
19	Юго-Восточная Камчатка	р. Большая Воровская	KV	17.07.2007-27.07.2007	наши данные	45	0.412(0.049)	0.049(0.489)	5.75(0.76)	0*	0.2587	0.159	0.003*
20		р. Большая (поздняя нерка)	KB-03	23.07.2003-30.07.2003	наши данные	91	0.44(0.039)	0.039(0.473)	6.61(0.95)	0.0919	0.6246	0.07	0.006*
21		р. Большая (поздняя нерка)	KB-04	11.08.2004-20.08.2004	наши данные	90	0.418(0.038)	0.038(0.468)	6.11(0.9)	0*	0.2576	0.109	0.003*
22		Бассейн р. Большая, р. Быстрая (молодь)	KBb-04	20.07.2004-12.08.2004	наши данные	33	0.484(0.062)	0.062(0.474)	6.62(0.86)	0.4177	1	-0.022	0.014*
23		Бассейн р. Большая, р. Быстрая (поздняя нерка)	KBb-98	16.08.1998	[7]	56	0.5(0.049)	0.049(0.476)	6.07(1.02)	0.0193*	0.9682	-0.052	0.005*
24		Бассейн р. Большая, р. Плотникова (молодь)	KBp	09.08.2004-12.082004	наши данные	39	0.321(0.053)	0.053(0.504)	6.59(0.97)	0.0047*	0.0014*	0.367	0.000*
25		р. Опала	KOp	17.07.2008-26.08.2008	наши данные	31	0.429(0.066)	0.066(0.503)	7.43(0.89)	0.5387	0.2473	0.151	0.001*
26		р. Озерная	KO	04.08.2003-07.08.2003	наши данные	95	0.45(0.037)	0.037(0.453)	6.22(1)	0.1058	0.8469	0.007	0.035*
27	Северные Курильские о-ва	о.Шумшу, оз. Беттобу, р. Острожная	NKS	05.08.2008	наши данные	50	0.436(0.051)	0.051(0.419)	5.58(0.56)	0.8054	0.193	-0.042	0.114
28		о. Парамушир, оз. Глухое, р. Шумная	NKP	07.07.2008-13.07.2008	наши данные	48	0.17(0.039)	0.039(0.225)	2.51(0.52)	0*	0.0978	0.246	0.676
29	Южные Курильские о-ва	о. Уруп, оз. Токотан	SKU	07.2008-8.2008	наши данные	35	0.5(0.052)	0.052(0.472)	4.7(0.49)	0*	0.7578	-0.059	0.168
30		о. Итуруп, оз. Красивое	SKI	01.10.2006	наши данные	50	0.403(0.058)	0.058(0.382)	4.72(0.48)	0.0102*	0.8901	-0.056	0.013*

Лестничная модель популяционной структуры подразумевает миграцию особей преимущественно между соседними группами, т.е. в случае ленточного ареала (одномерная модель), характерного для тихоокеанских лососей, и высокого хоминга, свойственного данному виду, поток генов должен снижаться в зависимости от географической удаленности локальных популяций друг от друга, и по нейтральным маркерам должна наблюдаться изоляция расстоянием. Данную гипотезу проверяли для двух типов маркеров – адаптивного (*MHC2*) и нейтральных. Значимость корреляции между матрицами генетических и географических дистанций, как на всей азиатской части ареала, так и отдельно вдоль побережий Охотского моря (Западное побережье) и Тихого океана (Восточное побережье) оценивали с помощью Мантель-теста (все азиатское побережье p = 0.338; Западное побережье (включая Курильские острова) p = 0,061, Восточное побережье (включая Курильские острова) p = 0,864; Западное побережье (без Курильских островов) p = 0,002**; Восточное побережье (без Курильских островов) p = 0,511). Результаты тестов свидетельствуют о несоответствии популяционной структуры азиатской нерки, выявляемой по изменчивости локуса *MHC2*, и модели "изоляции расстоянием" (за исключением западного побережья Камчатки), т.е. об отсутствии четкой корреляции между величинами миграции генов и расстояниями между водоемами воспроизводства. Тем не менее, для нейтральных SNP корреляции для обоих побережий оказались значимыми (все азиатское побережье p = 0,2; Западное побережье (включая Курильские острова) p = 0,0182*, Восточное побережье (включая Курильские острова) p = 0,0003 *** Западное побережье (без Курильских островов) p = 0,0062** Восточное побережье (без Курильских островов) p = 0,0002***). Таким образом, изоляция расстоянием по данным о полиморфизме объединенного локуса *MHC2* как на охотоморском, так и на тихоокеанском побережьях не подтверждается соответствующими тестами. Можно сделать вывод, что генная миграция не является основным фактором, обуславливающим изменчивость данного маркера на азиатской части ареала нерки.

Клинальный характер изменения индексов внутрипопуляционного разнообразия вдоль континентального побережья, предположительно, может быть обусловлен влиянием некоторых факторов, градиентно меняющихся в широтном направлении, таких как температура и/или распространение определенных видов возбудителей. Теоретически полиморфизм генов МНС должен иметь тенденцию к снижению с юга на север в связи с уменьшением видового разнообразия и ослаблением вирулентности паразитов и патогенов в высоких широтах вследствие снижения интенсивности их метаболизма, сокращения вегетационного периода, темпов онтогенеза и мутагенеза в более холодных климатических условиях [21]. Другими словами, температура способствует формированию градиента давления патоген-индуцированного балансирующего отбора в локусах МНС в широтном направлении.

На примере атлантического лосося было продемонстрировано увеличение аллельного и нуклеотидного разнообразия (а также гетерозиготности (цит. по [22]) в последовательностях β2-экзона гена *DAB*, кодирующих пептид связывающий регион, с ростом температуры, проявляющееся в широтном градиенте этих показателей [23]. Однако для нерки на всем ареале корреляции оценок внутрипопуляционной изменчивости (n_a, *He*) β1-экзона того же гена с широтой расположения водоема воспроизводства не выявлено [24]. Не обнаружено также достоверной связи аллельного и нуклеотидного разнообразия последовательностей β1-экзона и температуры воды в системе притоков и озер крупной озерно-речной системы (р. Вуд, Аляска) [22]. В то же время оценки ожидаемой гетерозиготности нерки той же реки значимо коррелировали с температурой на нерестилище [22]. Высокие уровни дифференциации по двум, анализируемым локусам, и существенные различия в оценках внутрипопуляционного разнообразия в выборках из разных притоков одного крупного речного бассейна выявлены ранее в реке Камчатке, кроме того, обнаружена положительная корреляция аллельного разнообразия и температуры воды в русле в местах впадения соответствующего притока [25,26].

Однако противоположные тенденции изменчивости индексов разнообразия в западно- и восточно-камчатских популяциях свидетельствуют о том, что, наиболее вероятно, не только меняющаяся в широтном направлении температура, но и иные факторы обуславливают существующую картину генетической дифференциации нерки на азиатском побережье Тихого океана. Одним из важнейших факторов, без сомнения, является временное и пространственное распространение и видовой состав паразитических и патогенных организмов на исследуемой территории, т.к. соглас-

но общепринятым представлениям, гены МНС класса II, участвующие в формировании иммунитета к экстрацеллюлярным инфекциям, эволюционируют под действием патоген-индуцируемого отбора [27]. На данном этапе сложно делать выводы о роли возбудителей различных инфекционных и инвазионных заболеваний в формировании картины изменчивости гена *Onne-DAB*. Однако, можно предположить, что основную роль здесь играют представители пресноводной паразитофауны, среди которых присутствуют как внутри- так и внеклеточные патогены: вирусы (высоковирулентный вирус инфекционного некроза гемопоэтической ткани, IHNV), бактерии (в основном *Aeromonas salmonicida*, т.к. остальные виды можно отнести к условно патогенной микрофлоре), простейшие (преимущественно миксоспоридии *Myxobolus* sp.), цестоды (наиболее широко распространены плероцеркоиды *Diphyllobothrium* sp.) и нематоды (главным образом *Philonema oncorhynchi*) [28]. Все вышеперечисленные патогены в основном поражают молодь в озерах, где создаются все условия для роста их численности, на речных нерестилищах из-за высоких скоростей течения уровень зараженности молоди эндопатазитами гораздо ниже. Многие из них могут служить паразитами-индикаторами озерных стад нерки [29]. Наиболее распространенными представителями озерной паразитофауны в Азии являются *Myxobolus* sp. и *Diphyllobothrium* sp., их соотношение в разных озерах неодинаково. Например, в оз. Курильском молодь нерки характеризовалась наиболее высокой степенью инвазии плероцеркоидами *Diphyllobothrium* sp. и миксоспоридиями. Кроме того, в оз. Азабачьем не были отмечены случаи заболевания молоди вирусом IHNV, в то время как в оз. Курильском данный патоген ежегодно выявлялся у 25% сеголетков и у более чем 60% половозрелых особей. Генотипические спектры в выборках из оз. Курильское и оз. Азабачье также различались, доля Т-аллеля локуса *MHC2_251v2* была в два раза выше в оз. Курильское. Существует высокая вероятность того, что заметный градиент частоты Т-аллеля *MHC2_251v2*, наблюдаемый вдоль побережья Охотского моря, может быть связан с клинальным распространением некоторого патогена, превалентность которого увеличивается в направлении к полярным широтам (рис. 3А).

Географическая структура нерки на азиатской части ареала и характер популяционной дифференциации, определенные по результатам анализа полиморфизма локуса *MHC2*, не соответствуют нейтральной структуре популяций, что может свидетельствовать о воздействии отбора на локусы МНС (рис. 3Б, 4). По результатам тестов на нейтральность в большинстве локальностей выявлены признаки действия баллансирующего отбора по локусу *MHC2*. Однако не везде тесты Ивенса-Ваттерсона были значимы, а в некоторых выборках локус *MHC2* скорее вел себя как нейтральный. Наши данные вполне соответствуют общепринятым представлениям о преобладании балансирующего отбора на всем ареале, в отдельных регионах или в крупных популяционных системах в целом, и проявлениях действия направленного отбора, приводящего к адаптивной дивергенции популяций в некоторых изолированных локальностях: озерах, притоках верхнего течения крупных речных бассейнов и пр. [30,31]. Лишь в одной выборке из оз. Лагуна Анана по результатам тестов на нейтральность установлено воздействие направленного отбора (p>0.99). Смещение генотипических частот в выборке свидетельствует либо об относительно недавней эпизоотии в данной озерно-речной системе, либо об ограниченности видового состава патогенов и паразитов в данном водоеме. Особенности морфологии, гидрологии и планктонного и бентосного сообществ оз. Лагуна Анана предопределяют доминирование миксоспоридий среди паразитофауны этого водоема, что подтверждает наше предположение об ограниченном спектре патогенов в его бассейне. С другой стороны, аналогичные эффекты в естественных популяциях могут проявляться в результате демографических процессов, связанных с высокой степенью изоляции озерной нерки и снижением эффективной численности размножающихся в озерах популяций (дрейф генов, бутылочное горлышко), а также исторических процессов, связанных с эффектом основателя. Однако результаты тестов на недавнее прохождение бутылочного горлышка данной популяцией были не значимы. Данный факт, а также характер дивергенции данной выборки по нейтральным маркерам (рис. 4Б) дают нам достаточно оснований считать доказанным действие направленного отбора в пользу наиболее приспособленных гаплотипов в данной популяции.

Рис. 3. (А) − Зависимость частоты Т-аллеля локуса MHC2_251v2 от географической широты для нерки восточного и западного побережий Камчатки – Восточное и Западное побережья, соответственно. (Б) – Матрица попарных F_{ST} коэффициентов для выборок нерки азиатского побережья Тихого океана. Строки/столбцы тепловой карты отсортированы по широте/расположению водоема.

Для островных популяций по нейтральным SNP выявлено существенное снижение оценок гетерозиготности (рис. 2А), кроме того из имеющихся в литературе сведений об изменчивости нейтральных микросателлитных маркеров можно сделать вывод о существенной утрате генетического разнообразия в островных популяциях нерки (оз. Саранное, о. Беринга, оз. Беттобу, о. Шумшу и оз. Красивое, о. Итуруп) по сравнению с континентальными [32,33]. Низкие уровни внутрипопуляционного полиморфизма и высокая степень их генетической дивергенции по нейтральным маркерам объясняется рядом причин: изоляцией, как правило, малой эффективной численностью и связанными с этим обстоятельством инбридингом, дрейфом генов, высокой вероятностью «бутылочного горлышка» вследствие большей амплитуды абиотических изменений при глобальных колебаниях климата, ослаблением межвидовых отношений, а также «эффектом основателя», т.е. смещением аллельных частот и снижением генетического разнообразия в популяции вследствие ее происхождения от ограниченного числа особей из предкового генофонда при заселении островной территории. Однако по нашим данным в большинстве случаев в островных популяциях нерки наблюдались высокие уровни внутрипопуляционной изменчивости (*Ho, eMLG*) по локусу *MHC2*, вполне сопоставимые, а иногда даже превышающие соответствующие оценки для континентальных популяций. Это обстоятельство указывает на доминирующую роль стабилизирующего отбора в формировании современного разнообразия гена *Onne-DAB* в островных популяциях азиатской нерки. При этом его эффект настолько силен, что полностью компенсирует потерю разнообразия вследствие нейтральных демографических процессов. Если в популяциях Северных Курильских островов один из гаплотипов доминирует по численности, в силу дрейфа генов или преобладания некоего патогена/сообщества патогенов в нагульных озерах, то на Южных Курилах гаплотипы распределены более равномерно. Возможно, это связано с тем, что популяции нерки южных островов обитают в зоне контакта арктической и бореальной фауны, соответственно видовой состав паразитов здесь гораздо шире, а, следовательно, интенсивнее локальный балансирующий отбор.

Рис. 4. Диаграммы многомерного шкалирования на основе хордовых генетических дистанций нерки азиатского побережья Тихого океана: (А) − построенные по генотипическим частотам локуса MHC2, (Б) −построенные по аллельным частотам 29 нейтральных SNP. Регионы отмечены разными цветами, некоторые популяции объединены в полигоны согласно принадлежности к региону.

В заключение можно резюмировать, что наши результаты подтвердили сделанные ранее выводы о преобладании балансирующего патоген-индуцированного отбора по генам комплекса гистосовместимости у нерки на крупномасштабной географической шкале (на уровне регионов, бассейнов рек) и разнообразии форм отбора на локальной шкале (в изолированных озерах и их притоках). В островных популяциях нерки стабилизирующий отбор эффективно поддерживал разнообразие гена *Onne-DAB*, несмотря на существенное снижение полиморфизма нейтральных участков генома вследствие демографических и исторических процессов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-24-00307.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Life History of Sockeye Salmon (Oncorhynchus Nerka). In Pacific Salmon Life Histories /R.L. Burgner, C. Groot, L. Margolis et al. − Vancouver, Canada: UBC Press, 1991. pp. 3–117.

2. Бугаев В.Ф. Азиатская нерка (пресноводный период жизни, структура локальных стад, динамика численности). − М.: Колос, 1995.

3. Baeckens S., Van Damme R. The Island Syndrome // Curr. Biol. − 2020. − vol. 30. − pp. 338–339.

4. Bernatchez L., Landry C. MHC Studies in Non-Model Vertebrates: What Have We Learned about Natural Selection in 15 Years? // J. Evol. Biol. − 2003. − vol. 16. − pp. 363–377.

5. SNP Genotyping by the 5’-Nuclease Reaction: Advances in High-Throughput Genotyping with Nonmodel Organisms / J.E. Seeb, C.E. Pascal, R. Ramakrishnan et al. // Methods Mol. Biol. − 2009. − № 578. − pp. 277–292.

6. Сравнительный анализ изменчивости STR и SNP локусов в популяциях нерки (Oncorhynchus nerka) Восточной и Западной Камчатки / А.М Хрусталева, А.А. Волков, Д.С. Стоклиц-кая и др. // Генетика. − 2010. − Т. 46. − С. 1544–1555.

7. Summer–Fall Distribution of Stocks of Immature Sockeye Salmon in the Bering Sea as Revealed by Single-Nucleotide Polymorphisms / C. Habicht, L.W. Seeb, K.W Myers et al. // Trans. Amer. Fish. Soc. − 2010. − vol. 139 – pp. 1171–1191.

8. Raymond M., Rousset F. GENEPOP (Version 1.2): Population Genetics Software for Exact Tests and Ecumenicism // J. Hered. − 1995. − vol. 86. − pp. 248–249.

9. Detecting Bottlenecks Using BOTTLENECK 1.2.02 in Wild Populations: The Importance of the Microsatellite Structure / R. Cristescu, W.B. Sherwin, K. Handasyde et al. // Conserv. Genet. − 2010. − vol. 11. − pp. 1043–1049.

10. Kamvar Z.N., Tabima J.F., Gřunwald N.J. Poppr: An R Package for Genetic Analysis of Popu-la-tions with Clonal, Partially Clonal, and/or Sexual Reproduction // PeerJ. − 2014. − pp. 1–14.

11. Excoffier L., Lischer H.E.L. Arlequin Suite Ver 3.5: A New Series of Programs to Perform Popu-lation Genetics Analyses under Linux and Windows // Mol. Ecol. Res. − 2010. − vol. 10. − pp. 564–567.

12. Dray S., Dufour A.B. The Ade4 Package: Implementing the Duality Diagram for Ecologists // J. Stat. Softw. − 2007. − vol. 22. − pp. 1–20.

13. Felsenstein J. PHYLIP–Phylogeny Inference Package (Version 3.2) // Cladistics. − 1989. − vol. 5. − pp. 164–166.

14. Venables W.N., Ripley B.D. Modern Applied Statistics with S. − New York, NY: Springer New York, 2002.

15. Kassambara A. ggpubr: ‘ggplot2’ Based Publication Ready Plots // Электрон. дан. Режим доступа URL: https://rpkgs.datanovia.com/ggpubr/ (дата обращения 29.08.2023)

16. Hughes A.L., Yeager M. Natural Selection at Major Histocompatibility Complex Loci of Verte-brates // Annu. Rev. Genet. − 1998. vol. − 32. − pp. 415–435.

17. Bahr A., Wilson A.B. The Evolution of MHC Diversity: Evidence of Intralocus Gene Conver-sion and Recombination in a Single-Locus System // Gene. − 2012. − vol. 497. − pp. 52–57.

18. Recombination and the Origin of Sequence Diversity in the DRB MHC Class II Locus in Chamois (Rupicapra Spp.) / H. Schaschl, F. Suchentrunk, S. Hammer et al. // Immunogenetics. − 2005. − vol. 57. − pp. 108–115.

19. Vucetich J.A., Waite T.A. Spatial Patterns of Demography and Genetic Processes across the Spe-cies’ Range: Null Hypotheses for Landscape Conservation Genetics // Conserv. Genet. − 2003. − vol. 4. − pp. 639–645.

20. Eckert C.G., Samis K.E., Lougheed S.C. Genetic Variation across Species’ Geographical Ranges: The Central-Marginal Hypothesis and Beyond // Mol. Ecol. − 2008. − vol. 17. − pp. 1170–1188.

21. Signals of Heterogeneous Selection at an MHC Locus in Geographically Proximate Ecotypes of Sockeye Salmon / W.A. Larson, J.E. Seeb, T.H Dann et al. // Mol. Ecol. − 2014. − vol. 23. − pp. 5448–5461.

22. Major Histocompatibility Complex Diversity Is Positively Associated with Stream Water Temperatures in Proximate Populations of Sockeye Salmon / W.A. Larson, P. J. Lisi, J.E. Seeb et al. // J. Evol. Biol. − 2016. − vol. 29. − pp. 1846–1859.

23. Clinal Variation in MHC Diversity with Temperature: Evidence for the Role of Host-Pathogen Interaction on Local Adaptation in Atlantic Salmon / M. Dionne, K. M. Miller, J. J. Dodson, F. Caron et al. // Evolution (N. Y). − 2007. − vol. 61. − pp. 2154–2164.

24. Patterns of Selection and Allele Diversity of Class i and Class II Major Histocompatibility Lo-ci across the Species Range of Sockeye Salmon (Oncorhynchus Nerka) / E. K. McClelland, T. J. Ming, A. Tabata et al. // Mol. Ecol. − 2013. − vol. 22. − pp. 4783–4800.

25. Исследование приспособительного характера полиморфизма главного комплекса гисто-сов-местимости (МНС) по однонуклеотидным заменам в популяциях азиатской нерки. I. В попу-ляциях нерки рек Озерная и Камчатка действуют разные формы отбора / А.М. Хрустале-ва, Е.В. Пономарева, М.В. Пономарева и др. // Генетика. − 2018. − Т. 54. − С. 1177–1187.

26. Хрусталева А.М. Исследование приспособительного характера полиморфизма главного комплекса гистосовместимости (МНС) по однонуклеотидным заменам в популяциях азиатской нерки. II. Факторы, определяющие изменчивость гена Onne-DAB в бассейне реки Камчатки // Ге-нетика. − 2018. − Т. 54. − С. 1298–1308.

27. Bernatchez L., Landry C. MHC Studies in Nonmodel Vertebrates: What Have We Learned about Natural Selection in 15 Years? // J. Evol. Biol. − 2003. − vol. 16. − pp. 363–377.

28. Видовой состав патогенов и их распространение у нерки в нагульно-нерестовых озерах Камчатки / Н. В. Сергеенко, Т. В. Гаврюсева, Е. А. Устименко и др. // Исследования водных био-логических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. − 2013. − Т. 29. − С. 137–147.

29. Коновалов С.М., Коновалова, Г.Б. Дифференциация локальных стад красной по парази-там индиаторам // Паразитология. − 1969. − Т. III − № 1. − С. 42-52.

30. Geographic Heterogeneity in Natural Selection on an MHC Locus in Sockeye Salmon /K.M.

Mil-ler, K.H. Kaukinen, T.D. Beacham et al. // Genetica. − 2001. − vol. 111. − pp. 237–257.

31. Signals of Heterogeneous Selection at an MHC Locus in Geographically Proximate Ecotypes of Sockeye Salmon / W.A. Larson, J.E. Seeb, T.H. Dann et al. // Mol. Ecol. − 2014. − vol. 23. − pp. 5448–5461.

32. Хрусталева А.М. Комплексный метод дифференциации нерки (Oncorhynchus nerka) азиатских стад. − М.: ВНИРО, 2007. − 164 с.

33. Генетические особенности нерки Oncorhynchus nerka (Walbaum) некоторых нагульно-нерестовых озер азиатской части ареала / О.А. Пильганчук, Н.Ю. Шпигальская, А.Д. Денисенко // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: Материалы XVII международной научной конференции, посвященной 25-летию организации Камчатского института экологии и природопользования ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, 16–17 ноября 2016 года / А. М. Токранов (отв. редактор). – Петропавловск-Камчатский: Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН, 2016. – С. 103-106.

DIVERSITY OF *ONNE-DAB* GENE VARIANTS FROM THE MAJOR HISTOCOMPATIBILITY COMPLEX (MHC) OF SOCKEYE SALMON (ONCORHYNCHUS NERKA) ALONG THE ASIA-PACIFIC COAST

[1]Khrustaleva Anastasia Mikhailovna, Ph.D. biol. sciences, senior researcher Bioinformatics Group
[2]Revel-Muroz Anastasia Zhanovna, Junior Researcher, PhD Student, Bioinformatics Group

[1,2]Institute of Gene Biology of the Russian Academy of Sciences (IBG RAS),
Moscow, Russia, e-mail: [1]mailfed@mail.ru

The variability of two single nucleotide polymorphism (SNP) loci located in the Onne-DAB gene involved in the regulation of the immune response in fish was studied in 30 samples of sockeye salmon from 19 lake-river systems of the Asian Pacific coast. Differently directed clines of diversity estimates along the Western and Eastern coasts of the Kamchatka Peninsula were identified, caused by the latitudinal distribution of the parasite fauna. It was found that in island populations, pathogen-induced balancing selection prevailed over the effects of gene drift and contributed to maintaining a high level of diversity in the Onne-DAB gene.

УДК 594.124:577.1(262.5)

ТЯЖЁЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В МИДИИ *MYTILUS GALLOPROVINCIALIS* LAM. НА ЧЕРНОМОРСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ КРЫМА

[1]Челядина Наталья Станиславовна, канд. биол. наук, ст. науч. сотрудник
[2]Попов Марк Александрович, канд. геогр. наук, ст. науч. сотрудник
[3]Капранов Сергей Викторович, канд. хим. наук, вед. науч. сотрудник
[4]Смирнова Людмила Леонидовна, канд. биол. наук, ст. науч. сотрудник
[5]Бобко Николай Иванович, мл. науч. сотрудник

[1,2,3,5]Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН,
Севастополь, Россия, e-mail: [1]chelydina2007@mail.ru
[4]Институт природно-технических систем, Севастополь, Россия

Мидия M. galloprovincialis один из наиболее популярных объектов марикультуры и биоиндикаторов водной среды. В работе изучается распределение Cd, Cu, As, Ni, Hg, Pb, Zn, Cr, Co в мягких тканях, биссусе и межстворчатой жидкости (МЖ) мидий в зависимости от места обитания на черноморском побережье юго-западного Крыма. Получены достоверные отличия в распределении элементов между исследуемыми частями тела и местами обитания мидий. Изучена

роль биссуса M. galloprovincialis как биоиндикатора окружающей среды для Ni, Cu, Pb, Co, Zn, As, Cr. Впервые представлены данные по содержанию тяжёлых металлов в МЖ и показана роль МЖ как выводящей системы для некоторых тяжёлых металлов.

Введение

Мидия *M. galloprovincialis* является важным источником животного белка с высокой пищевой ценностью и одним из самых популярных объектов в аквакультуре двустворчатых моллюсков. Этот моллюск успешно культивируется в регионах мирового океана [1, 2]. Чёрном море он культивируется и является одним из доминантных видов [2, 3].

Помимо пищевой ценности *M. galloprovincialis* активно используют при мониторинге окружающей среды [4, 5]. В морских организмах тяжёлые металлы (ТМ) содержаться на несколько порядков выше, чем в окружающей воде, что является потенциальным риском их воздействия на здоровье человека при использовании их в пищу [6; 4].

В литературе есть данные об уровнях содержания некоторых тяжелых металлов в мягких тканях и биссусе митилид [7, 8]. Известно, что биссус является значительно лучшим биоиндикатором по сравнению с другими тканями для идентификации прибрежных территорий, подверженных загрязнению ТМ [7]. Работ по содержанию ТМ в межстворчатой жидкости (МЖ) моллюсков мало (известна одна работа по содержанию ТМ) [9]. Однако, МЖ играет важную роль в обмене веществ, происходящем между клетками тканей и незамкнутой кровеносной системой мидий, в результате чего формируется её химический состав [10].

Целью данного исследования было изучить особенности распределения тяжёлых металлов (Cd, Cu, As, Ni, Hg, Pb, Zn, Cr, Co) в мягких тканях, биссусе и межстворчатой жидкости мидии *M. galloprovincialis*, в зависимости от места обитания на черноморском побережье юго-западного Крыма. Оценить роль биссуса в качестве биоиндикатора загрязнения водной среды изучаемыми тяжёлыми металлами.

Материал и методы исследования

Объектом исследования был двустворчатый моллюск *M. galloprovincialis* с размером раковины 54,01±2,9 мм. Мидий отбирали в июне 2017 года. Первое место отбора мидий – мидийно-устричная ферма (Станция 1), расположенная в районе внешнего рейда г. Севастополя (44°37′13.4″ N; 33°30′13.6″ E). Мидии собирали с верёвочных коллекторов с глубины 2-3 м. Кормовая база на морской ферме благоприятна для роста и развития моллюсков, так как виды микроводорослей, входящие в рацион культивируемых мидий, постоянно присутствуют в планктоне [11].

Второе место отбора мидий – грунт под фермой (Станция 2), глубина 16 м. Грунт под фермой представлен сильно заиленным песком с редкими валунами на дне. Третье место отбора мидий – кутовая часть бухты Севастопольской (станция 3), мидии собирали на причальной стенке, глубина 2-3 м (44°35′41.1″ N; 33°39′0.3″ E). В районе отбора проб находится судоразделочное предприятие и городская электростанция. Так же в эту акваторию впадает река Чёрная, воды которой являются источником загрязнения ТМ [12]. Места отбора проб были выбраны в соответствии с различными физико-химическими свойствами морской воды и предполагаемыми различиями в ТМ.

Предварительно мидий очищали от обрастаний и промывали морской водой. Далее каждую мидию вскрывали, разрезая мускул-замыкатель, используя пластмассовый скальпель. Из открытой раковины, надрезав мантию в передней части, сливали МЖ в пробирку, удаляли биссус и мягкую ткань. Биссус предварительно взвесив, помещали в пробирку для анализа на ТМ. Мягкую ткань обсушивали фильтровальной бумагой и взвешивали. Сухую массу мягких тканей определяли после высушивания при температуре 105°С. Взвешивание МЖ, мягких тканей и биссуса, производили на аналитических весах AXIS ANG200C. Пробы тканей переносили с помощью пластикового шпателя в пробирки из фторопласта для мокрого озоления. Концентрации микроэлементов (Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Hg, Pb) в разбавленных образцах измеряли с помощью масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) на приборе PlasmaQuant MS Elite (Analytik Jena, Германия). Все результаты представлены в виде среднего ± 95% доверительного интервала. Для статистического анализа материала использовался пакет программ Microsoft Office Excel 2010.

Основная часть

Мидии, являясь активными фильтраторами, фильтруют воду со скоростью 0.5 до 7.5 л/час и более, в результате чего они накапливают ТМ, которые содержатся в поступающей в воде и пище (кормовой фитопланктон и детрит [13]. Мягкие ткани способны накапливать и выводить микроэлементы в МЖ, которая участвует в обмене веществ между клетками тканей и циркулирующей кровью. МЖ, так же как фекалии, псевдофекалии и половые клетки мидий при нересте, входят в систему выделения моллюсков [14, 15]. Биссус выполняет не только роль прикрепетильного органа, но и выполняет функцию выведения ТМ из организма мидий [7].

В таблице представлено распределение ТМ в мягких тканях, биссусе и межстворчатой жидкости *M. galloprovincialis,* взятых из различных мест обитания (табл.).

Были зарегистрированы различия в концентрациях металлов в мягких тканях, биссусе и МЖ в изучаемых акваториях. Во всех изучаемых пробах содержание Zn было максимальное. Высокая его концентрация в мягкой ткани объясняется биологической значимостью этого микроэлемента. Zn является катализатором многих физиологических процессов, влияет на рост, развитие, воспроизводство и обменные процессы моллюсков [16].

Содержание изучаемых металлов в моллюсках из различных биотопов, уменьшалось в следующей последовательности: Станция 2→ Станция 3 → Станция 1. Высокое содержание изучаемых ТМ на ст.3 по сравнению со ст.1 объясняется большей загрязнённостью этого района.

В мидиях, собранных на грунте абсолютное содержание изучаемых элементов в мягких тканях было максимальным (табл. 1). Ранее отмечалось [17], что грунт является основным хранилищем тяжелых металлов в морской среде, в том числе и потенциально опасных металлов. Тяжелые металлы, как микроэлементы, необходимы гидробионтам для нормальной физиологической деятельности. Однако многие из них, обладая биологической активностью, накапливаются в мягких тканях в избыточном количестве и становятся токсичными [5].

Биссус характеризовался наибольшим процентным содержанием ТМ от их общего количества, накопленного в моллюсках (табл).

Нами показано (табл.), что биссус мидий содержит в большем количестве Ni (81–90%), Cu (61-79%), Pb (57-79%), Co (54-69%). Высокое содержание этих элементов в биссусе *M. galloprovincialis*. связано с гистидином и лизином, который входит в состав белков биссуса. С гистидином эти элементы образуют прочные связи, что делает биссус более крепким [18].

МЖ имела низкие концентрации изучаемых металлов на всех станциях (табл.). Она выводит токсичные микроэлементы Hg, Cr, As. Доля этих ТМ в МЖ мидий из различных биотопов изменялась от 12 % (As) до 71 % (Hg). В мягких тканях *M. galloprovincialis* наиболее прочно связаны Zn, As, Cd.

Таблица 1

Концентрация тяжёлых металлов в трех частях тела *M. galloprovincialis* из трех биотопов (мкг•г$^{-1}$ сухой массы) и в морской воде (мг•л-^{1})

	Станция 1				Станция 2			Станция 3			
	Мягкая ткань	Биссус	Межстворчатая жидкость	Морская вода	Мягкая ткань	Биссус	Межстворчатая жидкость	Мягкая ткань	Биссус	Межстворчатая жидкость	Морская вода
Zn	88.7±11.9	98.32±18.85	6.91±2.3	27.98±5.4	131.43±20.2	145.86±9.59	5.31±1.32	111.62±14.84	121.1±18.59	19.7±5.3	107.64±12.6
Cu	7.8±3.6	37.36±8.54	2.19±1.7	15.27±3.5	12.47±3.4	45.22±6.77	3.1±0.51	10.59±3.56	25.22±6.77	5.42±1.7	20.25±3.8
As	6.0±0.88	5.37±1.87	1.96±0.69	47.84±8.9	7.79±2.42	4.97±0.86	1.56±0.45	5.5±0.44	4.1±1.1	2.1±0.9	49.27±8.9
Ni	3.94±1.69	39.38±10.72	1.24±1.66	7.37±2.5	4.2±1.37	44.49±7.69	0.43±0.26	3.43±2.45	24.49±7.69	2.4±0.9	10.95±3.2
Pb	1.7±0.26	3.4±0.8	0.92±0.35	1.28±0.38	2.89±1.01	5.36±1.61	0.66±0.18	2.95±1.32	12.64±3.3	0.49±0.15	1.53±0.31
Cd	1.1±0.16	3.27±0.94	1.28±0.5	2.05±0.42	1.5±0.4	2.1±0.71	0.45±0.22	1.5±0.3	0.73±0.12	0.2±0.08	10.31±2.4
Cr	1.1±0.16	1.52±0.50	0.18±0.21	4.39±1.1	1.49±0.43	1.73±0.22	1.2±0.94	1.2±0.4	2.24±0.4	0.8±0.2	10.70±2.6
Co	0.35±0.07	0.98±0.39	0.22±0.17	2.20±0.46	0.45±0.07	1.39±0.2	0.15±0.01	0.23±0.16	0.39±0.1	0.1±0.008	2.29±0.64
Hg	0.09±0.01	0.1±0.04	0.18±0.04	0.04±0.02	0.19±0.07	0.11±0.02	0.22±0.06	0.05±0.009	0.06±0.02	0.27±0.08	0.08±0.04

Cd практически не выводился через МЖ. Ранее отмечалось, что двустворчатые моллюски не регулируют Cd и обычно накапливают этот элемент. У беспозвоночных он регулирует экспрессию антиоксидантных ферментов, металлотионеинов, влияет на организацию тканей, иммунные ответы и клеточные циклы, вызывая апоптоз [19]. Высокое содержание кадмия в мягких тканях мидий, по-видимому, связано с высоким его содержанием в донных отложениях в прилегающих бухтах. Со накапливался и выводился в основном биссусом и в меньшей степени находился в МЖ.

Ранее отмечалось, что большая часть неорганических и органических соединений Hg в водной среде, адсорбируется на взвеси и оседает на дно [20]. Поэтому наибольшее количество ртути в мягкой ткани обнаружено у мидий, собранных на грунте под фермой. Следует отметить у *M. galloprovincialis* Hg в основном выводился из мягких тканей с МЖ (до 71%).

Cd, Pb, Hg и As, оказывают отрицательное воздействие на организм и вредны даже в следовых количествах (Stankovic, 2012). В наших исследованиях содержание наиболее токсичных химических элементов в мягких тканях *M. galloprovincialis* из Чёрного моря уменьшалась в следующей последовательности: As → Pb → Cd → Hg. Такое же распределения было отмечено для *M. galloprovincialis* из южной Адиратики [5].

Полученные нами результаты показали, что *M. galloprovincialis*, по-видимому, защищает жизненно важные органы, аккумулируя и выводя токсичные ТМ через биссус и МЖ.

Заключение

Содержание ТМ в мягких тканях *M. galloprovincialis* на всех изучаемых станциях уменьшалось в следующей последовательности: Zn → Cu → As → Ni → Pb → Cd → Cr → Co → Hg. Полученные результаты показали, что содержание изучаемых ТМ в мягких тканях, биссусе, МЖ *M. galloprovincialis* из различных биотопов, уменьшалось в следующей последовательности: Станция 2 (грунт под фермой) → Станция 3 (кутовая часть бухты Севастопольская) → Станция 1 (мидийно-устричная ферма).

Содержание Тм было различно в изучаемых частях тела мидий. Наибольшая доля в мягких тканях приходилась на Zn, Cd, As и составила 44-63%, 34-62%, 45-54%, соответственно. Биссус характеризовался наибольшим процентным содержанием ТМ от их общего количества, накопленного в моллюсках. Этот орган выполняет функцию не только прикрепления к субстрату, но и аккумулируют и выводит из организма моллюска в большом количестве Ni, Cu, Pb и Co. Биссус *M. galloprovincialis* является лучшим биоиндикатором окружающей среды, в сравнение с мягкими тканями для Ni, Cu, Pb, Co, Zn, As, Cr. Впервые представлены данные по содержанию ТМ в МЖ и показана роль МЖ как выводящей системы ТМ.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного научно-исследовательского задания ФИЦ ИнБЮМ № 121030300149-0 («Исследование механизмов управления производственными процессами в биотехнологических комплексах для разработки научных основ получения биологически активных веществ и техническая продукция морского генезиса») и ИПТС № 0012-2021-0007 («Фундаментальные и прикладные исследования закономерностей и механизмов формирования региональных изменений природной среды и климата под влиянием глобальных процессов в системе океан-атмосфера и антропогенного воздействия»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Atasaral Ş.Ş., Romero M.R., Cueto R., González-Lavín N., Marcos M., Diz A.P. //Proteomics. – 2015. 15(23-24). С. – 3993-4006. https://doi.org/ 10.1002/pmic.201500241.

2. Холодов В.И., Пиркова А.В., Ладыгина Л.В. Выращивание мидий и устриц в Чёрном море. – Воронеж.: Изд-во ООО «ИЗДАТ-ПРИНТ», 2017. – 508 с.

3. Марикультура мидий в Черном море. (Под ред. В.Н. Иванова). – Севастополь.: ЭКОСИ - Гидрофизика, 2007– 314 с.

4. Rainbow P.S., Phillips D.J.H. Cosmopolitan biomonitors of trace metals // Mar Pollut Bull. – 1993. 26. С. – 593-601. https://doi.org/10.1016/0025-326X(93)90497-8

5. Stankovic S., Jovic M. Health risks of heavy metals in the mediterranean mussels as seafood // Environ. Chem. Lett. – 2012. 10. С. – 119-130. https://doi.org/10.1007/s10311-011-0343-1.

6. Casas S., Gonzalez J.L., Andral B., Cossa D. Relation between metal concentration in water and metal content of marine mussels (*Mytilus galloprovincialis*): impact of physiology // Environ Toxicol. Chem. – 2008. 27. С. – 1543-1552. https://doi.org/10.1897/07-418.1

7. Szefer P., Ikuta K., Frelek K., Zdrojewska I., Nabrzyski M. Mercury and other trace metals (Ag, Cr, Co, and Ni) in soft tissue and byssus of *Mytilus edulis* from the east coast of Kyushu Island, Japan // The Science of the Total Environment. – 1999. 29. С. – 227-234. https://doi.org/ 10.1016/s0048-9697(99)00079-0

8. Yap C.K., Ismail A., Tan S.G. Cd and Zn in the straits of Malacca and intertidal sediments of the west coast of Peninsular Malaysia // Mar. Poll. Bull. – 2003. 46. С.– 1348-1353.

9. Chelyadina N. S., Kapranov S. V., Popov M. A., Smirnova L. L., Bobko N. I. Trace elements in the detoxifying and accumulating body parts of *Mytilus galloprovincialis* Lamark, 1819 (Crimea, Black Sea): human health risks and effect of the sampling site location // Environmental Science and Pollution Research. 2022. https://doi.org/10.1007/s11356-022-20186-1

10. Челядина Н.С., Смирнова Л.Л. Содержание аскорбиновой кислоты, кальция, меди и цинка в интерстициальной жидкости культивируемой мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam. в водах юго-западного побережья Крыма // Вернадский Биология Химия. 2018. 4(70). С – 237-246.

11. Рябушко Л.И., Поспелова Н.В., Балычева Д.С., Ковригина Н.П., Трощенко О.А., Капранов С.В. Исследования микрофитобентоса эпизоона *Mytilus galloprovincialis* Lam., фитопланктона и гидролого-гидрохимических характеристик акватории мидийной фермы (Севастополь, Чёрное море // Mar. Biol. J. 2017. 2(4). С. – 67-83. https://doi:10.21072/mbj.2017.02.4.07

12. Грузинов В.М., Дьяков Н.Н., Мезенцева И.В., Мальченко Ю.А., Жокова Н.В., Корщенко А.Н. Источники загрязнения прибрежных вод Севастопольского района // Океанология. 2019. 59(4). С. – 579–590. https://doi.org/10.31857/s0030-1574594579-590.

13. Темердашев З.А., Елецкий И.И., Каунова А.А., Корпакова И.Г. Определение тяжелых металлов в мидиях Ламарка *Mytilus galloprovincialis* методом ИСП-АЭС // Аналитика и контроль. – 2017. 21(2). С. –116-124. https://doi.org/10.15826/analitika.2017.21.2.009.

14. Chelyadina N.S., Pospelova N., Kopytov Yu.P. Distribution of copper in the tissues of males and females of *Mytilus galloprovincialis* // Hydrobiol J. 2015. 51(4). С. – 74-79. https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v51.i4.90

15. Kapranov S.V., Karavantseva N.V., Bobko N.I., Ryabushko V.I, Kapranova L.L. Sex- and sexual maturation-related aspects of the element accumulation in soft tissues of the bivalve *Mytilus galloprovincialis* Lam. collected off coasts of Sevastopol (southwestern Crimea, Black Sea) // Environmental Science and Pollution Research. 2021. 28(17). С. – 21553-21576. https://doi.org/10.1007/s11356-020-12024-z

16. Franca S., Vinagre C., Cacador I. Heavy metal concentrations in sediment, benthic invertebrates and fish in three salt marsh areas subjected to different pollution loads in the Tagus Estuary (Portugal) // Mar. Poll. Bull. 2005. 50. С. – 993-1018. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.06.040

17. Okoro H.K., Fatoki O.S., Adekola F.A., Ximba B.J., Snyman R.G. A Review of Sequential Extraction Procedures for Heavy Metals Speciation in Soil and Sediments // Open Access Scientific Reports. 2012. 1(3). С. – 1-9. http://dx.doi.org/10.4172/scientificreports.181

18. Reinecke A., Brezesinski G., Harrington M.J. pH-Responsive Self-Organization of Metal-Binding Protein Motifs from Biomolecular Junctions in Mussel Byssus // Advanced Materials Interfaces. 2017. 4(1). С. – 1-11. https://doi.org/10.1002/admi.201600416

19. Sokolova I.M, Evans S., Hughes F.M. Cadmium-Induced Apoptosis in Oyster Hemocytes Involves Dis- turbance of Cellular Energy Balance but No Mitochondrial Permeability Transition // The Journal of Experimental Biology. 2004. 207. С. – 3369-3380. http://dx.doi.org/10.1242/jeb.01152

20. Schiff K.C. Sediment Chemistry on the Mainland Shelf of the Southern California Bight // Marine Pollution Bulletin. 2000. 40. С. – 268-270. https://doi.org/10.1016/S0025-326X(99)00216-7

HEAVY METALS IN THE MUSSELS *MYTILUS GALLOPROVINCIALIS* LAM. ON THE BLACK SEA COAST OF CRIMEA

[1]Chelyadina Natalya Stanislavovna, Ph.D. biol. Sci., Senior Scient. employee
[2]Popov Mark Aleksandrovich, Ph.D. geogr. Sci., Senior Scient. employee
[3]Kapranov Sergey Viktorovich, Ph.D. biol. Sci., Senior Scient. employee
[4]Smirnova Lyudmila Leonidovna, Ph.D. biol. Sci., Senior Scient. employee
[5]Bobko Nikolai Ivanovich, junior researcher

[1,2,3,5]A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia, e-mail: chelydina2007@mail.ru
[4]Institute of Natural and Technical Systems, Russian Academy of Science

The mussel M. galloprovincialis is one of the most popular mariculture objects and a bioindicator in the aquatic environment. The paper studies the distribution of Cd, Cu, As, Ni, Hg, Pb, Zn, Cr, Co in soft tissues, byssus and shell liquor(SL) of mussels depending on the habitat on the Black Sea coast of southwestern Crimea. Significant differences in the distribution of elements between the studied parts of the body and habitats of mussels were obtained. The significance of M. galloprovincialis byssus as an environmental bioindicator for Ni, Cu, Pb, Co, Zn, As, Cr was studied. For the first time, data on the content of heavy metals in MF are presented and the role of MF as an excretory system for some heavy metals is shown.

УДК 639.3.043.2

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МОЛОДИ СИГА (COREGONUS LAVARETUS), ВЫРАЩЕННОЙ НА КОРМАХ "BIOMAR" И "COPPENS"

[1]Шахова Евгения Владимировна, канд. биол. наук, доцент кафедры водных биоресурсов и аквакультуры
[2]Трофимов Руслан Валерьевич, заведующий сектором аквакультуры и пресноводных водоёмов
[3]Шульга Артур Тимофеевич, магистр кафедры водных биоресурсов и аквакультуры

[1,3]Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия, e-mail: [1]evgeniya.shakhova@klgtu.ru; [3]arturchik-s@mail.ru
[2]Атлантический филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» («АтлантНИРО»), Калининград, Россия, e-mail: trofimov@atlantniro.ru

Целью исследования являлось сравнение морфофизиологических показателей молоди сига (Coregonus lavaretus), выращенной в экспериментальном рыбоводном цехе Атлантического филиала ФГБНУ «ВНИРО» на кормах датской фирмы "BioMar" и немецкой фирмы "Coppens". Определены ранее не изученные различия морфофизиологических показателей молоди сига, выращенной в установке замкнутого водоснабжения (УЗВ). Установлено, что качество и полноценность кормов рецептуры "Coppens advans" и "Coppens Start Premium" не уступает кормам фирмы "BioMar" рецептур "Larviva ProVin" и "Inicio plus". В результате исследования зафиксирован схожий темп роста и физиологические показатели. Кормовые коэффициенты рецептур "Coppens advans" и "Coppens Start Premium" составили 1,5 и 1,3 соответственно, против 1,6 для рецептур "Larviva ProVin" и "Inicio plus".

Введение

Большинство российских рыбоводных хозяйств до 2022 года закупали для кормления рыбы высокопродукционные импортные корма фирмы BioMar (Дания), которая являлась одним из лидеров рынка. Основными причинами использования этих кормов являлись высокое качество и минимальные затраты на килограмм прироста веса. В марте 2022 года из-за ухода с российского рынка фирмы BioMar, стала ощущаться нехватка импортных кормов. Рыбоводные хозяйства стали закупать корма у компаний, которые ранее занимали небольшую долю рынка – Coppens, Dibag и др. Некоторые организации Калининградской области, занимающиеся искусственным воспроизводством водных биоресурсов, также переориентировались на закупку кормов фирмы Coppens (Германия).

Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО» (АтлантНИРО) с 2022 года выращивает молодь сига и выпускает её в Куршский залив с целью пополнения природной популяции ценного промыслового вида, а также обеспечения стабилизации состояния популяции сига и создания устойчивого его промысла. В связи с изменением ситуации на рынке кормов, организация также столкнулась в 2022 году с трудностями при их закупке. В 2021 году были приобретены корма фирмы BioMar, на которых была выращена молодь, пополнившая популяцию Куршского залива в июне 2022 года. Молодь сига, выпущенную в залив в июле 2023 года, выращивали на немецких кормах фирмы Coppens.

Для выпуска в природную популяцию Куршского залива молоди сига хорошего качества рыбоводам необходимо оптимизировать кормление рыбы в рамках совершенствования биотехнического процесса. С этой целью была проведена сравнительная характеристика морфофизиологических показателей молоди сига (*Coregonus lavaretus*), выращенной на кормах BioMar и Coppens в 2022 и 2023 годах.

Материал и методы исследования

Объектом исследования являлась молодь сига, выращенная в экспериментальном рыбоводном цехе Атлантического филиала ФГБНУ «ВНИРО» (пос. Лесной, Калининградская область, НП «Куршская коса») на кормах датской фирмы BioMar и немецкой фирмы Coppens. Вся молодь была получена от икры диких производителей, которую инкубировали в аппаратах Вейса при температуре 6,0 ºС. Выращивание молоди проводили в установке замкнутого водоснабжения (рисунок 1), которая включает восемь бассейнов (по 0,5 м^3), два фильтра биологической очистки (по 1 м^3), приёмную ёмкость (1,2 м^2), циркуляционный насос (производительность 9,6 м^3/ч) и фильтр обезжелезиватель. Температура воды в установке поддерживалась за счёт работы чиллера, аэрация обеспечивалась вихревым компрессором.

Рис. 1. Установка замкнутого водоснабжения

Контроль за температурой воды и концентрацией растворённого в воде кислорода проводился с использованием термооксиметра OxyGuard Handy Polaris 2 ежедневно.

Начальная масса тела исследованной в 2022 и 2023 гг. личинки сига составила 0,015 г, конечная 1,18 г, что соответствует нормативному значению массы выпускаемой молоди 1,0 г [1]. Начальная плотность посадки в рыбоводные емкости составила 45 тыс.шт./м^3 с последующим уменьшением по мере роста молоди.

Основное различие при выращивании молоди в период исследования заключалось в кормлении рыб. В 2022 году молодь сига выращивали на кормах фирмы BioMar. Для кормления молоди до навески 0,3 г в течение 42 суток использовали рецептуру Larviva ProVin (100 и 300), после перешли на рецептуру Inicio plus для кормления молоди до навески 1,18 г. В 2023 году молодь сига выращивали на кормах фирмы Coppens. Для кормления молоди до навески 0,5 г в течение 50 суток использовали рецептуру Coppens advans (размер гранул от 0,2 до 0,8 мм), после достижения навески перешли на рецептуру Coppens Start Premium для кормления молоди до навески 1,18 г.

Кормление рыб в период исследования проводили ежедневно порционно с 7 утра до 21 часа вечера, каждые 2 часа. Корма вносили вручную. Для определения суточных доз кормов для молоди сига использовали предлагаемые суточные рационы (процент корма от биомассы рыбы в сутки) с корректировкой по фактическому потреблению и физиологическому состоянию молоди.

Материалом для исследования послужили данные рыбоводного журнала, контрольных обловов и вскрытия молоди сига в период исследования. Во время испытаний проводились наблюдения за динамикой массы тела молоди сига. Для корректировок суточных доз и расчета кормовых коэффициентов раз в неделю проводились контрольные обловы молоди для определения средней массы тела. Рост молоди сига оценивали по показателям прироста и скорости роста массы тела, а также удельной скорости роста. Отход молоди сига учитывали ежедневно, методом прямого учёта.

Для изучения физиологического состояния организма молоди сига проводили биологический анализ и определяли такие показатели как гепатосамотический индекс и соматический индекс сердца.

Результаты и обсуждение

Выращивание молоди сига в 2022 и в 2023 годах проходило при постепенном повышении температуры воды в бассейнах в диапазоне от 7,5 до 17 ºС. Резких колебаний температуры воды в период исследования не отмечалось, межгодовая картина динамики температуры была схожей, различия составляли не более 0,3 ºС в сутки.

Концентрация растворенного в воде кислорода в период исследований была также схожей и находилась в диапазоне от 7,7 до 10,9 мг/л, что соответствует оптимальным и допустимым значениям для сига [2].

В результате исследования показателей роста молоди сига, были получены данные, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Показатели роста молоди сига при кормлении кормами фирмы BioMar и Coppens

Показатели	Корм			
	BioMar		Coppens	
	Larviva ProVin	Inicio plus	Coppens advans	Coppens Start Premium
Начальная масса тела, г	0,015±0,003	0,300±0,025	0,015±0,002	0,500±0,041
Конечная масса тела, г	0,300±0,025	1,180±0,063	0,500±0,002	1,180±0,032
Прирост массы тела, г	0,285±0,021	0,880±0,017	0,485±0,014	0,680±0,023
Скорость роста массы тела, г/сут	0,006±0,007	0,019±0,003	0,009±0,004	0,019±0,002
Удельная скорость роста Specific Growth Rate (SGR), %/сут	1,007±0,013	0,854±0,020	1,094±0,021	0,731±0,016
Кормовой коэффициент, ед.	1,61±0,23	1,60±0,20	1,53±0,14	1,35±0,21
Выживаемость, %	21	10	15	5
Длительность выращивания, сут	42	45	50	36

Начальная масса тела личинок сига, посаженных в бассейны установки замкнутого водоснабжения на выращивание, в обоих вариантах исследования находилась на уровне 0,015 г. Прирост массы тела за период выращивания в обоих исследованиях был одинаковым. При этом конечной массы тела (1,18 г) молодь сига, выращенная на кормах BioMar, достигла за 91 сутки, а на кормах Coppens за 86 суток. Выживаемость за период исследования составила для молоди сига

потреблявшей корма BioMar 69 %, а корма Coppens – 80 %.

В связи с разными периодами перехода молоди сига со стартовых рецептур Larviva ProVin и Coppens advans, разработанных для раннего кормления личинок рыб, на стартовые корма для малька – Inicio plus и Coppens Start Premium, все показатели роста рассчитывали, учитывая этот момент.

При изучении особенностей скорости роста в период исследования было выявлено, что на стартовом корме для личинок сига Coppens advans была зафиксирована более высокая скорость роста, за счет чего рыба в 2023 году достигла массы 0,3 г на 10 суток раньше, чем в 2022 году (рисунок 1).

На рисунке 1 представлены усреднённые данные, отражающие темп роста молоди сига в бассейнах установки замкнутого водоснабжения за весь период исследования, когда молодь кормили кормами BioMar и Coppens.

По данным таблицы 1 и рисунка 2 видно, что на стартовом корме для мальков Inicio plus у молоди сига, исследованной в 2022 году, скорость роста была выше, чем у молоди, выращенной в 2023 году на корме Coppens Start Premium, в связи, с чем к концу исследования они сравнялись по массе. Вероятнее всего несколько лучшие результаты выращивания молоди сига на корме Coppens advans обусловлены характеристиками корма, так как условия выращивания по температурному и кислородному показателям были схожими. В рецептуре Larviva ProVin содержится несколько больше сырого протеина, клетчатки, золы и фосфора, но меньше сырого жира в сравнении с кормом рецептуры Coppens advans.

Сравнительная характеристика кормов представлена в таблице 2.

Рис. 2. Темп роста молоди сига при выращивании на кормах фирмы BioMar и Coppens

Отставание в росте молоди сига, выращиваемой на кормах BioMar, отмечалось также и в период роста от навески 0,3 до 0,7 г, что вероятно связано с переходом в этот период молоди с рецептуры Larviva ProVin на рецептуру Inicio plus и с адаптацией организма рыб к новому составу корма. После адаптации скорость роста у исследованной молоди сига сравнялась, начиная с массы тела 0,7 г и до конечной массы 1,18 г, обе группы росли равномерно одинаково.

Таблица 2

Характеристика некоторых рецептур кормов фирмы BioMar и Coppens

Показатели	Корм			
	BioMar		Coppens	
	Larviva ProVin [3]	Inicio plus [3]	Coppens advans [4]	Coppens Start Premium [5]
Сырой протеин, %	58	57	56	54
Сырой жир, %	12	18	15	15
Клетчатка, %	0,4	0,2	0,3	1,1
Зола, %	11,70	11,60	11,30	8,9
Фосфор, %	1,77	1,60	1,77	1,2
Витамин А, МЕ/кг	17500	-	16667	11999
Витамин D_3, МЕ /кг	1800	-	2000	4020
Витамин Е, МЕ /кг	800	-	266	-
Витамин С (стабильный), у.е./кг	1000	-	285	-

Несмотря на различия в скорости роста, следует отметить, что достоверных различий по показателям роста молоди сига при кормлении кормами Larviva ProVin и Inicio plus, против кормов Coppens advans и Coppens Start Premium не обнаружено.

Исследование органо-соматических показателей у молоди сига достигшей массы 1 г показало, что значения гепатосоматического индекса и соматического индекса сердца было несколько выше у молоди, выращенной на кормах Coppens (таблица 3). Хотя различия были статистически не достоверны. Известно, что печень является основным аккумулятором жировых запасов в организме рыб [6], в том числе и у сиговых, поэтому величину печени частично определяет размер накопленных питательных веществ. От количества таких запасов зависит выживаемость особей в изменяющихся условиях [7].

Общий вид внутренних органов был нормальным. Печень была цельная, бурого цвета. Сердце также имело бурый цвет и цельную структуру.

Таблица 3

Органо-соматические показатели молоди сига при кормлении кормами фирмы BioMar и Coppens

Показатели	Корм	
	BioMar	Coppens
Гепатосоматический индекс, %	1,51±0,03	1,53±0,07
Соматический индекс сердца, %	0,29±0,02	0,31±0,04

В результате выращивания кормовой коэффициент кормов Larviva ProVin и Inicio plus составил 1,6 ед., а кормов Coppens advans и Coppens Start Premium – 1,5 и 1,3 соответственно. Более низкое значение кормового коэффициента, вероятно, связано с тем, что рецептура Coppens advans производится с более дробным количеством фракций и одинаковым при этом соотношением основных энергетических компонентов.

Заключение

Проведённые исследования по влиянию кормов двух фирм – BioMar и Coppens на морфофизиологические показатели молоди сига показали, что качество и полноценность кормов рецептуры Coppens advans и Coppens Start Premium не уступают кормам фирмы BioMar рецептур Larviva ProVin и Inicio plus. На кормах Coppens advans и Coppens Start Premium также можно вырастить молодь сига хорошего качества. Как доказательство можно привести схожие темп роста, удельную скорость роста и физиологические показатели у исследованной молоди сига в 2022 и 2023 гг. при высокой выживаемости. Кроме того, более низкие кормовые коэффициенты рецептур Coppens advans и Coppens Start Premium (1,5 и 1,3 соответственно) против 1,6 у Larviva ProVin и Inicio plus позволяют оптимизировать затраты на кормление и повысить эффективность производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приказ № 25 Министерства сельского хозяйства Российской Федерации // Электрон. дан. Режим доступа URL:http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201502270005 (дата обращения 10.09.2023).

2. Сборник методических рекомендаций по индустриальному выращиванию сиговых рыб для целей воспроизводства и товарной аквакультуры // под ред. А.К. Шумилиной. – С-Пб., 2012. – 289 с.

3. Каталог кормов Россия. Биомар // Электронные дан. Режим доступа URL: http://biomar.ru (дата обращения 12.09.2023)

4. Продукты фирмы Alltech Coppens // Электрон. дан. Режим доступа URL: https://www.alltechcoppens.com/ru/продукты/advance (дата обращения 11.09.2023)

5. Характеристика рецептуры Coppens Start Premium // Электрон. дан. Режим доступа URL: https://coppens.pro/coppens-start-premium-1-5mm-tonushchiy-korm-dlya-melkikh-i-srednikh-somov-i-donnykh-ryb/ (дата обращения 11.09.2023)

6. Миттельман С.Я. К химии и технологии трески и пикши, их печени и жира // Сб. науч. промысл. работ на Мурмане. – М.; Л: Снабтехиздат, 1932. – С. 113–135.

7. Копориков А.Р., Богданов В.Д. Изменение относительной упитанности полупроходного налима (Lotidae) Оби в зависимости от физиологического состояния и условий нагула // Экология. – 2013. – № 3. – С. 210 – 215.

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF MORPHOPHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF WHITEFISH JUVENILES (COREGONUS LAVARETUS) GROWN ON BIOMAR AND COPPENS FEEDS

[1]Shakhova Evgeniya Vladimirovna, Candidate of Biological Sciences
Assistant professor in Aquatic Bioresources and Aquaculture
[2]Trofimov Ruslan Valerevich, Head of Aquaculture and Freshwater bodies Sector
[3]Shulga Artur Timofeevich, student

[1,3]Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,
e-mail: [1]evgeniya.shakhova@klgtu.ru; [3] arturchik-s@mail.ru
[2]Atlantic Branch of Federal State Budgetary Scientific Institution "Russian Federation Research Institute of Fishery and Oceanograpchy", Kaliningrad, Russia, e-mail: trofimov@atlantniro.ru

The purpose of the study was to compare the morphophysiological parameters of juvenile whitefish (Coregonus lavaretus), which was grown in the experimental fish hatchery of the Atlantic branch of the FSBSI "RFRIFO" on feed from a Danish company BioMar and a German company Coppens. Previously unstudied differences in the morphophysiological parameters of juvenile whitefish reared in a closed water supply system (CWS) were determined. It has been established that the quality and completeness of feeds with the Coppens advans and Coppens Start Premium formulations are not inferior to BioMar feeds with the Larviva ProVin and Inicio plus formulations. As a result of the study, similar growth rates and physiological indicators were recorded. The feed ratios of the Coppens advans and Coppens Start Premium formulations were 1.5 and 1.3, respectively, versus 1.6 for the Larviva ProVin and Inicio plus formulations.

УДК 577.118

ТОКСИЧНЫЕ МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В МАЛОГЛАЗОМ МАКРУРУСЕ (*ALBATROSSIA PECTORALIS* GILBERT, 1892) И НЕРКЕ (*ONCORHYNCHUS NERKA* WALBAUM, 1792) ИЗ БЕРИНГОВА МОРЯ

[1]Гамов Матвей Константинович, аспирант
[2]Литвиненко Анна Владимировна, канд. биол. наук, доцент кафедры экологии, биологии и природных ресурсов
[3]Христофорова Надежда Константиновна, д-р биол. наук, профессор международной кафедры ЮНЕСКО «Морская экология»
[4]Метревели Вадим Евгеньевич, аспирант
[5]Цыганков Василий Юрьевич, д-р биол. наук, доцент, директор департамента комплексных проектов и и.о. декана факультета промышленных биотехнологий и биоинженерии, профессор международной кафедры ЮНЕСКО «Морская экология»

[1,3,4,5]Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия,
e-mail: [1]gamovmota123456@gmail.com; [3]more301040@gmail.com; [4]metreveli.vadim@mail.ru; [5]tsig_90@mail.ru
[2]Сахалинский государственный университет, Южно-Сахалинск, Россия,
e-mail: [2]litvinenko.av@bk.ru

Определены концентрации токсичных элементов As, Cd, Pb, Hg в органах и тканях малоглазого макруруса (Albatrossia pectoralis) и Cd, Pb в органах и тканях нерки (Oncorhynchus nerka) из Берингова моря. Содержание токсичных элементов не превышало предельно допустимых уровней, за исключением кадмия в печени нерки.

Рассчитаны экологические риски употребления в пищу макруруса и нерки; исходя из полученных данных, установлен потенциальный риск развития рака в течение жизни и потенциальный риск для здоровья человека.

Введение

Мышьяк, кадмий, свинец и ртуть распространены в водной среде, обладают высокой токсичностью и кумулятивными свойствами, могут неблагоприятно влиять на здоровье человека, в том числе вызывать онкологические заболевания [1, 2].

В результате процессов биоаккумуляции и биомагнификации в органах и тканях гидробионтов происходит постепенное накопление микроэлементов. В зависимости от занимаемой экологической ниши и образа жизни, рыбы накапливают различное количество токсичных элементов в своих органах и тканях, представляющих потребительский интерес.

Мышьяк (As), кадмий (Cd), свинец (Pb) и ртуть (Hg) считаются наиболее опасными для организмов из-за их высокой токсичности. Даже в незначительных концентрациях могут отрицательно влиять на репродуктивную, нервную и иммунную системы человека и оказывать канцерогенное воздействие [3, 4, 5].

Район северо-западной части Пацифики (СЗТО) является одной из наиболее продуктивных зон Мирового океана. Отечественный промысловый флот ежегодно добывает в этой зоне 2/3 части общероссийского вылова промысловой ихтиофауны. К основным промысловым объектам СЗТО относят трескообразных рыб, тихоокеанских лососей и тихоокеанскую сельдь.

Одним из многочисленных представителей трескообразных, обитателей материкового склона северо-западной части Тихого океана, является малоглазый макрурус (*Albatrossia pectoralis* Gilbert, 1892*)*. Этот вид встречается на глубинах от 140 до 3500 м, формирует основу биоресурсов материкового и островных склонов дальневосточных морей и представляет большой интерес для рыбного хозяйства Дальнего Востока и всей России. Мясо макрурусов характеризуется высоким содержанием белков и низким содержанием липидов, что делает их крайне привлекательным объектом для употребления в пищу. Этот вид рыб в прошлом не имел большого промыслового значения из-за сильной обводненности мяса (92,7 %), однако сегодня ведется его активный промысел [6]. Макрурусы – хищники-засадчики. В основной рацион его питания входят различные ракообразные и моллюски, а также мелкая рыба. Мясо малоглазого макруруса считается диетическим, его используют для изготовления сурими (крабовых палочек). Наибольшую пищевую ценность представляет печень макруруса – изысканный рыбный деликатес.

Нерка (*Oncorhynchus nerka* Walbaum, 1792) занимает третье место после горбуши и кеты по величине вылова в российских водах Пацифики. В пищевых целях широко используются мышечная масса (филе) и гонады (соленая икра нерки является деликатесным продуктом, а молоки поступают в продажу как в виде мороженого сырья для приготовления кулинарных блюд, так и в виде консервов и пресервов) [7]. Это – сложный и интересный для изучения вид тихоокеанских лососей. В водоемах и водотоках она задерживается от одного до двух-трех лет, затем нагуливается в морских водах от одного до четырех лет, что является особенностью ее экологии. В морской период жизни питание нерки состоит, главным образом, из ракообразных. Содержание тяжелых металлов в органах и тканях этих подвижных и быстрых лососей – обитателей поверхностного слоя океана, зависит от мест их нагула и путей миграции. Для восточно-камчатской нерки основными местами морского нагула являются западная часть Берингова моря и Камчатско-Командорский район, откуда зимовать она уходит в центральную часть Берингова моря и приалеутские воды [8, 9, 10].

Целью исследования было определение токсичных микроэлементов в органах малоглазого макруруса (*A. pectoralis*) и нерки (*O. nerka*) из Берингова моря и оценка экологических рисков для здоровья людей при употреблении в пищу органов и тканей этих представителей отечественной промысловой ихтиофауны.

Материал и методы

Характеристика образцов и места сбора материала

Взрослые особи малоглазого макруруса собраны в северо-западной части Тихого океана летом 2020 г. (Берингово море) (рис. 1). Всего для исследования было отобрано 26 особей макруруса; от каждой рыбы были взяты образцы мышечной ткани, печени и гонад, всего 78 проб.

Образцы проб гонад, мышц и печени нерки в количестве 105 шт. от 21 особи из Авачинского залива и от 14 особей из Камчатского залива обоих полов собраны в прибрежных водах полуострова Камчатка в июле 2021 г. В Камчатском заливе производители нерки были отобраны в морских неводах южнее устья р. Камчатка; в Авачинском заливе 10 особей взяты из неводов, установленных в бухте Русской и 11 особей – в протоке, соединяющей Авачинский залив и оз. Налычева (рис. 1).

После вылова рыбу взвешивали, промывали бидистиллированной водой и препарировали керамическими инструментами. Органы упаковывались в полиэтиленовые пакеты, замораживались и хранились при –20 °С до химического анализа.

На содержание токсичных элементов отдельно исследовали мышцы, печень и половые продукты рыб. Замороженные образцы тканей доставляли в лабораторию и гомогенизировали перед химическим анализом.

Рис. 1. Карта – схема мест отбора рыбы в акватории прибрежной части северо-западной Пацифики.

Химический и инструментальный анализ

Перед анализом образцы гомогенизировали и отбирали навеску органов массой по 0,5 г. В дальнейшем был применен метод микроволнового разложения (CEM, Inc. MARS Express®, Matthews, NC, USA) в соответствии с методом USEPA 3051. Определение Cd, Pb и As выполнялось с использованием атомно-абсорбционного спектрофотометра Shimadzu AA-7000 с электротермическим атомизатором с графитовой печью GFA-7000 (Shimadzu). Точность измерения концентрации металлов контролировали с помощью анализа стандартных образцов, загрязнение реактивов – с помощью холостых проб. Для атомизации использовалась графитовая кювета с ω-образной платформой, в качестве источника света использовались лампы с полым катодом.

Общую концентрацию ртути (мг/кг сырого веса) определяли методом инверсионной вольтамперометрии. Содержание элемента определяли добавлением аттестованных смесей с фиксированным содержанием ртути (раствор нитрата ртути с концентрацией 1 мг/мл). Точность и прецизионность используемого метода были подтверждены регулярным анализом стандартного стандартного образца SRM-1566B (National Institute of Standards and Technology (NIST)).

Оценка экологического риска для здоровья населения

Для оценки экологического риска рассчитывались коэффициенты опасности (*HQ*) и потенциального риска развития рака в течение жизни (*ILCR*). *HQ* показывает возможность возникновения острого отравления в течение года, *ILCR* указывает на увеличение вероятности развития онкологических заболеваний от поступления поллютантов в организм человека в течение всей жизни. Для расчета применяли международные стандартные методики (Canada.ca [Internet], Cfpub.epa.gov [Internet]).

HQ рассчитывали по формуле:

$$HQ=\frac{EDI}{TDI} \quad (1)$$

где *EDI* – среднее употребление токсиканта с пищей, мг/кг в день; *TDI* – количество токсичного вещества, не вызывающее отравления у человека, мг/кг в день. При значении *HQ*>0.2 существует потенциальный риск отравления.

Среднесуточное употребление (EDI) рассчитывали следующим образом:

$$EDI=\frac{C_{food}\cdot IR_{food}\cdot AF_{GIT}\cdot D_d\cdot D_y}{BW\cdot 365\cdot LE} \quad (2)$$

где C_{food} – концентрация токсиканта в пище, мг/кг; IR_{food} – среднее употребление пищи, кг/день (по данным Росстата жители Дальнего Востока России потребляют, в среднем 29 кг рыбы в год (90 г рыбы ежедневно)); AF_{GIT} – фактор адсорбции токсиканта в желудочно-кишечном тракте (прини-

мается равным 1, если отсутствуют другие данные); D_d – количество дней, в которые происходит употребление загрязненной пищи; D_y – количество лет употребления загрязненной пищи (для расчета коэффициента опасности не учитывается и принимается равным 1, для расчета риска развития рака принимается равным 65 годам); *BW* – средний вес тела человека, кг (по данным Росстата для населения Дальнего Востока средний вес тела составляет 70 кг); *LE* – средняя продолжительность жизни (по данным Росстата, для местного населения Дальнего Востока составляет 70 лет).

ILCR рассчитывали по формуле:

$$ILCR = EDI \cdot SF_{oral}, \quad (3)$$

где SF_{oral} – коэффициент, отражающий степень повышения риска развития рака при поглощении токсиканта, кг в день/мг. Если $ILCR > 1 \times 10^{-5}$, существует потенциальный риск развития рака.

Статистический анализ

Статистический анализ полученных результатов проводился с использованием программного пакета IBM SPSS Statistics для Windows 10. Достоверность различий, полученных данных оценивали методом одностороннего дисперсионного анализа Крускала–Уоллиса с уровнем значимости $p \leq 0{,}05$. Все результаты представлены в мг/кг сырой массы.

Результаты и обсуждение

У макруруса концентрации мышьяка в печени находились в пределах от 0.001 до 0.03 (среднее значение – 0.03±0.02), в мышцах от 0.05 до 0.1 (0.07±0.04), в гонадах от 0.004 до 0.02 (0.01±0.01) мг/кг сырой массы. Диапазон концентраций кадмия в печени варьировали от 0.2 до 0.3 (0.3±0.07), в мышцах от 0.003 до 0.05 (0.03±0.05), в гонадах от 0.01 до 0.15 (0.07±0.08) мг/кг сырой массы. Концентрации свинца в печени находились в пределах от 0.02 до 0.04 (0.03±0.02), в мышцах от 0.00005 до 0.01 (0.01±0.02), в гонадах от 0.04 до 0.08 (0.06±0.02) мг/кг сырой массы. Диапазон концентраций ртути в печени находились в пределах от 0.03 до 0.06 (0.05±0.02), в мышцах от 0.04 до 0.05 (0.04±0.01), в гонадах от 0.03 до 0.005 (0.004±0.002) мг/кг сырой массы.

Содержание токсичных элементов в органах и тканях макруруса из Берингова моря представлено на рисунке 2.

Рис. 2. Содержание (диапазон и средняя концентрация (медиана) токсичных микроэлементов в органах и тканях малоглазого макруруса, мг/кг сырой массы.

У нерки диапазон концентраций кадмия в печени варьировали от 0.01 до 1.94 (1.07±0.64) превышающее ПДУ (ТР ТС 021/2011) в 0.7 мг/кг сырой массы почти в 1.5 раза 1.07 мг/кг сырой массы. В мышцах от 0.003 до 0.69 (0.03±0.13), в гонадах от 0.004 до 0.03 (0.01±0.007), в икре от 0.003 до 0.6 (0.06±0.14) мг/кг сырой массы. Концентрации свинца в печени находились в пределах от 0.009 до 0.6 (0.2±0.09), в мышцах от 0.006 до 1.5 (0.19±0.18), в гонадах от 0.14 до 0.46 (0.29±0.09), в икре от 0.007 до 0.45 (0.19±0.1) мг/кг сырой массы.

Содержание Pb и Cd в органах и тканях нерки, пойманной в прибрежных водах юго-восточной Камчатки, представлено на рисунке 3.

Рис. 3. Диапазон и средняя концентрация (медиана) токсичных микроэлементов в нерке, мг/кг сырой массы.

Распределение металлов в организме рыб характеризуется неравномерностью и зависит от функциональных особенностей органов, их кумулятивной активности и химических свойств самого металла [11]. Исходя из литературных данных кадмий, свинец, мышьяк и ртуть наиболее активно накапливаются в печени, которая является функциональным «депо» этих элементов и одновременно участвует в процессах детоксикации. Второе место по накоплению токсичных элементов (свинец, мышьяк, кадмий и ртуть) занимает мышечная ткань, которую можно также отнести к депонирующим органам, если учитывать, что мышцы составляют большой процент от массы тела. [11]. Кадмий активно замещает кальций в клетках (через кальциевые каналы). Поступление кадмия в организм происходит преимущественно из водной среды через жабры, которые играют большую роль в водно-солевом обмене, регулируя поглощение и выделение воды и солей [12]. Свинец также у рыб накапливается преимущественно в жаберном аппарате, печени, почках и костях. В водоемах свинец может быть прочно адсорбирован частицами донных отложений, поэтому поступает в организм преимущественно через органы дыхания либо вместе с пищей.

Поглощение рыбами мышьяка из воды осуществляется в процессе дыхания, через жабры, а также в кишечнике [13]. Ртуть в морской воде существует в двух формах, где преобладающей формой в морских организмах является жирорастворимая метилртуть, которая накапливается в долгоживущей, крупной и жирной рыбе [14, 15].

Мышьяк – биофильный и токсичный элемент. Он оказывает влияние на окислительные процессы в митохондриях и на другие важные биохимические реакции [16]. Более высокая концентрация мышьяка в мышцах рыб, чем в печени, обусловлена взаимодействием элемента с тиоловыми группами белков, цистеина, глутатиона, липоевой кислоты. Мышцы рыб имеют относительно низкие и маловариабельные концентрации микроэлементов. Это подтверждает у них наличие развитого механизма поддержания гомеостаза элементного состава мышц. Тем не менее мышцы, которые составляют в среднем около 50% массы тела, как правило содержат большую часть всех токсичных элементов [17].

Свинец оказывает влияние на энзиматические процессы рыб, является постоянной нормальной составной частью их органов и тканей [17]. В организме этот микроэлемент накапливается незначительно, так как лишь малые дозы необходимы для нормальной жизнедеятельности [18]. Свинец легко проникает в организм, концентрируясь в печени и почках. У исследуемых рыб кумулятивный эффект наблюдается в гонадах. Другие органы характеризуются равномерным распределением, что может

свидетельствовать об отсутствии избирательности их накопления по отношению к этому микроэлементу.

Накапливаясь во внутренних органах, аккумуляция кадмия происходит преимущественно в жабрах, печени и почках, где он принимает участие в осморегуляторных процессах. Наибольшее содержание элемента отмечалось в печени. Это можно объяснить большим содержанием в этом метаболически активном органе специфичных низкомолекулярных белков с сульфгидрильными группами – металлотионеинов, которые способны связывать многие металлы, концентрируя их в органе. При этом кадмий обладает высоким сродством к металлотионеинам, поэтому его концентрация в печени примерно в 8 раз выше, чем в остальных органах [19].

Биоаккумуляции подвергаются любые формы металла, при этом для неорганических форм установлен аддитивный вклад разных путей поступления (с пищей, через кожные покровы и жабры в процессе дыхания). Основной путь потребления метилртути рыбой – алиментарный [20, 21]. Механизм токсического действия ртути связан с ее взаимодействием с сульфгидрильными группами белков. Таким образом, блокируя белки, ртуть изменяет их свойства или инактивирует ряд жизненно важных ферментов, тем самым нарушая белковый обмен. При этом именно печень выполняет функцию детекторов, фильтров, трансформаторов веществ и несет ответственность за содержание ртути в организме [22].

Сравнение полученных значений с ПДУ и ПДК

Безопасность пищевых продуктов гарантируется соблюдением норм, зафиксированных в документации по содержанию загрязняющих веществ химической и биологической природы, а также природных соединений, характерных для данного продукта и представляющих опасность для здоровья.

В каждой стране существуют нормативные документы, контролирующие безопасность пищевых продуктов. В странах Европы безопасность пищевых продуктов регулируется директивами Европейского союза ЕС 1881/2006, в Китае – государственным стандартом Китайской Народной Республики GB 2762-2017; в России – СанПиН 2.3.2.1078-01 и техническим регламентом Таможенного союза 021/2011.

При сравнении российских, китайских и европейских ПДУ для токсичных элементов в рыбной продукции обнаруживается ряд различий (табл. 1). Так, в российских нормативных документах представлены предельно допустимые концентрации не только в целой тушке рыбы, но и по органам, в документации ЕС и КНР такого разделения нет.

Таблица 1.

Предельно допустимые уровни содержания токсичных веществ в рыбе, принятые в России, Китае и Европейском союзе, мг/кг сырой массы

Продукция	ТР ТС 021/2011			GB 2762–2017				ЕС 1881/2006		
	Cd	Pb	As	Cd	Pb	As		Cd	Pb	As
						Орг.	Неорг.			
Свежая, охлажденная и мороженная рыба	0.2	1	5	0.1	0.5	*	0.1	0.05	0.3	*
Икра и молоки рыб	1	*	1	*	*	*	*	*	*	*
Рыбная печень	0.7	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Примечание: *данные отсутствуют

Нормативы ЕС по содержанию Pb и Cd в гидробионтах более консервативные, по сравнению с нормативами РФ и КНР. Также состоит отметить отсутствие ПДУ для As в европейских нормативах. В РФ и КНР в рыбной продукции регулируется ПДУ для мышьяка, однако в России существует регламент только для общего мышьяка, в отличие от нормативных документов КНР,

где мышьяк разделяют на органический и неорганический. В России мышьяк считается одним из самых токсичных элементов. В пищевых продуктах он может находиться в двух формах: неорганической (iAs) и органической (oAs) (EFSA). Первая наиболее токсична, вторая наносит значительно меньше вреда здоровью или не наносит вовсе.

Оценка рисков для здоровья человека

Рыба является важным источником белка и полиненасыщенных жирных кислот, необходимых для нормального развития человека. Особую ценность и существенно больший вклад в рационе питания она составляет у жителей территорий, расположенных вблизи морей. По данным Росстата среднее потребление рыбы одним человеком на Дальнем Востоке составляет 29 кг/г, что на 9 кг больше в сравнении с другими регионами страны [23]. Стоит отметить, что эта величина приходится на всю рыбу, тем самым не отражает персональное потребление каждого вида обширной группы морских организмов, пригодных к пище. Следовательно, предоставляется исключительно важной информация о возможных рисках для здоровья человека при употреблении рыбы в целом.

Исходя из полученных нами результатов (табл. 2), при употреблении 0.08 кг печени макруруса в день существует риск развития рака (ILCR = 4.9×10^{-5}), а также существует потенциальный риск для здоровья человека (HQ = 0.35).

Таблица 2.

Значения показателя риска для человека токсичных элементов в органах малоглазого макруруса

Элемент	Потребление, кг/день	EDI для HQ	HQ	EDI для ILCR	ILCR
Печень					
As	0.08	2.9×10^{-5}	0.09	2.7×10^{-5}	**4.9×10^{-5}**
Cd	0.08	2.8×10^{-4}	**0.35****	–*	–
Pb	0.08	3.7×10^{-5}	0.01	–	–
Hg	0.08	5.8×10^{-5}	0.19	–	–
Мышцы					
As	0.08	8.3×10^{-5}	**0.27**	7.7×10^{-5}	**1.3×10^{-4}**
Cd	0.08	3.5×10^{-5}	0.04	–	–
Pb	0.08	1×10^{-5}	0.003	–	–
Hg	0.08	4.9×10^{-5}	0.16	–	–

Примечание:
*показатели не рассчитывались.
** выделенные числа указывают на наличие потенциально возможного риска.

При употреблении 0.08 кг мышечной ткани в день в течение всей жизни возможен риск развития рака ILCR $1.3\times10^{-4}>1\times10^{-5}$. также существует потенциальный риск для здоровья человека HQ 0.27> 0.2.

Исходя из полученных нами результатов (табл. 3), при употреблении 0.08 кг печени нерки в день существует потенциальный риск для здоровья человека (HQ = 1.53).

Таблица 3.

Значения показателя риска для человека токсичных элементов в органах нерки

Элемент	Потребление, кг/день	EDI для HQ	HQ	EDI для ILCR	ILCR
Печень					
Cd	0.08	1.2×10^{-3}	**1.53****	–*	–
Pb	0.08	2.2×10^{-4}	0.06	–	–
Мышцы					
Cd	0.08	3.4×10^{-5}	0.04	–	–
Pb	0.08	2.2×10^{-4}	0.06	–	–
Икра					
Cd	0.08	6.5×10^{-5}	0.08	–	–
Pb	0.08	2.2×10^{-4}	0.06	–	–

Примечание:
*показатели не рассчитывались.
** выделенные числа указывают на наличие потенциально возможного риска.

Максимальные уровни потребления макруруса установлены в связи с риском получить избыточную дозу мышьяка и кадмия. При ежедневном употреблении печени нерки существует риск отравления кадмием.

Заключение

Определены уровни содержания Cd, Pb, As и Hg в мышцах, печени и гонадах макруруса малоглазого и Cd и Pb в мышцах, печени, гонадах и икре кеты. Средние уровни содержания мышьяка, кадмия, свинца и ртути в макрурусе составили 0.037±0.026, 0.19±0.065, 0.033±0.021, 0.033±0.012 мг/кг сырой массы, соответственно. Среднее содержание кадмия и свинца в нерке составило 0.3±0.23, 0.2±0.12 соответственно. Содержание токсичных элементов в органах малоглазого макруруса из Берингова моря не превышало предельно допустимых концентраций санитарных норм Российской Федерации. В печени нерки было обнаружено превышение концентрации кадмия в 1.5 раза. Оценка экологического риска показала, что при употреблении 0.08 кг печени макруруса в день существует риск развития рака (ILCR = 4.9×10^{-5}), а также существует потенциальный риск для здоровья человека (HQ = 0.35). При употреблении 0.08 кг печени нерки существует потенциальный риск для здоровья человека (HQ = 1.53).

Для оценки безопасности потребления гидробионтов, выявления рисков для здоровья людей, а также для мониторинга состояния экосистемы в целом, одной из важных задач является расширение исследований, не только широко распространенных и традиционных в вылове, но и глубоководных промысловых или потенциально промысловых видов рыб.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (соглашение №22-24-00465).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петухов С.А., Морозов Н.П. К вопросу о «видовых» различиях микроэлементного состава рыб // Вопросы ихтиологии. – 1983. – Т. 23. – № 5. – С.870–872.

2. Tsygankov V.Yu. Organochlorine pesticides in marine ecosystems of the far eastern seas of russia (2000-2017) // Water Research. – 2019. – Vol. 161. P. 43–53.

3. Burger J., Gochfeld M. Heavy metals in commercial fish in New Jersey // Environmental Research. – 2005. – Vol. 99. – № 3. – P. 403–412.

4. Hightower J.M., Moore D. Mercury levels in high-end consumers of fish // Environmental health perspectives. – 2003. – Vol. 111. № 4. – P. 604–608.

5. Concentrations and Risk Assessment of Heavy Metals in Tissues of Walleye Pollock (Gadus chalcogrammus) Captured from the Northeastern Coast of Korea / D. W. Hwang, K. Shim, C. I. Lee // Journal of food protection. – 2019. – Vol. 82. – № 5. – P. 903–909.

6. Некоторые черты биологии малоглазого Albatrosia pectoralis и пепельного Coryphaenoides cinereus макрурусов в тихоокеанских водах Северных Курильских островов и юго-восточной Камчатки / А.М. Орлов, А.А. Абрамов, А.М. Токранов // Тез. докл. VII межд. научн. конф Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей. – Петропавловск Камчатский, 2007. – С.120–148.

7. Микроэлементный состав горбуши Oncorhynchus gorbuscha Walbaum, 1792 из Сахалино-Курильского региона / Н.К. Христофорова, А.В. Литвиненко, В.Ю. Цыганков, М.В. Ковальчук и др. // Биология моря. – 2019. – Т. 45. – № 4. – С. 260–266.

8. Бугаев В.Ф. Рыбы бассейна реки Камчатки (численность, промысел, проблемы). Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2007. – 192 с.

9. Коновалов С.М. Популяционная биология тихоокеанских лососей. Дальневосточный научный центр. – Ленинград: Наука. Ленинградское отделение АН СССР, 1980. – 237 с.

10. Шунтов В.П., Темных О.С. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах. Владивосток: ТИНРО-Центр, 2008. – Т. 1. – 481 с.

11. Глазунова И.А., 2007. Содержание и особенности распределения тяжелых металлов в органах и тканях рыб Верхней Оби // Известия Алтайского государственного университета. – 2007. – Т. 3. – С. 20–22.

12. Тяжелые металлы Hg, Cd, Pb в организме стерляди (Acipenser ruthenus L.), Нижний Иртыш / А.А. Чемагин, Г.И. Волосников, Д.Н. Кыров, Е.Л. Либерман // Вестник Мурманского государственного технического университета. – 2019. – Т. 22. № 2. – С. 225–233.

13. Грициняк І.І., Янович Д.О., Бех В.В. Вплив неесенціальних елементів (ртуть, миш’як) на організм лососевих (Salmonidae) риб (огляд) // Рибогосподарська наука України. – 2015. – Т. 3. – С. 18–33.

14. Elemental mercury: Its unique properties affect its behavior and fate in the environment / H. Gonzalez-Raymat, G. Liu, C. Liriano, Y. Li et al. // Environmental Pollution. – 2017. – Vol. 229. – P. 69–86.

15. Selin N.E. Global biogeochemical cycling of mercury: a review // Annual review of environment and resources. – 2009. – Vol. 34. – P. 43–63.

16. Скальный В.В., Некрасов В.И., Мясников И.О. Элементный статус работников ОАО "Северсталь" // Микроэлементы в медицине. – 2006. – Т. **7.** – № 2. – С. 47–52.

17. Войнар А.И., 1960. Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека. М.: Высшая школа,1960. – 544 с.

18. Попов П.А. Оценка экологического состояния водоёмов методами ихтиоиндикации: монография. Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос ун-та, 2002. – 270 с.

19. Ковековдова Л.Т. Микроэлементы в морских промысловых объектах дальнего востока России: дисс. … док. биол. наук. – Владивосток, 2011. – 307 с.

20. Food as the dominant pathway of methylmercury uptake by fish / B.D. Hall, R.A. Bodaly, R.J.P. Fudge, J.W.M. Rudd et al. // Water Air Soil Pollut. – 1997. – Vol. 100. P. 13–24.

21. Dietary and waterborne mercury accumulation by yellow perch: a field experiment / L.E. Hrenchuk, P.J. Blanchfield, M.J. Paterson, H.H. Hintelmann // Environ. Sci. Technol. – 2012. Vol. 46. – P. 509–516.

22. Распределение и аккумуляция ртути в байкальской нерпе / М.В. Пастухов, В.Н. Эпов, Т. М. Чешельский, В.И. Алиева и др. // Изв. Иркутск. гос. ун-та. Сер.: Биология. Экология. – 2011. – Т. 4. № 1. – С. 56–66.

23. Рыбная промышленность Дальнего Востока России: современное состояние, проблемы и перспективы конкурентоспособности / О.Ю. Ворожбит, Т.Е. Даниловских, И.А. Кузьмичева, Н.Ю. Титова и др. Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2016. – 156 с.

TOXIC TRACE ELEMENTS IN SMALL-EYED GRENADIER (ALBATROSSIA PECTORALIS GILBERT, 1892) AND SOCKEYE SALMON (ONCORHYNCHUS NERKA WALBAUM, 1792) FROM THE BERING SEA

[1]Gamov Matvey Konstantinovich, post-graduate student
[2]Litvinenko Anna Vladimirovna, PhD, associate professor
[3]Khristoforova Nadezhda Konstantonovna, Doctor of Biological Sciences, Professor of the UNESCO International Chair "Marine Ecology"
[4]Metreveli Vadim Evgenievich, post-graduate student
[5]Tsygankov Vasily Yurievich, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Director of the Department of Complex Projects and Acting Dean of the Faculty of Industrial Biotechnology and Bioengineering. Professor of the International Department of UNESCO "Marine Ecology"

[1,3,4,5]Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia,
e-mail: [1]gamovmota123456@gmail.com; [3]more301040@gmail.com; [4]metreveli.vadim@mail.ru; [5]tsig_90@mail.ru
[2]Sakhalin State University, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, e-mail: [2]litvinenko.av@bk.ru

The concentrations of toxic elements As, Cd, Pb, Hg in the organs of small-eyed grenadier (Albatrossia pectoralis) and Cd, Pb in the organs of sockeye salmon (Oncorhynchus nerka) from the Bering Sea were determined. The content of toxic elements did not exceed the maximum permissible levels, with the exception of cadmium in the liver of sockeye salmon.

The ecological risks of eating grenadier and sockeye were calculated, based on the data obtained, a potential risk of developing cancer during life and a potential risk to human health were established.

УДК 551.465.16(261)(06)

ВОДНЫЕ МАССЫ НА ПОВЕРХНОСТИ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА И ИХ СЕЗОННЫЕ МИГРАЦИИ

[1]Дубравин Владимир Филиппович, д-р геогр. наук, доцент, вед. науч. сотрудник
[2]Цветкова Надежда Николаевна, канд. геогр. наук, доцент кафедры водных биоресурсов и аквакультуры

[1]Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия,
e-mail: v_dubravin@mail.ru
[2]Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия, e-mail: nagornova@klgtu.ru

По данным WORLD OCEAN ATLAS 2018 (WOA18) [1, 2] выполнен статистический термохалинный анализ вод на поверхности Атлантического океана (методика Cochrane [3]), осреднение для пятиградусных трапеций за период 1955-2017 гг. Для среднего года (сезона) выделены восемь основных (первичных) поверхностных водных масс (ВМ) (в соответствии с главными климатическими зонами) и три вторичных. Сравнение результатов T,S-анализа массивов WOA94, WOA05 в [4] и WOA18 выявило устойчивость положения ядер поверхностных ВМ Атлантического океана во времени и пространстве.

Введение

В практике океанологических исследований весьма важно изучение распределения водных масс и структуры вод Мирового океана. Это имеет междисциплинарную значимость – не только гидрофизическую и географическую (своего рода классификация гидрологических характеристик в про-

странстве), но и биологическую, поскольку ВМ могут рассматриваться как биотопы биогеоценозов [5]. В пределах границ ВМ, во фронтальных зонах отмечается замещение видовых составов сообществ гидробионтов. При этом чем сильнее различаются ВМ по своим свойствам (чем больше величина градиентов между смежными ВМ, то есть, при более резкой выраженности фронтальной зоны), тем характернее смена состава биоценозов при переходе от одной ВМ к другой. Таким образом, интерес представляют не только сами ВМ, но и их сочетание и взаимодействие в горизонтальном (структурные зоны (СЗ) – в терминах В.Н. Степанова [6]) и вертикальном (структура вод (СВ) – в терминах А.Д. Добровольского [7]) направлениях.

В учение о ВМ значительный вклад внесен многими исследователями [6-15 и др.]. При этом, общепринятым, как наиболее полным [4, 15-17] определением понятия «ВМ» океана является трактовка А.Д. Добровольского: «Водной массой следует называть некоторый, сравнительно большой объем воды, формирующийся в определенном районе Мирового океана – очаге, источнике этой массы, – обладающий в течение длительного времени почти постоянным и непрерывным распределением физических, химических и биологических характеристик, составляющих единый комплекс, и распространяющихся, как одно, единое целое» [7, с. 12].

Тем не менее несмотря на то, что Северная Атлантика (СА) – наиболее изученная в гидрометеорологическом и океанологическом плане часть Мирового океана, в научной литературе нет общепризнанного положения о количестве ВМ и типов СВ этого региона. Как отмечалось ранее в [4] по разным оценкам на поверхности СА исследователи выделяют от трех до восьми ВМ [4, 9, 11, 13, 15, 17-19] и от трех до двадцати шести типов СВ [4, 21-24]. К тому же нет единого мнения в вопросе долгопериодной изменчивости ВМ.

Согласно формулировке ВМ А.Д. Добровольского в [7], все основные ВМ формируются на поверхности Мирового океана в определенных климатических зонах. Они характеризуются специфическими T,S-индексами, отражающими особенности соотношения поступления и расходования тепла и солей, а также динамики вод в районе (очаге) их формирования [13, 14, 23].

Однако, как следует из классификации Sverdrup [11], до сих пор являющейся наиболее распространенной [9, 15, 17, 21, 25-28], в поверхностном слое Северной и Южной Атлантики (ЮА) выделяется по три основные ВМ: североатлантическая центральная, субарктическая, лабрадорская – в СА и южноатлантическая центральная, субантарктическая, антарктическая – в ЮА.

Согласно альтернативным предложениям ВМ, перечень которых представлен в [4], отличающимся масштабами рассматриваемой акватории и степенью обобщенности физико-химических параметров водных структур, на поверхности Атлантического океана (АО) выделяется до четырнадцати ВМ, в том числе и вторичных, при этом одни и те же ВМ могут иметь различные названия.

Таким образом, следует, что у исследователей нет единого мнения о классификации поверхностных ВМ и их наименовании (терминологии), их формировании и распространении. Для устранения подобных разночтений нами в [29] был проведен анализ расчетов теплового [30] и пресноводного [31] балансов и распределения среднегодовых и среднесезонных значений температуры и солености на поверхности АО по данным WOA82 и WOA94 [32-34]. В результате совместного анализа была подтверждена правомерность выделения в [19] на поверхности АО восьми первичных поверхностных ВМ (по одной в каждой главной климатической зоне): 1) арктическая (А), 2) североатлантическая умеренных широт (САУ), 3) североатлантическая тропическая (САТ), 4) западноатлантическая экваториальная (ЗАЭ), 5) восточноатлантическая экваториальная (ВАЭ), 6) южноатлантическая тропическая (ЮАТ), 7) южноатлантическая умеренных широт (ЮАУ), 8) антарктическая (Ан) и трех вторичных: воды Фолклендского течения (ВМ фолклендская – Ф), воды Бенгельского течения (ВМ бенгельская – Б) и воды переходной зоны (ПЗ) – водами А, САУ и САТ, перемешанными приблизительно в равных пропорциях. Позднее в [4] был выполнен T,S-анализ массива WOA05, не выявивший заметных отличий в положении ядер главных поверхностных ВМ Атлантики из [29].

Цель работы – получить количественные оценки, а именно, процентное содержание и площадь занимаемой акватории, а также географическое распространение ВМ на поверхности Атлантического океана для среднего года и сезонов на основе гидрологического массива данных наблюдений WOA18 за 1955-2017 гг. [1, 2].

Авторы выражают благодарность А.В. Смирнову за помощь в обработке данных.

Материалы и методы, результаты

В основе исследования – однородный материал многолетнего гидрологического массива данных наблюдений World Ocean Atlas 2018 [1, 2], усредненного по среднегодовым (среднесезонным) значениям поверхностных температуры и солености на регулярной сетке 5° х 5° за весь период 1955-2017 гг. Границы поверхностных ВМ, согласно геометрии T,S-кривых В.Б Штокмана [12], определялись по линии 50-процентного содержания процентной номограммы соответствующего сезона (года).

Что касается T,S-индексов ядер выделенных ранее поверхностных ВМ в АО то, как отмечалось нами еще в [29], большинство цитируемых выше исследователей их не приводят, а дают лишь граничные T,S-значения для каждой ВМ [6, 9, 13, 18, 22, 35]. Поэтому для уточнения термохалинных индексов выделенных ВМ была применена методика Кокрейна [3], выполнен статистический T,S-анализ поверхностных вод (рис. 1). При этом необходимо обратить внимание, что географическое деление тропической Атлантики на северную и южную затрудняет статистический T,S-анализ, поскольку ЮАТ, ЗАЭ и ВАЭ во все сезоны и в среднем за год располагаются в обоих географических полушариях [4, 19, 29]. В таких условиях целесообразно разделить АО на северную и южную части по гидрометеорологическим признакам. Метеорологический экватор (граница раздела между северным и южным гидрометеорологическими полушариями МЭ) по оценкам в [36] данных COADS (A Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set) климатически в среднем за год проходит с запада на восток примерно по линии 2-8° с.ш., с максимальным его смещение к северу (до 6-12° с.ш.) северным летом (VIII-X), а к югу – (до 3° ю.ш. - 5° с.ш.) – северной зимой (II-IV).

Среднегодовое распределение поверхностных ВМ. Рис. 1 дает представление о среднегодовых статистических T,S-классах поверхностных вод СА и ЮА для акваторий севернее и южнее МЭ по данным в пятиградусных трапециях [1, 2]. T,S-диаграммы свидетельствуют, что поверхностным водам Северной и Южной Атлантики (рис. 1 а, б) свойственны три типа распределения T,S-классов: при первом типе (А) или (Д) высоким значениям температуры 24-29 °С или 25-28 °С соответствуют значения практической солености от 34,5 до 37,4 или от 32,9 до 37,3. При втором типе (Б) или (Г) зависимость между температурой и соленостью прямолинейна, т. е. низким значениям температуры соответствуют низкие значения солености. При третьем типе (В) в СА зависимость тоже прямолинейна, но небольшим колебаниям температуры – от 0 до 9 °С – соответствуют значительные изменения солености – от 31,2 до 34,7. Однако при третьем типе (Е) в ЮА зависимость между температурой и соленостью обратная, т. е. с понижением температуры от 0 до (-2) °С растет величина солености от 33,8 до 34,3.

Рис. 1. – Среднегодовые статистические T,S-диаграммы поверхностных вод по данным WOA18 (1955-2017) [1, 2] в пятиградусных трапециях, рассчитанные по методике Cochrane [3]: а) Северная Атлантика, акватория севернее МЭ; б) Южная Атлантика, акватория южнее МЭ. Сумма частот составляет: 969 – Северная, 1232 – Южная Атлантика (для перехода к площади надо умножить значение частоты на 38405 км^2)

В точках пересечения линий А и Б, Б и В или В и Г, Г и Е, проведенных по максимумам частот распределения T,S-классов, получаем среднегодовые T,S-индексы ядер североатлантической тропической ВМ – САТ$_г$: T = 24,75 °C; S = 37,30 и североатлантической умеренных широт – САУ$_г$: T = 8,50 °C; S = 34,67 или ядер южноатлантической тропической ВМ – ЮАТ$_г$: T = 25,75 °C; S = 37,30 и южноатлантической умеренных широт – ЮАУ$_г$: T = (-0,25) °C; S = 33,76.

T,S-индексы ядер экваториальных ВМ – ЗАЭ и ВАЭ, а также арктической – А и антарктической – Ан, строго говоря, по принятой нами методике Кокрейна [3], не могут быть определены однозначно. При их выборе для ЗАЭ и ВАЭ мы руководствовались соображениями, подробно изложенными в [37], а именно:

1. При выделении T,S-индексов ядер поверхностных ВМ не следует использовать экстремальные значения T и S, наблюдаемые в очагах, а принимать средние значения для довольно значительной акватории в период формирования соответствующей ВМ.

2. T,S-индексы ядер экваториальных ВМ (ЗАЭ и ВАЭ) должны лежать на линии А или Г (рис. 1 а, б).

3. Согласно Berrit [35], фронтальная зона у западного побережья Африки, разделяющая экваториальную (восточную) и тропическую (южную) ВМ, проходит по изогалине 35,0. Тогда линия 50 %-ного содержания этих ВМ, пересекающая линию Г в точке 35,0, должна делить отрезок линии Г (рис. 1 б), ограниченный T,S-индексами этих ВМ, пополам.

С учетом вышесказанного получим для экваториальных ВМ (ВАЭ$_г$ и ЗАЭ$_г$): T = 27,50 °C; S = 32,70.

При выборе ядер T,S-индексов А и Ан мы руководствовались соображениями, изложенными в [38], в которой предлагалось для этих регионов в теплый сезон учитывать T и S у кромки льдов на поверхности (летняя модификация) и на глубине холодного промежуточного слоя (зимняя модификация) близких к температуре замерзания τ °C при данной солености для зимнего сезона. И тогда получим для ВМ арктической (А$_г$): T = 0,30 °C; S = 32,00 и антарктической (Ан$_г$): T = (-1,60) °C; S = 34,30.

Аналогичным образом были получены и T,S-индексы основных ВМ для четырех климатических сезонов. Сравнение T,S-индексов поверхностных ВМ АО для климатических средних года и сезонов, полученных по данным массивов WOA18 [1, 2] и WOA94 [33, 34], показало их полную идентичность [4, табл. 13].

Распределение поверхностных ВМ в АО для среднего года по данным массива WOA18 за 1955-2017 гг. [1, 2] представлено на рис. 2.

Первая ВМ – арктическая (А), формируется в арктическом бассейне Северного Ледовитого океана в условиях отрицательного радиационного баланса и повышенных осадков в течение всего года [13, 29, 30]. Из двух очагов формирования – моря Гренландское и Баффина – эти воды попадают в Атлантический океан. Характеристики температуры и солености и первых, и вторых вод достаточно схожи: в зимний период их температура близка к температуре замерзания (-1,8 °C) при солености 34,0 или несколько ниже, с наступлением лета соленость понижается до 30,0, а температура повышается до 1-3 °C на восточном шельфе Гренландии и у берегов Баффиновой Земли и до 5-6 °C у берегов Лабрадора [22, 29]. Из рис. 2 следует, что в среднем за год арктическая ВМ распространяется только в Девисовом проливе. Важно обратить внимание, что данные наблюдений в массиве WOA18 отсутствуют на севере Датского пролива и вдоль восточного побережья Канады (п-ов Лабрадор и о. Ньюфаудленд). Поэтому следует иметь в виду, что в Таблице показаны площади, занимаемые выделенными ВМ, в среднем для года (сезона) и их доля в общей площади зеркала собственно АО только по данным WOA18 (т.е. без учета пропусков). И тогда площадь, занимаемая А составит около 658 тыс. км^2 или ~ 1,8 % акватории СА, севернее МЭ (~ 0,8 % акватории собственно АО)[1].

Вторая ВМ – североатлантическая умеренных широт (САУ), ее образование отмечается в умеренных широтах СА в условиях выхолаживания и избыточного увлажнения. Очаг ее формирования располагается в центре субполярного циклонического круговорота между 55-60° с.ш. и 35-40° з.д. В этом районе среднемесячные величины радиационного баланса R и пресноводного баланса B_0 большую часть года положительны и составляют ≥ 20-160 Вт×м$^{-2}$ и ≥ 50-80 мм [30, 31]. Распространяется САУ вдоль меридиана на юг от северной границы Атлантики, восточнее о. Исландия, до 40-42° с.ш. и вдоль параллели на восток от 42-61° з.д. вплоть до шельфовой зоны Европы. При этом, как следует из рисунков 1 а и 2, САУ на западе взаимодействует с А, а на юге – с третьей ВМ – североатлантической тропической (САТ) (см. ниже). Линию раздела между которыми принято называть вторичным субарктическим фронтом [29]. Площадь акватории, занимаемая САУ составляет около 8051 тыс. км^2 или ~21,6 % акватории СА, севернее МЭ (~ 9,5 % акватории собственно АО).

Третья ВМ – североатлантическая тропическая (САТ), формируется в течение всего года на поверхности в районе океана, в условиях высокой температуры и острого дефицита атмосферной влаги. К центру северного субтропического антициклонального круговорота приурочен очаг ее формирования. Здесь среднегодовая величина R ≥ 150 Вт×м$^{-2}$ с колебанием среднемесячных вели-

[1] По нашим оценкам в [4, 29] данных массивов WOA94 и WOA05 ВМ – А простирается до залива Мэн (43° с.ш.), что позволяет акваторию с отсутствующими данными вдоль канадского побережья отнести к арктической ВМ. И тогда площадь акватории, занимаемая А с учетом экстраполяции, составит около 1318 тыс. км^2 или ~ 3,4 % акватории СА, севернее МЭ (~ 1,5 % акватории собственно АО).

чин от 70 до 200 Вт×м$^{-2}$ [30]; среднегодовое значение отрицательного пресноводного баланса B_0 = (-1200) мм, а их среднемесячные значения опускаются ниже (-80)÷(-130) мм [31]. Распространяется САТ от полярного фронта на севере (40-42° с.ш.) до МЭ на юге (2-8° с.ш.) и от западного до восточного побережий субтропической и тропической зон СА. Площадь акватории, занимаемая САТ составляет около 29151 тыс. км^2 или (~32,1 % акватории собственно АО), из которых 27059 тыс. км^2 или ~72,7 % приходится на акваторию СА, севернее МЭ и 92 тыс. км^2 южнее МЭ или 0,2 % акватории ЮА.

Четвертая и пятая ВМ – экваториальные воды. Некоторые авторы [6, 18] в экваториальной зоне АО выделяют поверхностную экваториальную ВМ и распространяют ее на всю Экваториальную Атлантику. Однако согласно другим исследователям – [19, 35, 37, 38] образование экваториальных вод связывают с постоянными условиями положительного теплового и пресноводного баланса в экваториальных широтах на западе и востоке океана и выделяют западную и восточную модификации экваториальной ВМ – четвертая и пятая ВМ – западноатлантическая и восточноатлантическая экваториальные – ЗАЭ и ВАЭ. В [29] показано, что эти ВМ формируются в условиях высоких температур и избыточного увлажнения (среднегодовая величина R ≥ 130-150 Вт×м$^{-2}$, с колебанием среднемесячных величин от 100 до 180 Вт×м$^{-2}$ [30]; среднегодовая величина пресноводного баланса B_0 в районах очагов в пределах пятиградусной трапеции превышает 1,22-3,70 тыс. км^3 для ЗАЭ и 0,88-1,26 тыс. км^3 для ВАЭ с колебанием среднемесячных величин 0,06-0,16 и 0,19-0,45 тыс. км^3 на западе и 0,03-0,14 и 0,02-0,25 тыс. км^3 на востоке [31]). В среднем за год ЗАЭ и ВАЭ характеризуются двумя ядрами: ядра западной ВМ приурочены к устьям рек Ориноко и Амазонки, ядра восточной находятся в глубине Гвинейского залива и у устья р. Конго [37].

На среднегодовой карте (рис. 2) ЗАЭ не выявляется. Однако следует иметь в виду, что данные наблюдений в массиве WOA18 отсутствуют в прибрежной зоне Южной Америки в близи устьев рек Ориноко и Амазонки. По нашим оценкам в [4, 29] данных массивов WOA94 и WOA05 в среднем за год ВМ – ЗАЭ распространяется между 16° с.ш. и 1° ю.ш. и 64° и 45° з.д. По данным массива WOA18 ЗАЭ отмечается в теплый сезон. Предположительно акватория, занимаемая ЗАЭ при годовом осреднении мала – с учетом экстраполяции ее площадь около 46 тыс. км^2 или ~0,05 % акватории собственно Атлантики, из которых 31 тыс. км^2 простирается севернее МЭ (0,04 % акватории СА).

ВАЭ в среднем за год распространяется вдоль побережья Западной Африки к востоку: от 15-17° з.д. вблизи северной границы (11-10° с.ш.), от нулевого меридиана на экваторе и от 6-9° в.д. вблизи южной (9-10° ю.ш.) (рис. 2), охватывая акваторию площадью около 1915 тыс. км^2 (92 и 1824 тыс. км^2 или 0,2 и 3,9 % акватории СА и ЮА, соответственно) или 2,3 % акватории собственно АО).

Шестая ВМ – южноатлантическая тропическая (ЮАТ), также, как и САТ, формируется в течение всего года в условиях высокой температуры и острого дефицита атмосферной влаги. Очаг ее формирования располагается в центре южного субтропического антициклонального круговорота. Распространяется ЮАТ от МЭ на севере (2-8° с.ш.) до 33-37° ю.ш. на юге и от западного до восточного побережий тропической и субтропической зон ЮА. Здесь среднегодовая величина R более 140 Вт×м$^{-2}$ с колебанием среднемесячных величин от 80 до 190 Вт×м$^{-2}$ [30]; среднегодовое значение отрицательного пресноводного баланса B_0 = (-1150) мм, а их среднемесячные значения опускаются ниже (-55)÷(-125) мм [31]. Ядро этой ВМ располагается на 15-20° ю.ш. к западу от 25° з.д. Площадь акватории, занимаемая ЮАТ составляет около 23259 тыс. км^2 или ~49,2 % акватории ЮА южнее МЭ (~27,5 % акватории собственно АО).

Рис.2. – Поверхностные водные массы Атлантического океана, средние за год (I-XII), рассчитанные по данным WOA18 (1955-2017) [1, 2]: 1 – арктическая (А), 2 – североатлантическая умеренных широт (САУ), 3 – североатлантическая тропическая (САТ), 4 – западноатлантическая экваториальная (ЗАЭ), 5 – восточноатлантическая экваториальная (ВАЭ), 6 – южноатлантическая тропическая (ЮАТ), 7 – южноатлантическая умеренных широт (ЮАУ), 8 – антарктическая (Ан), 9 – фолклендская (Ф), 10 – бенгельская (Б), ПЗ – воды переходной зоны, 11 – вторичный субаркический фронт

Седьмая ВМ – южноатлантическая умеренных широт (ЮАУ), образуется в умеренных широтах ЮА в условиях выхолаживания и избыточного увлажнения. Очаг ее формирования располагается в зоне антарктической конвергенции между пятидесятой и шестидесятой южными параллелями и 35-м западным и нулевым меридианами. Здесь среднемесячные величины радиационного баланса R большую часть года (за исключением мая-июля) положительны и составляют ≥ 5-150 Вт×м$^{-2}$ [30], среднегодовое значение пресноводного баланса B_0 = 1150 мм, а среднемесячные значения не опускаются ниже 65÷125 мм [31]. В среднем в течение года эта ВМ простирается от западной до восточной границы ЮА между 33-37° ю.ш. и, по крайней мере, 60° ю.ш.. Следует иметь в виду, что эта ВМ по среднегодовым данным между 55-40° з.д. отмечается в море Уэдделла, проникая на юг до 75 южной параллели, а между 30-10° з.д. и 10-20° в.д. распространяется до побе-

режья Антарктиды. Площадь акватории, занимаемая ЮАУ составляет около 18024 тыс. км^2 или 38,1 % акватории ЮА (21,3 % акватории собственно АО).

Таблица

Сезонная изменчивость доли поверхностных ВМ в общей площади зеркала собственно Атлантического океана (в тыс. км^2 – верхняя строка и процентах – нижняя), рассчитано по данным WOA18 (1955-2017) [1, 2]

ВМ	Площади зеркала (тыс. км^2)	СЕЗОНЫ				Год (I-XII)
		Зима (II-IV)	Весна (V-VII)	Лето (VIII-X)	Осень (XI-I)	
	СА	39332,6	37073,0	34728,1	37322,0	37218,3
	ЮА	44897,6	46531,4	48484,7	46351,0	47315,3
	АО	84230,2	83604,4	83212,8	83673,0	84533,6
А	-	1788,2	874,0	908,5	1218,9	658,0
	-	2,0	1,0	1,0	1,4	0,8
САУ	-	9723,3	8995,6	9591,5	9303,2	8051,2
	-	11,0	10,2	10,9	10,6	9,5
САТ	-	26024,7	26216,3	25152,3	25790,0	27150,8
	-	29,6	29,8	28,7	29,5	32,1
ЗАЭ	-	-	1113,2	1166,0	-	-
	-	-	1,3	1,3	-	-
ВАЭ	-	2654,4	1684,5	1011,9	3041,4	1915,4
	-	3,0	1,9	1,2	3,5	2,3
ЮАТ	-	23612,8	24914,8	25180,9	24046,3	23258,7
	-	26,8	28,3	28,7	27,5	27,5
ЮАУ	-	18018,6	15852,5	16732,4	15864,5	18024,5
	-	20,5	18,0	19,1	18,1	21,3
Ан	-	2988,3	4886,0	4251,6	3996,5	2087,0
	-	3,4	5,6	4,9	4,6	2,5
ПЗ	-	282,1	1105,7	1200,7	1445,9	1304,8
	-	0,3	1,3	1,4	1,7	1,5
Б	-	1717,4	1462,9	1691,1	957,1	1421,8
	-	2,0	1,7	1,9	1,1	1,7
Ф	-	1217,6	842,3	523,5	1922,8	836,6
	-	1,4	1,0	0,6	2,2	1,0
ПрЭА	-	-	-	213,8	-	-
	-	-	-	0,2	-	-

Восьмая ВМ – антарктическая – Ан [11, 38], формируется в море Уэдделла в режиме почти круглогодичного (за исключением января-марта) отрицательного радиационного баланса [30] и избыточного увлажнения. Один из очагов ее формирования – шельфовый ледник Ронне, второй – Берег Принцессы Марты и Берег Принцессы Астрид (см. рис. 2). В западном очаге среднегодовое значение эффективных осадков превышает 200-500 мм, а их среднемесячные значения не опускаются ниже 15-20 мм, следует также иметь в виду еще одну приходную составляющую величины пресноводного баланса B_0 – сток материкового льда Антарктиды, достигающий за год 0,57 тыс. км^3, а в восточном – среднегодовая величина эффективных осадков может превышать 300-1200 мм [31]. В [29] нами была выявлена приуроченность обоих очагов формирования Ан к центрам циклонических круговоротов на среднегодовых динамических картах верхнего слоя океана [39] или на схемах дрейфовой циркуляции в море Уэдделла [40]. Это позволяет связать происхождение восточного очага Ан (между 15° з.д. и 10° в.д.) с известной «Полыньей Уэдделла», где поверхностные воды ЮАУ в холодный сезон (сентябрь) могут приобретать свойства Ан [29, 41]. Площадь акватории, занимаемая Ан – 2087 тыс. км^2 или ~ 4,4 % акватории ЮА (~ 2,5 % акватории собственно АО).

Анализ статистических T,S-диаграмм на рис. 1 показал, что в СА следует выделить еще одну (вторичную) ВМ – воды переходной зоны (ПЗ), а в ЮА следует выделить еще две вторичных ВМ: воды Фолклендского течения (ВМ фолклендская – Ф), воды Бенгельского течения (ВМ бенгельская – Б).

В районе между 38 и 48 северными параллелями и западнее 42° з.д., наблюдается область, заполненная, согласно нашим расчетам, водами А, САУ и САТ, перемешанными приблизительно в равных пропорциях (рис. 2). Эту смесь в [29] было предложено называть водами переходной зоны (ПЗ). Площадь акватории, занимаемая водами ПЗ составляет около 1305 тыс. км^2 или ~ 3,5 % акватории СА (~ 1,5 % акватории собственно АО).

В восточной части ЮА между 20-23° и 38° ю.ш., восточнее 8-10° в.д. и побережьем Африки, отмечаются холодные (T = 17-19 °C) воды невысокой солености (S ≤ 35,5) – воды Бенгельского течения, представляют бенгельскую ВМ (Б) – продукт смешения ВАЭ, ЮАТ и ЮАУ [37]. Ее воды занимают акваторию площадью 1422 тыс. км^2 или 3,0 % ЮА (1,7 % акватории собственно АО).

В западной части ЮА между 34° и 44° ю.ш., западнее 46° з.д. и побережьем Южной Америки, отмечаются холодные (T = 13-17 °C), малосоленые воды (S ≤ 35,0), находящиеся под влиянием стока р. Параны – воды Фолклендского течения (фолклендская ВМ – Ф) [37]. Эта ВМ простирается на акватории площадью ~ 837 тыс. км^2 или ~ 1,8 % ЮА (~ 1,0 % собственно АО).

Сезонные миграции поверхностных ВМ. Известно [13, 14, 42], что в результате вращения Земли вокруг своей оси (сут.) и вокруг Солнца (год) меняется положение полуденной высоты Солнца, а с ней и суточное количество притока на земную поверхность солнечной радиации. Следствием чего в атмосфере и гидросфере нашей планеты формируется солнечная годовая волна, проявляющаяся в форме 12-месячных (сезонных) колебаний всех гидрометеопараметров, в том числе и сезонной изменчивости циркуляции атмосферы и океана, метеорологического экватора, а значит и сезонной изменчивости положения границ поверхностных ВМ.

При анализе данных массивов WOA82, WOA94, WOA05 и WOA18 [1, 2, 32-34] в [4, 19, 29, 43] в качестве климатических сезонов в АО принимались сезоны со сдвигом на два месяца относительно календарных, в СА: зима – II-IV, весна – V-VII, лето – VIII-X и осень XI-I (обоснование и сводка показаны в [4]).

Возвращаемся к Таблице, в которой кроме площадей акваторий, занимаемых выделенными ВМ по климатическим сезонам, показаны и их доли в общей площади зеркала собственно АО. Выше отмечались сезонные миграции МЭ с максимальным северным положением в период развития юго-восточного пассата – северным летом и максимальным южным положением в период развития северо-восточного пассата – северной зимой. Поэтому вполне логично, что, как показано в Таблице, максимальная площадь зеркала СА в сезонном ходе – 39333 тыс. км^2 наблюдается в II-IV, минимальная – 34728 тыс. км^2 в VIII-X. В ЮА, как и следовало ожидать, сезонный ход площадей – противофазен, т. е. максимум – 48485 тыс. км^2 наступает в – VIII-X, минимум – 44898 тыс. км^2 в II-IV. Что касается площади зеркала всего АО, поскольку она не зависит от сезонных миграций МЭ, то следовало ожидать отсутствия ее изменений от сезона к сезону. Однако, сезонные изменения имеют место быть: максимальная площадь зеркала АО отмечается в II-IV – 84230 тыс. км^2, минимальная – 83213 тыс. км^2 в VIII-X. Кроме того, средние из четырех сезонов значения площадей зеркала СА, ЮА и АО – 37114, 46566 и 83680 тыс. км^2, соответственно, отличаются от площадей для среднего года – 37218, 47315 и 84534 тыс. км^2. По всей вероятности, эти несоответствия можно объяснить различным количеством пятиградусных трапеций с отсутствием данных наблюдений. По нашим оценкам данных WOA18 площади зеркала трапеций без наблюдений по сезонам для АО составляют – 3795, 4325, 4384 и 3889 тыс. км^2, соответственно в II-IV, V-VII, VIII-X и XI-I. И тогда с учетом пропусков площадь зеркала АО по климатическим сезонам составит 88025,6; 87929,4; 87596,5 и 87562,0 тыс. км^2, соответственно в II-IV, V-VII, VIII-X и XI-I, что достаточно близко к величине площади зеркала собственно Атлантического океана 88130 тыс. км^2, приведенной в [31].

Выше отмечалось, что для среднего года наибольшего распространения достигают главные ВМ тропические и умеренных широт, наименьшего – полярные (антарктическая и арктические) и экваториальные ВМ, располагаясь в убывающем порядке: САТ, ЮАТ, ЮАУ, САУ, Ан, ВАЭ, А и ЗАЭ. Такие приоритеты сохраняются и для сезонной изменчивости, при этом относительная доля вклада каждой главной ВМ относительно площади зеркала собственно АО такова: САТ (28,7- 29,8 %), ЮАТ (26,8-28,7 %), ЮАУ (18,0-20,5 %), САУ (10,2-11,0 %), Ан (3,4-5,6 %), ВАЭ (1,2- 3,5 %), А (1,0-2,0 %) и

ЗАЭ (1,3 % – только для северного теплого сезона). Для вторичных – Б (1,1-2,0 %), ПЗ (0,3-1,7 %) и Ф (0,6-2,2 %).

Северной зимой (II-IV) – в период усиления северо-восточного пассата (СВП) при максимальном южном положении МЭ наблюдается максимальное распространение А, САУ, ЮАУ и Б, для САТ максимум приходится еще и на V-VII. Также на V-VII приходится наибольшее распространение Ан. Северным летом VIII-X – период усиления юго-восточного пассата (ЮВП), при крайнем северном положении МЭ максимальное распространение получают ЗАЭ и ЮАТ, а северной осенью XI-I максимально распространены ВАЭ, воды ПЗ и Ф. Особенно следует отметить еще одну вторичную ВМ – воды прибрежного экваториального апвеллинга (ПрЭА) – холодные, малосоленые (T ≤ 24,0 °C; S ≤ 35,0) воды наблюдаются только в VIII-X у побережья Габона и Анголы [35] и распространяются на акватории площадью 214 тыс. км^2 (0,2 % акватории собственно АО).

Выводы

Анализ распределения поверхностных ВМ Атлантического океана по данным WOA18 [1, 2], средних для года и сезонов за 1955-2017 гг. позволяет отметить следующее:

1. Выполненный статистический T,S-анализ поверхностных вод по методике Кокрейна [3] подтвердил существование в АО восьми главных ВМ (по четыре в каждом полушарии), очаги которых располагаются в пределах соответствующих климатических зон: арктическая (А); североатлантические: умеренных широт (САУ) и тропическая (САТ); экваториальные: западноатлантическая (ЗАЭ) и восточноатлантическая (ВАЭ); южноатлантические: тропическая (ЮАТ) и умеренных широт (ЮАУ); антарктическая (Ан), выделенных нами ранее в [4, 19, 29, 38] и определить T,S-индексы их ядер; а также трех вторичных ВМ: в северном полушарии – воды переходной зоны (ПЗ); в южном – фолклендская (Ф), бенгельская (Б).

2. Для среднего года наибольшего распространения достигают главные ВМ тропические и умеренных широт, располагаясь в следующем порядке: САТ (27151 тыс. км^2 или 32,1 % акватории собственно АО)); ЮАТ (23259 тыс. км^2 или 49,2 % акватории ЮА (27,5 % – АО)); ЮАУ (18024 тыс. км^2 или 38,1 % акватории ЮА (21,3 % – АО)) и САУ (8051 тыс. км^2 или 21,6 % акватории СА (9,5 % – АО)). Наименьшего – полярные (антарктическая и арктические) и экваториальные ВМ, располагаясь в убывающем порядке: Ан (2087 тыс. км^2 или 4,4 % акватории ЮА (2,5 % – АО)); ВАЭ (1915 тыс. км^2 или 2,3 % акватории АО); А (658 тыс. км^2 или 1,8 % акватории СА (0,8 % – АО)) и ЗАЭ (предположительно 46 тыс. км^2 или 0,1 % – АО). Для вторичных ВМ площади распространения таковы: Б (1422 тыс. км^2 или 1,7 % акватории АО); ПЗ (1305 тыс. км^2 или 1,5 % – АО) и Ф (837 тыс. км^2 или 1,0 % – АО).

3. Для сезонной изменчивости ВМ сохраняются такие же приоритеты, при этом относительная доля вклада каждой главной ВМ относительно площади зеркала собственно АО такова: САТ (28,7-29,8 %), ЮАТ (26,8-28,7 %), ЮАУ (18,0-20,5 %), САУ (10,2-11,0 %), Ан (3,4-5,6 %), ВАЭ (1,2-3,5 %), А (1,0-2,0 %) и ЗАЭ (1,3 % – только для северного теплого сезона). Для вторичных – Б (1,1-2,0 %), ПЗ (0,3-1,7 %) и Ф (0,6-2,2 %).

4. Сезонные миграции ВМ таковы: северной зимой (II-IV) – при усилении северо-восточного пассата (СВП) при максимальном южном положении МЭ наблюдается максимальное распространение А, САУ, ЮАУ и Б, для САТ максимум приходится еще и на V-VII. Северной весной (V-VII) – наибольшее распространение Ан. Северным летом VIII-X – период усиления юго-восточного пассата (ЮВП), при крайнем северном положении МЭ максимальное распространение получают ЗАЭ и ЮАТ, а северной осенью XI-I максимально распространены ВАЭ, воды ПЗ и Ф. Особенно следует отметить еще одну вторичную ВМ – воды прибрежного экваториального апвеллинга (ПрЭА) – холодные, малосоленые (T ≤ 24,0 °C; S ≤ 35,0) воды наблюдаются только в VIII-X у побережья Габона и Анголы [35] и распространяются на акватории площадью 214 тыс. км^2 (0,2 % акватории собственно АО).

5. Ход изолиний равного процентного содержания ядер главных ВМ свидетельствуют о том, что для ВМ тропических и умеренных широт (САУ, САТ, ЮАТ и ЮАУ) трансформация вдоль меридиана идет быстрее, чем вдоль параллели, а для полярных и экваториальных (А, ВАУ, Ан и предположительно ЗАЭ) наоборот, быстрее вдоль параллели.

6. Сравнение результатов T,S-анализа массивов WOA94, WOA05 в [4, 29] и WOA18 под-

твердило вывод об устойчивости T,S-индексов и положения ядер поверхностных ВМ Атлантического океана во времени и пространстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. World Ocean Atlas 2018, Vol. 1: Temperature / A. Mishonov, Technical Ed. NOAA Atlas NESDIS 81. – Silver Spring, Maryland. – 52 pp.

2. World Ocean Atlas 2018, Vol. 2: Salinity. A. Mishonov Technical Ed.; NOAA Atlas NESDIS 82. – Silver Spring, Maryland. – 50 pp.

3. Cochrane I.D. The frequency distribution of surface-water characteristics in the Pacific Ocean // Deep Sea Res. – 1956. – Vol. 4. – N 1. – P. 45-53.

4. Дубравин В. Ф. Атлас термохалинной и биогеографической структур вод Атлантического океана. – Калининград: Капрос, 2013. – 471 с.

5. Беклемишев К.Б. Экология и биогеография пелагиали. – М.: Наука, 1969. – 292 с.

6. Степанов В.Н. Мировой океан. – М.: Знание, 1974. – 256 с.

7. Добровольский А.Д. Об определении водных масс // Океанология. – 1961. – Т. 1 – Вып. 1. – С. 12-24.

8. Jacobsen J.P. Contribution to the hidrography of the North Atlantic // The Danich Dana Exped. 1920-22. – Copenhagen, 1929. – Vol. 1. – N 3. – 98 p.

9. Defant A. Phisical Oceanography. – London: Pergamon Press, 1961. – 729 p.

10. Wust G. Schichtung und Zirkulation des Atlantischen Ozean. Die Stratosphare // Deusche. Exped. "Meteor" 1925-27. – Berlin – Leipzig, 1935. – B. VI, 1, Teil. Lief 2. – S. 110-288.

11. Sverdrup H.U., Johnson M.W., Fleming R.H. The Oceans, their Phisics, Chemistry, General Biology. – New York: Prentice-Hall, 1942. – 1087 p.

12. Штокман В.Б. Основы теории T,S-кривых как метода изучения перемешивания и трансформации водных масс моря // Проблемы Арктики. – 1943. – N 2. – С. 32-71.

13. Зубов Н.Н. Динамическая океанология. – М.-Л.: Гидрометеоиздат, 1947. – 430 с.

14. Дитрих Г. Общая океанография – М.: Ин. Лит., 1962. – 465 с.

15. Мамаев О.И. Термохалинный анализ вод Мирового океана. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – 296 с.

16. Берникова Т.А. Гидрология и промысловая океанология. – М.: Пищевая пром-сть, 1980. – 240 с.

17. Жуков Л.А. Общая океанология. – Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – 376 с.

18. Гершанович Д.Е., Муромцев А.М. Океанологические основы биологической продуктивности Мирового океана. – Л.: Гидрометеоиздат, 1982. – 320 с.

19. Дубравин В.Ф. Поверхностные водные массы Атлантического океана // III съезд Сов. океанологов: Тез. докл. Секция физики и химии океана. Климат, взаимодействие океана и атмосферы, космическая океанология. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – С. 112-113.

20. Van Aken H.M. The Oceanic Thermohaline Circulation: An Introduction. – Springer, 2006. – 328 p.

21. Тюряков Б.И., Захарченко Н.Е. Районирование южной половины Северной Атлантики по принципу одинаковости структуры водных масс // Тр. ЛГМИ. – 1965. – Вып. 20. – С. 78-86.

22. Степанов В.Н. Океаносфера. – М.: Мысль, 1983. – 270 с.

23. Бурков В.А. Особенности гидрологии // Атлантический океан. География Мирового океана. – Л.: Наука, 1984. – С. 83-116.

24. Грузинов В.М. Гидрология фронтальных зон Мирового океана. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 272 с.

25. Бубнов В.А., Косарев А.Н. Распределение водных масс в Атлантическом океане на разрезе по меридиану 30° з.д. // Тр. МГИ АН УССР. – 1964. – Т. 30. – С. 70-80.

26. Баранов Е. И. Динамика и структура вод фронтальной зоны Гольфстрима // Океанологические исследования. – М.: Наука, 1971. – N 22. – С.94-153.

27. Talley L. D. and McCartney M. S. Distribution and Circulation of Labrador Sea Water // J. Phys. Oceanogr. – 1982. – Vol. 4. – N 11. – P. 1189-1205.

28. Harvey J. and Arhan M. The Water Masses of the Central North Atlantic in 1983-84 // J. Phys. Oceanogr. – 1988. – Vol. 18. – N 12. – P. 1855-1875.

29. Дубравин В.Ф. Поверхностные водные массы и формирование зон биологической продуктивности Атлантического океана. – СПб.: Гидрометеоиздат, 2001. – 125 с.

30. Строкина Л.А. Тепловой баланс поверхности океанов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1989. – 447 с.

31. Дубравин В.Ф. Атлас пресноводного баланса Атлантического океана. – Калининград, 1997. – 138 с. – Деп. ВИНИТИ 11.08.97, N 2668.

32. Levitus S. Climatological Atlas of the World Ocean. – NOAA Professional Paper, 1982. – n 13. – 188 p.

33. Levitus S. and Boyer T.P. World Ocean Atlas 1994. Vol. 4: Temperatura. – NOAA Atlas NESDIS 4. U.S. Dept. of Commerce NOAA. – 1994. – 117 p.

34. Levitus S., Burgett R. and Boyer T. P. World Ocean Atlas 1994. Vol. 3: Salinity. – NOAA Atlas NESDIS 3. U.S. Dept. of Commerce NOAA. – 1994. – 99 p.

35. Berrit G.R. Les eaux dessalees Du Golfe de Guinee // Symp. On Oceanogr. and Fish. Resources of the tropical Atlantic (Results of ICITA and GTS). Abidjan, Ivory Coast, 20-28 Oct. 1966. – UNESCO, Paris, 1969. – P. 13-22.

36. Дубравин В.Ф. Долгопериодная изменчивость циркуляции вод, метеорологических полей Восточной Тропической Атлантики и промысел // Вопросы промысловой океанологии. – 2005. – Вып. 2. – С. 253-267.

37. Дубравин В.Ф., Навроцкая С.Е. Поверхностные водные массы тропической Атлантики // Океанология. – 1984. – Т. 24. – Вып. 6. – С. 880-888.

38. Дубравин В. Ф. Поверхностные водные массы Атлантического океана // Комплексное изучение открытой части Атлантического океана. – Л.: ГО СССР, 1986. – С. 36-40.

39. Атлас океанов: Атлантический и Индийский океаны. – М.: МО СССР, ВМФ, 1977. – 306 л., 27 с.

40. Muench R.D., Gordon A.L. Circulation and transport of water along the western Weddell Sea margin // J. Geophys. Res. – 1995. – Vol. 100. – No C9. – P. 18503-18515.

41. Гордон А.Л., Комизо Д. С. Полыньи В Южном океане // "В мире науки". – 1989. – № 8. – С. 56-63.

42. Куликов К.А. Вращение Земли. – М.: «Недра», 1985. – 159 с.

43. Дубравин В. Ф., Краснобородько О. Ю. Особенности сезонной изменчивости поверхностных температуры и солености Атлантического океана // X Междунар. научн. конф. «Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов» (29 сент.–1 окт. 2022 г.): материалы. Калининград, Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»–2022.–Т. 3.– С. 191-202.

THE ATLANTIC OCEAN SURFACE WATER MASSES AND THEIR SEASONAL MIGRATIONS

[1]Dubravin Vladimir Filippovich, Dr of Science, associate professor, lead researcher
[2]Tsvetkova Nadezhda Nikolaevna, PhD, associate professor

[1] Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia,
e-mail: v_dubravin@mail.ru
[2] Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia, e-mail: nagornova@klgtu.ru

According to WORLD OCEAN ATLAS 2018 (WOA18) [1, 2], a statistical thermohaline analysis of the Atlantic Ocean surface water was performed (Cochrane method [3]), averaging for five-degree trapezoids over the period from 1955 to 2017. For the average year (season), eight main (primary) surface water masses (according to the main climatic zones) and three secondary water masses were identified. Comparison of the T,S analysis results between WOA94, WOA05 arrays in [4] and WOA18 revealed that cores of surface water masses in the Atlantic Ocean remained stable in time and space within assessed period.

УДК 556.01

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПРИДОННОЙ СОЛЕНОСТИ В ФИНСКОМ ЗАЛИВЕ ПО ДАННЫМ МОДЕЛЕЙ РЕАНАЛИЗА NEMO И ERA5

[1]Журбас Виктор Михайлович, д-р физ.-мат. наук, профессор, глав. науч. сотрудник, заведующий лабораторией морской турбулентности
[2]Голенко Мария Николаевна, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотрудник лаборатории геоэкологии
[3]Пака Вадим Тимофеевич, д-р физ.-мат. наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории прикладной океанологии
[4]Корж Андрей Олегович, ведущий инженер лаборатории прикладной океанологии

[1,2,3,4]Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия,
e-mail: [1]victor.zhurbas@mail.ru; [2]m.golenko@yahoo.com; [3]vpaka@mail.ru; [4]ao.korzh@ya.ru

На основе реанализов NEMO и ERA5 выявлен механизм ветровой миграции языка солености в придонном слое Финского залива (ФЗ). Проверка двух гипотез выявила следующий сценарий: ветер, направленный вдоль залива, развивает апвеллинговое и даунвеллинговое струйные течения того же направления, что и ветер на противоположных боковых границах залива, а в глубинном слое – компенсационное противотечение (так называемая гипотеза прибрежной струи). Данная гипотеза была подтверждена высокой корреляцией скорости миграции языка солености вдоль тальвега ФЗ, оцениваемой по данным NEMO с проекцией ветрового напряжения вдоль тальвега, рассчитанной по данным ERA5.

Введение

Балтийское море – полузамкнутое море, в которое поступает соленая вода из Северного моря через довольно узкие и мелкие проливы – Большой и Малый Бельты и Эресунн. Динамика солености является жизненно важным вопросом для функционирования морской экосистемы поскольку приток насыщенных кислородом соленых вод является единственным путем эффективной вентиляции придонного слоя Балтийского моря [1,2]. Фактически, Балтийское море представляет собой цепочку бассейнов, соединенных проливами/каналами (см. рис. 1), и обмен соленой водой между бассейнами в значительной степени контролируется ветровым воздействием [3]. Краусс и Брюгге (1991) первыми с помощью численного моделирования циркуляции Балтийского моря показали, что перенос соленой воды в восточном направлении в Слупском Желобе (СЖ, см. рис. 1) усиливается при восточном и северном ветрах, тогда как, наоборот, западные и южные ветры ослабляют перенос соленых вод на восток и могут даже полностью блокировать его [4]

Краусс и Брюгге (1991) объяснили механизм влияния ветра на перенос соленой воды в глубоком слое СЖ на примере простой модели двумерного канала с двухслойной стратификацией. Ветер, направленный вдоль канала, развивает на противоположных боковых границах канала апвеллинговые и даунвеллинговые струйные течения того же направления, что и ветер, а в глубинном слое – компенсационное противотечение (так называемая гипотеза вдольбереговой струи). Однако, эта гипотеза, способная объяснить перенос соленой воды в СЖ на восток при восточном ветре, не может объяснить его при северном ветре. Требуется другой механизм, который можно назвать гипотезой Экмановского переноса. А именно, ветер, дующий в поперечном каналу направлении, вызывает в поверхностном слое экмановский перенос, направленный вдоль канала (направо относительно направления ветра в северном полушарии) и компенсационное противотечение в глубинном слое канала (налево относительно направления ветра в северном полушарии).

Хотя ветровой перенос соленой воды в СЖ и Хобургском канале (ХК) оказался объясним гипотезой Экмановского переноса, а не с гипотезой прибрежных струй [5] нет уверенности в том, что то же самое верно и в других удлиненных бассейнах Балтийского моря, например в Финском заливе (ФЗ), поскольку существует несколько важных различий между ФЗ и СЖ или ХК. Первое, и, вероятно, самое важное, заключается в том, что СЖ и ХК представляют собой подводные каналы открытого

моря, удаленные от береговой линии, в то время как ФЗ ограничен береговой линией и известен явлениями апвеллинга и даунвеллинга на противоположных берегах [6, 10]. Во-вторых, ФЗ фактически представляет собой вытянутое продолжение устья реки Невы, впадающей в его восточную оконечность. В результате соленость и глубина моря уменьшаются с ~ 11 г/кг и 100 м соответственно у западного входа в ФЗ до нуля на его восточной оконечности. По этой причине распределение солености имеет вид придонного языка, вытянутого вдоль тальвега ФЗ на восток. Язык солености может мигрировать вперед и назад вдоль тальвега ФЗ в зависимости от ветровых условий (например, Liblik et al., 2020 [7]), и целью данной работы является изучение таких миграций на основе данных гидрофизического реанализа NEMO и метеорологического реанализа ERA5.

Рис. 1. Батиметрическая карта Балтийского моря за исключением самой северной части Ботнического моря и Ботнического залива. Черный прямоугольник очерчивает Финский залив.

Материалы и методы

В работе используются результаты последней версии реанализа Балтийского моря NEMO-Nordic 2.0 [8]. Среднесуточные данные придонной солености $S_{bot}(i,j,k)$ на модельной сетке с шагом 1 морская миля в диапазоне [22–30°E, 59–60,75°N], соответствующем ФЗ, за период 03.10.2020–17.12.2022 Индексы i,j,k соответствуют долготе, широте и времени соответственно; $i = 1,2,\dots,288$; $j = 1,2,\dots,106$; $k = 1,2,\dots,806$. Затем на каждом из 288×806 меридиональных разрезов ФЗ берется максимальное значение придонной солености $SMAX(i,k) = \max(S_{bot}(i,j = 1,2,\dots,106,k))$. В дальнейшем матрица максимальной придонной солености $SMAX(i,k)$ статистически анализируется в сравнении с данными ветра.

Чтобы охарактеризовать влияние ветрового воздействия на перенос соленой воды, использовался почасовой временной ряд скорости ветра на уровне 10 м, взятый из реанализа ECMWF V5 (ERA5) (https://www.ecmwf.int/en/forecasts/dataset/ecmwf-reanasis- v5). Данные были интерполированные в точки тальвега ФЗ с интервалом 0,5° в диапазоне долгот 22–30° в.д. и использовались для расчета почасовых временных рядов напряжения ветра с использованием эмпирической балк-параметризации [9]. Далее рассчитывались средние арифметические 24 последовательных членов почасового временного ряда ветрового напряжения для получения временного ряда среднесуточных значений вектора ветрового напряжения, $\tau(\mathrm{k}) = [\tau_x(\mathrm{k}), \tau_y(\mathrm{k})]$, того же направления, что и вектор скорости ветра.

Чтобы количественно охарактеризовать миграции языка солености вдоль ФЗ, мы обращаемся к матрице максимальных значений солености $SMAX(i,k)$, или, в непрерывном представлении, к двумерной функции $SMAX(x,t)$, где x и t – пространственная координата вдоль ФЗ и время соответственно.

Уравнение баланса для $SMAX(x,t)$ можно записать следующим образом

$$\frac{\partial SMAX}{\partial t} + U\frac{\partial SMAX}{\partial x} = DIF, \quad (1)$$

где DIF – диффузионный член, U – скорость миграции языка солености вдоль оси x. Принимая во внимание, что на временных масштабах порядка 1 дня диффузионные члены, скорее всего, пренебрежимо малы по сравнению с адвективными членами и частными (эйлеровыми) производными по времени, скорость миграции языка солености может быть выражена как

$$U = -\frac{\partial SMAX}{\partial t} / \frac{\partial SMAX}{\partial x}. \quad (2)$$

В дальнейшем члены $\frac{\partial \mathrm{SMAX}}{\partial \mathrm{t}}$ и $\frac{\partial \mathrm{SMAX}}{\partial \mathrm{x}}$ оцениваются с использованием матрицы $SMAX(i,k)$ и применения некоторых процедур усреднения для составления временных рядов $U(k)$.

Полученные результаты

Климатическая изменчивость придонной солености вдоль тальвега ФЗ представлена на рис. 2, на котором изображен график максимальных значений придонной солености на меридиональных разрезах ФЗ, усредненных для всего модельного периода 806 сут $\langle \mathrm{SMAX} \rangle(\mathrm{i}) = \sum_{\mathrm{k=1}}^{\mathrm{k=806}} \mathrm{SMAX(i,k)} / 806$, в зависимости от долготы. В зависимости от величины градиента солености вдоль тальвега, ФЗ можно разделить на три части: западную часть, восточную часть и устье Невы. В устье Невы и восточной части ФЗ градиент солености соответственно в 17 и 2,8 раза больше, чем в западной части.

Рис. 2. Максимальная придонная соленость на меридиональных разрезах ФЗ, усредненная за моделируемый период 806 дней, $\langle SMAX \rangle$, в зависимости от долготы. Пунктирные кривые отображают стандартное отклонение.

Для лучшей визуализации временного изменения придонной солености вдоль тальвега ФЗ были посчитаны флуктуации максимальной придонной солености $SMAX'(i,k) = SMAX(i,k) - \langle SMAX \rangle(i)$ (иллюстрации не приведены). Результаты показали, что флуктуации ослабевают при воздействии юго-западных ветров и увеличиваются при воздействии северо-восточных ветров. Однако влияние ветра на временное изменение солености неравномерно вдоль тальвега ФЗ, что, вероятно, вызвано неровностями рельефа. Следовательно, чтобы получить надежную оценку скорости миграции языка солености, пространственная и временная производные в уравнении (2) должны быть правильно усреднены по долготе (или координате x или индексу i). По этой причине на практике производные в уравнении (2) записываются следующим образом

$$\frac{\partial SMAX}{\partial t} = \left(\frac{1}{i_2 - i_1 + 1} \sum_{i=i_1}^{i=i_2} [SMAX(i,k+1) - SMAX(i,k)]\right) \frac{1}{24 \cdot 3600}, \quad (3)$$

$$\frac{\partial SMAX}{\partial x} = \frac{\langle SMAX \rangle(i_2) - \langle SMAX \rangle(i_1)}{(i_2 - i_1) \cdot 1852} \cos(18°), \quad (4)$$

где i_2 и i_1 – пределы усреднения по долготе, а 18° – угол тальвега ФЗ относительно восточного

направления (см. рис. 1). Рассмотрены три варианта (см. рис. 2): $i_1 = 1$, $i_2 = 170$ (западная часть ФЗ), $i_1 = 170$, $i_2 = 270$ (восточная часть ФЗ) и $i_1 = 1$, $i_2 = 270$ (обе части вместе). Крайняя восточная оконечность ФЗ (i = 270–300), которая на самом деле является устьем Невы, где соленость быстро падает с 4 г/кг до нуля, не рассматривается.

Временной ряд U, рассчитанный по формулам. (2)–(4) для западной части ФЗ (рис. 3) демонстрирует вполне разумные значения скорости миграций языка солености, изменяющиеся в пределах от -0,2 до 0,2 м/с при стандартном отклонении 0,049 м/с. В восточной части ФЗ, которая примерно вдвое шире западной части (см. рис. 1), временной ряд U аналогичен, но абсолютные значения оказались примерно в два раза меньше (иллюстрация не приведена).

Рис. 3. Временной ряд скорости миграции языка солености U в западной части ФЗ.

Следуя подходу, описанному в работе [5], чтобы выяснить, какое направление ветра наиболее/менее благоприятно для миграций соленого языка вдоль ФЗ, на основе 806-дневного временного ряда ежедневных значений $U(k)$ и $\boldsymbol{\tau}(k)$ рассчитывается коэффициент корреляции между скоростью языка U и проекцией вектора ветрового напряжения $\tau_\varphi = \tau_x \cos(\varphi) + \tau_y \sin(\varphi)$, где φ – азимутальный угол, отсчитываемый против часовой стрелки от направления на восток (рис. 4). Максимальная корреляция между U и τ_φ довольно высока: 0,76, 0,60, 0,78 для западной, восточной и обеих частей ФЗ соответственно. Примечательно, что максимальная корреляция имеет место при $\varphi = 202°$, 196° и 200° соответственно, что составляет примерно 18°+180°=198° – угол тальвега ФЗ, дающий направление, противоположное направлению оси x. Это является убедительным доводом в пользу гипотезы прибрежных струй, а не гипотезы Экмановского переноса, для правильного описания механизма ветровых миграций языка солености в ФЗ. Отметим, что при $\varphi = 18°$-90°+360°=288°, угле вектора ветра, соответствующем гипотезе Экмановского переноса, корреляция остается положительной, но падает до значений 0,07–0,13.

Рис. 4. Корреляция между суточными значениями скорости миграции языка солености U и проекцией вектора ветрового напряжения $\tau_\varphi = \tau_x \cos(\varphi) + \tau_y \sin(\varphi)$ от угла φ. Пунктирные линии представляют собой 95% доверительные пределы. Черная, синяя и красная линии соответствуют западной, восточной и обеим частям ФЗ соответственно (см. рис. 1 и 2).

Обсуждение и выводы

В данной работе предпринята попытка ответить на вопрос, какое направление ветра наиболее благоприятно для нагона соленой воды в Финский залив. Данный вопрос нетривиален, поскольку существуют, по крайней мере, два механизма, посредством которых ветер может развивать течение в нижнем слое продольного двухслойного стратифицированного бассейна, и которые дают разные ответы на поставленный вопрос. Первый механизм предполагает, что ветер, направленные вдоль канала, развивает поперечный Экмановский перенос и, как следствие, вызывает апвеллинговое и даунвеллинговое струйные течения того же направления, что и ветер, на противоположных боковых границах канала, а также компенсационное противотечение в глубинном слое [3]. Второй механизм отличается от первого тем, что движение воды вдоль канала в верхнем слое связано не с апвеллинговым и даунвеллинговым струйными течениями на противоположных боковых границах канала, а непосредственно с экмановским переносом, направленным вдоль канала, вызванным поперечным (относительно продольной стороны канала) ветром. Кратко, первый механизм предсказывает перенос соленой воды в нижнем слое в направлении вдоль канала при ветрах противоположного направления, а второй – при ветрах, направленных перпендикулярно вправо (в Северном полушарии) относительно направления переноса морской воды. Примечательно то, что недавно было показано, что в случае подводных каналов Балтийского моря, таких как Слупский Желоб и Хобургский канал, за перенос соленой воды отвечает второй механизм [5], тогда как за перенос соленой воды в Финском заливе ответственен первый механизм, который первоначально был предложен Крауссом и Брюгге (1991).

Используя среднесуточные данные солености в придонном слое ФЗ за период 03.10.2020–17.12.2022, взятые из реанализа NEMO-Nordic 2.0 на сетке 1 морская миля, в соответствии с уравнениями (2) – (4) построен временной ряд среднесуточной скорости миграций языка солености U вдоль залива. Чтобы выявить связь между миграциями языка солености и ветровым воздействием, по данным реанализа ERA5 был рассчитан временной ряд среднесуточного вектора ветрового напряжения на тальвеге ФЗ, $\boldsymbol{\tau}$, и рассмотрена зависимость корреляции между U и $\tau(\varphi)$ – проекцией $\boldsymbol{\tau}$ на направление, определяемое азимутальным углом φ, от φ, $0° \leq \varphi < 360°$. Максимальная корреляция 0,78 наблюдалась при φ =200°, что примерно равно 18°+180°=198°, углу тальвега ФЗ, направленному противоположно оси x, что подтверждает реализацию первого механизма. Таким образом, первый механизм, первоначально предложенный Крауссом и Брюгге (1991) для описания ветрового переноса соленой воды в Слупском Желобе, но не подтвержденный там, оказался верным для Финского залива.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке бюджетного финансирования Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН: Журбас В.М. (постановка задачи, теоретическая работа, написание текста) – тема госзадания № FMWE-2021-0001, Голенко М.Н., Пака В.Т. и Корж А.О. (обработка данных и интерпретация результатов) – тема госзадания № FMWE-2021-0012.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Matthäus W., Frank H. Characteristics of major Baltic inflows – a statistical analysis. Cont. Shelf Res., 1992, 12, 1375–1400 //URL access mode: https://doi.org/10.1016/0278-4343(92)90060-W

2. Mohrholz V. Major Baltic Inflow statistics – revised. Front. Mar. Sci., 2018, 5:384 // URL access mode: https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00384

3. Krauss W., Brügge B. Wind-produced water exchange between the deep basins of the Baltic Sea. J. Phys. Oceanogr. 1991, 21, 373–384 // URL access mode: https://doi.org/10.1175/1520-0485(1991)021<0373:WPWEBT>2.0.CO;2

4. Zhurbas V., Elken J., Paka V., Piechura J., Väli G., Chubarenko, I., Golenko N., Shchuka S. Structure of unsteady overflow in the Słupsk Furrow of the Baltic Sea. J. Geophys. Res. Oceans, 2012, 117, C04027. // URL access mode: https://doi.org/10.1029/2011JC007284

5. Zhurbas V., Väli G. Wind-controlled transport of saltwater in the southeastern Baltic Sea: A model study. Frontiers in Marine Science, 2022 // URL access mode: https://doi.org/10.3389/fmars.2022.8356563.

6. Myrberg K., Andreev O. Main upwelling regions in the Baltic Sea: A statistical analysis based on three-dimensional modelling. Boreal Environment Research, 2003, 8, 97–112.

7. Liblik T., Väli G., Lips I., Lilover M.-J., Kikas V., Laanemets J. The winter stratification phenomenon and its consequences in the Gulf of Finland, Baltic Sea. Ocean Sci., 2020, 16, 1475–1490. https://doi.org/10.5194/os-16-1475-2020

8. Kärnä T. Ljungemyr P., Falahat S., Ringgaard I., Axell L., Korabel V., Murawski J., Maljutenko I., Lindenthal A., Jandt-Scheelke S., Verjovkina S., Lorkowski I., Lagemaa P., Jun She, Tuomi L., Nord A., Huess V. Nemo-Nordic 2.0: operational marine forecast model for the Baltic Sea. Geosci. Model Dev., 2021, 14 //URL access mode: https://doi.org/10.5194/gmd-14-5731-2021.

9. Large W.G., Pond S. Open Ocean momentum flux measurements in moderate to strong winds. J. Phys. Oceanogr. 1981, 11(3), 324–336. // URL access mode: https://doi.org/10.1175/1520-0485(1981)011<0324: OOMFMI>2.0.CO;2

10. Zhurbas V., Laanemets J., Vahtera E. Modeling of the mesoscale structure of coupled upwelling/downwelling events and the related input of nutrients to the upper mixed layer in the Gulf of Finland, Baltic Sea. J. Geophys. Res. Oceans, 2008, 113 // URL access mode: https://doi.org/10.1029/2007JC004280

VARIABILITY OF BOTTOM SALINITY IN THE GULF OF FINLAND ACCORDING TO THE DATA OF NEMO AND ERA5 REANALYSES MODELS

[1]Zhurbas Victor Mikhailovich, Professor, Head of the Laboratory of Marine Turbulence
[2]Golenko Maria Nikolaevna, Ph. D, Senior Researcher of the Laboratory of Geoecology
[3]Paka Vadim Timofeevich, Professor, Leading Researcher of the Laboratory of Applied Oceanology
[4]Korzh Andrey Olegovich, Leading Ingeneer of the Laboratory of Applied Oceanology

[1,2,3,4]Shirshov Institute of Oceanology, RAS, Moscow, Russia, e-mail: [1]victor.zhurbas@mail.ru; [2]m.golenko@yahoo.com; [3]vpaka@mail.ru; [4]ao.korzh@ya.ru

On the base of the NEMO and ERA5 reanalyses the mechanism of the wind-driven migrations of the salinity tongue in the bottom layer of the Gulf of Finland (GoF) is revealed. Testing two hypotheses revealed the following scenario: the along-channel wind develops upwelling and downwelling jet-like currents of the same direction as the wind at opposite lateral boundaries of the channel, and in the deep layer, a compensatory countercurrent (the so-called coastal jet hypothesis). This hypothesis was confirmed by a high correlation between velocity of salinity tongue migrations along the GoF thalweg being estimated from the NEMO output and the along-thalweg projection of the wind stress calculated from the ERA5 output.

УДК 502.51

ИЗМЕНЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЕ ПРИБРЕЖНОЙ ЧАСТИ ОЗЕРА ВИШТЫНЕЦКОГО В МНОГОЛЕТНЕМ АСПЕКТЕ

Кривопускова Екатерина Владимировна, мл. науч. сотрудник кафедры водных биоресурсов и аквакультуры

Калининградский государственный технический университет,
Калининград, Россия, e-mail: ekaterina.krivopuskova@klgtu.ru

Прибрежные экосистемы характеризуются сложным пространственно-временным разнообразием по сравнению с другими переходными системами. Основными источниками поступления биогенных элементов в непосредственной близости от береговой линии озера Виштынецкого стали рекреационные территории. С учетом увеличивающей рекреационной нагрузки и естественных процессов, протекающих в озере, полученные закономерности могут стать основой для разработки планов по восстановлению прибрежных биотопов и ограничению хозяйственной деятельности в ее пределах.

Введение

Прибрежные водные биосистемы отличаются особенной хрупкостью, поскольку развитие хозяйственной деятельности и изменение климата все чаще вызывают такое явление как «сжатия побережья», означающее сокращение или потерю доступного пространства для естественного функционирования этих систем [1], деградацию водных экосистем, сокращение биоразнообразия и, как следствие, потерю экосистемных услуг. В конечном итоге происходящие процессы под воздействием антропогенных факторов вызывают снижение экосистемной устойчивости, а также уменьшают устойчивость биотопов к изменению климата и другим воздействиям, связанным с хозяйственной деятельность человека.

Прибрежные экосистемы характеризуются сложным пространственно-временным разнообразием по сравнению с другими переходными системами, и это затрудняет возможность проведения разграничения между изменениями, связанными с антропогенным воздействием и происходящими в результате естественных процессов. Более того, прибрежная акватория особенно подвержена большему антропогенному давлению, по сравнению с другими ее участками.

Постоянное, длительное или периодическое антропогенное воздействие приводит к деградации прибрежных водных экосистем, иногда приводя к сдвигу этих систем в альтернативное стабильное состояние, связанное с повышением трофии вод, в котором они могут находиться в течении длительного времени без возможности возврата к предыдущему из-за более высокой устойчивости деградированного состояния.

Обогащение питательными веществами прибрежных вод и дальнейшее ускорение темпов эвтрофикации таких участков стало особенно распространенной проблемой начиная 1970-х годов, что привело к инициированию различных программ мониторинга и стратегий в масштабах водосбора, направленных на сокращение использования удобрений и загрузки питательных веществ в эти системы, снижение антропогенной нагрузки и разработки специализированных природоохранных мер.

Необходимо также отметить, что пресноводные экосистемы очень уязвимы к изменению климата, в особенности озерные экосистемы. Именно изменения климата являются усугубляющим фактором для деградации водных экосистем под воздействием антропогенных факторов. В этом контексте модельной является экосистема озера, в которой присутствуют не только индикаторы деградации экосистем под воздействием антропогенных факторов, но и индикаторы климатических изменения, влияющие экологическое состояние водного объекта прямо или косвенно (через влияние климата на водосбор). К таким «модельным» озерам можно отнести и озеро Виштынецкое (Калининградская область).

Озеро Виштынецкое входит в состав природного парка «Виштынецкий» и располагается на юго-востоке Калининградской области. Обладая высоким рекреационным потенциалом, данный водоем стал местом притяжения большого количества отдыхающих. Однако оно подвергается не

только возросшему последние несколько лет антропогенному воздействию [2, 3], но и влиянию климатических изменений, протекающих в пределах его водосборного бассейна [4].

Одним из показателей увеличивающейся антропогенной нагрузки на оз. Виштынецкое являются увеличивающиеся случаи «цветения» озера и их продолжительность. При этом еще в начале 2010-х гг. бурное развитие фитопланктона отмечалось только в литовской прибрежной части акватории, в настоящее же время «цветение» наблюдается на всей акватории озера. Наиболее сильное негативное влияние от бурного развития фитопланктона ощущается в северной части водоема, а в особенности в районе истока реки Писсы, так как это единственное место, обеспечивающее проточность.

Цель данной работы проследить закономерности в изменениях экологического состояния прибрежной части озера Виштынецкого на основании многолетних данных. С учетом увеличивающей рекреационной нагрузки и естественных процессов, протекающих в озере полученные закономерности, могут стать основой для разработки планов по восстановлению прибрежных биотопов и ограничению хозяйственной деятельности в ее пределах.

Анализируемыми индикаторами изменяющего экологического состояния прибрежных территорий выступают такие измеряемые переменные аналит-маркеры как температура воды, содержание хлорофилла «а» и общего фосфора, изменение гранулометрического состава донных отложений и структурные показатели гидробиологических сообществ.

Район исследования

Виштынецкое озеро (рисунок 1) представляет собой трансграничный водоем, располагающийся на юго-востоке Калининградской области. Это единственный крупный пресноводный водоем на территории региона, входящий в состав Вармино-Мазурской озерной области, и располагающийся на окраине Виштынецко-Сувалкской возвышенности на высоте 170 м над уровнем моря. По акватории озера проходит государственная Российско-Литовская граница

Рис. 1. Озеро Виштынецкое

Это крупнейший пресноводный водоем Калининградской области, имеющий акваторию площадью 18,3 млн. м^2 и обладающий уникальными морфометрическими и гидрологическими особенностями. Относительная географическая удаленность от основных транспортных узлов делал озеро длительное время труднодоступным для большинства жителей региона. Для озера характерно хорошо развитое мелководье в северной части (15%). Сток воды осуществляется через единственный водоток, реку Писса.

Приходная часть водного баланса озера формируется в основном за счет притока вод от двух впадающих крупных рек (р. Черница и р. Визжайна), также существует ряд небольших притоков, впадающих в озеро, однако их сток не постоянен. Происходящие климатические изменения [4] сильно влияют на водный баланс, что в свою очередь отражается в значительных колебаниях уровня воды [5].

Благодаря своим биологическим и экологическим особенностям озеро Виштынецкое имеет особый природоохранный статус и предлагает многочисленные экосистемные услуги, представляющие социальный и экономический интерес для развития региона, например, добыча рыбы и места для рекреационной активности.

Материал и методика

Материалом для данного исследования послужили результаты, полученные в рамках комплексного экологического мониторинга озера Виштынецкого проводимого кафедрой водных биоресурсов и аквакультуры в период с 2010 по 2023 гг. Для выявления закономерностей был выбран набор аналит-маркеров, который в полной мере может отразить изменения, происходящие в прибрежной экосистеме озера под воздействием естественных и антропогенных факторов.

Сетка станций для отбора проб для гидрохимического и гидробиологического анализа в рамках мониторинговых исследований (рисунок 2) формировалась с учетом гидрологоморфологических особенностей озера, а также уровней рекреационной освоенности, как основного источника поступления «дополнительной» органики и биогенных элементов.

Рис. 2. Схема станций отбора проб на озере Виштынецком

В рамках проводимых исследований по поиску закономерностей в динамики экологического состояния прибрежной части озера все прибрежные станции были сгруппированы с учетом изрезанности береговой линии, особенностей циркуляции вод и уровня антропогенной нагрузки следующим образом:

– южные (ст. 18а, ст. 18, ст. 17 и ст. 20) – станции с низким уровнем антропогенной нагрузки;

– центральные (ст. 42, ст. 4б и ст. 68) – станции высоким уровнем рекреационной нагрузки;

– утиный залив (станция 5) – обширный мелководный участок с повышенным уровнем трофности вод;

– северные (ст. 6, ст. 21 и ст. 11) – станции с возрастающей рекреационной нагрузкой.

Пробы отбирались в прибрежной части водоема на глубине от 1,5 до 2,0 м. Одновременно с отбором проб для гидрохимического анализа на месте измерялись температура воды, электропроводность, pH и концентрация растворенного кислорода. Анализ отобранных проб воды производился по стандартным методикам в лабораторных условиях. Концентрация хлорофилла «а» определялась спектрофометрическим методом с использование 90% раствора ацетона.

Результаты

Водосборный бассейн озера располагается на территории трех государств и имеет площадь 281,9 км^2. В нагрузке, поступающей с нее, преобладают диффузные источники как фосфора, так азота с сельскохозяйственных полей (польская часть водосбора) [6]. Основными источниками по-

ступления биогенных элементов в непосредственной близости от береговой линии стали рекреационные территории, площади которых за последние несколько лет достаточно сильно возросли в связи с увеличившимся интересом к озеру Виштынецкому.

Увеличение доли аллохтонных биогенных элементов и органики под действием антропогенных факторов негативно сказывается в первую очередь на прибрежные водные биотопы. Данный процесс отмечался на озере Виштынецком еще в 1980 г, в районе Утиного залива, где из-за избыточного поступления питательных веществ от утиной фермы значительно возрос уровень трофии. Несмотря на закрытие фермы еще в 1990х годах, за последние 30 лет экосистема этого мелководного залива не смогла восстановиться и сейчас представляет собой полностью заросший участок озера с избыточным содержанием органики.

На протяжении долго времени экологическое состояние прибрежных экосистем оставалось неизменным. Отмечаемые сдвиги в распределении гидрохимических веществ или изменения в гидробиологических сообществах носили временный характер и в большинстве своем были связаны с аномальными погодными явлениями. Исследуемые участки оставались в устойчивом состоянии.

Начиная с 2014 году на озера Виштынецком начала активно развиваться рекреационная деятельность, озеро включили в туристические маршруты, постепенно увеличивалось количество отдыхающих. Взрывной рост количества отдыхающих в прибрежной части озера начался после 2018 года и в настоящее время в летний период почти невозможно забронировать номера на базах отдыха. Закономерно с организованным туризмом увеличилось количество отдыхающих в точках «дикого» (неорганизованного) туризма [7]. На фоне этих изменений также отмечаются и изменения в прибрежных биотопах.

Однако необходимо отметить, что, как и уже говорилось выше, не только антропогенные факторы влияют на изменения прибрежных биотопов. Свой вклад в эти изменения вносят и естественные процессы, к которым относятся климатические изменения, зарегулирование впадающих в озера мелких рек бобровыми плотинами, естественным старением озера и т.д.

Анализ полученных входе мониторинга данных позволил выделить два основных движущих фактора нарушающих устойчивость прибрежных биотопов и вызывающих их деградацию – увеличившийся объем поступления органики и биогенов и значительные колебания уровня воды, вызванные климатическими изменениями.

Изменения в прибрежных биотопах, связанные с климатическими изменениями. Анализ метеорологической информации за последние 13 лет показал, что средняя температура воздуха и совокупное количество осадков сильно различались в зависимости от года. Если посмотреть на месячный масштаб, то можно заметить, что высокие средние температуры воздуха и низкое совокупное количество осадков в последние годы, как правило, сохраняются в течение нескольких месяцев подряд, постепенно увеличивая периоды засухи, в то время как большое совокупное количество осадков имеет тенденцию концентрироваться в течение нескольких месяцев, главным образом осенью, также отмечается снижение количества осадков в зимние время года. Все отмеченные изменения сильно сказываются на уровне воды, который оказывает свое влияние не только циркуляцию воды и сроки водообмена, но способствует увеличению зарастаемости прибрежной зоны.

Критические падания уровня озера (до 0,7 м) могут привести к полной потери проточности озера, что в свою очередь приведет к значительному ускорению процессов эвтрофикации, в особенности в прибрежной зоне. Такая картина уже наблюдается на самых южных станциях (ст. 18 и 18а), где несмотря на полное отсутствие антропогенной нагрузки отмечается увеличение степени зарастаемости, увеличение доли организмов с высоким уровнем толерантности в придонных гидробиологических сообщества, относительно высокие концентрации соединений фосфора и хлорофилла «а». Ядро формирования продольно-осевой проточности с падением уровня сдвигается выше, т.е. от устья Черницы к устью Визжайны, а на этом участке циркуляция почти отсутствует.

Отсутствие привычной проточности в центральной и северной части прибрежной территории вызывает не только накопление органики, но и увеличивает степень зарастаемости, в особенности это хорошо заметно в Тихой бухте и в районе ст. 21.

Изменения в прибрежных биотопах, связанные с рекреационной деятельностью. Рекреационная деятельность на озере Виштынецком не предполагает прямого сброса загрязняющих веществ, однако в тоже время органические вещества и биогены поступаю во время купания, а также в результате хозяйственной деятельности «самоорганизованных» туристов. Увеличение поступле-

ния аллохтонного вещества приводит при отсутствии достаточной циркуляции вод к избыточному накоплению их в прибрежных биотопах. Данные процессы отражаются на распределении гидрохимических веществ, а также на гранулометрическом составе донных отложений.

Оценка изменения гранулометрического состава донных отложений показала, что с началом периода взрывного роста рекреационной нагрузки в прибрежных донных отложениях на севере и в центральной части ускорились процесса их заиления, что имеет прямую зависимость с количеством отдыхающих и обратную с уровнем развития рекреационной инфраструктуры.

Также нельзя не отметить влияние рекреационной деятельности и на структуру гидробиологических сообществ придонных слоев прибрежной части озера. Анализ динамика структурных показателей этих сообществ показал, что, начиная с 2018 годов в прибрежной части озера сильно сократилась численность двухстворчатых моллюсков *Dreissena polymorpha, Pallas*. До 2018 года колонии этого моллюска отмечались по всей прибрежной части озера на глубине от 1 м, тогда как исследования последних двух лет показали, что основные колонии встречаются на глубине 4-5 м и они не многочисленны, на привычной глубине друзы *Dreissena polymorpha* встречаются только в южной части озера.

Закономерно с сокращением численности двухстворчатых моллюсков в прибрежной части озера увеличились концентрации хлорофилла а, отражающие возрастающие биомассы фитопланктона.

Отмеченные закономерности свидетельствуют о серьезных изменениях в прибрежной экосистеме озера, вызванных как естественными причинами, так и возрастающей антропогенной нагрузкой. При дальнейшем отсутствие принятия решений о контроле за уровнем рекреационной нагрузки и создании программ по восстановлению прибрежных биотов озера Виштынецкого может привести к значительному повышению уровня трофии и полному переходу в мезотрофное состояние. Это в свою очередь приведет к потери уникальных для Калининградской экологических и биологических особенностей озера, что закономерно скажется на рекреационной привлекательности водоема.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chacón Abarca S. Understanding the dynamics of a coastal lagoon: Drivers, exchanges, state of the environment, consequences and responses / Chacón Abarca S., Chávez V., Silva R., Martínez M. L., Anfuso G.// Geosciences, 2021 – 11 (8). – p. 2-21

2. Кривопускова Е.В. Источники антропогенной нагрузки на озеро Виштынецкое в пределах его водосборного бассейна / Е.В. Кривопускова, А.В. Соколов // Водные биоресурсы, аквакультура и экология: IV Балтийский форум: междунар. науч. конф. – Калининград, ФГБОУ ВО «КГТУ», 2016. – С. 43–46.

3. Кривопускова Е.В. Влияние рекреационной нагрузки на экологическое состояние российской прибрежной части акватории озера Виштынецкого в летний период. // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование. Материалы IX Всероссийской научно-практической конференции (20-22 марта 2018)/ ответственный за выпуск Н.Г. Клочкова. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2018. - С. 50-54.

4. Особенности формирования гидрологического режима озера Виштынецкого (Калининградская область)/ Е.В. Кривопускова, С.В. Шибаев // International conference on sustainable development in sciences, management & technology (ICSDSMT 2022), 20 декабря 2022 года. - Oslo, Norway, 2022. – С. 17-23

5. Особенности формирования гидрологического режима озера Виштынецкого (Калининградская область)/ Е.В. Кривопускова, С.В. Шибаев // International conference on sustainable development in sciences, management & technology (ICSDSMT 2022), 20 декабря 2022 года. - Oslo, Norway, 2022. – С. 17-23

6. Кривопускова Е.В., Цветкова Н.Н. Предварительная оценка критической фосфорной нагрузки на озеро Виштынецкое (Калининградская область)// Известия КГТУ: Калининград, 2017. - № 45. С. 83-92.

7. Влияние рекреационной нагрузки на экологическое состояние российской прибрежной части акватории озера Виштынецкого в летний период / Е.В. Кривопускова // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование: Материалы IX Всерос. науч.-практ. конф., 20-22 марта 2018. - Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2018. - С. 50-54.

CHANGES IN THE ECOLOGICAL STATE OF THE COASTAL AREA OF THE LAKE VISHTYNETSKOGO IN LONG-TERM ASPECT

Krivopuskova Ekaterina Vladimirovna, junior researcher at the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,
e-mail: ekaterina.krivopuskova@klgtu.ru

Coastal ecosystems compared to other transitional systems characterized by complex spatiotemporal diversity. Recreational areas became the main sources of nutrients in the immediate vicinity of the shoreline of Lake Vishtynetskoye. Taking into account the increasing recreational load and natural processes occurring in the lake, the obtained patterns can become the basis for developing plans for the restoration of coastal biotopes and limiting economic activity within its boundaries.

УДК 504.03

РЕКРЕАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ПРИБРЕЖНОЙ ЧАСТИ ОЗЕРА ВИШТЫНЕЦКОГО

[1]Кривопускова Екатерина Владимировна, мл. науч. сотрудник кафедры ВБА
[2]Шибаев Сергей Вадимович, профессор, д-р биол. наук, зав. кафедрой ВБА

[1]Калининградский государственный технический университет,
Калининград, Россия, e-mail: ekaterina.krivopuskova@klgtu.ru
[2]Калининградский государственный технический университет,
Калининград, Россия, e-mail: shibaev@klgtu.ru

Особенности Калининградской области превратили ее в последние несколько лет в центр притяжения туристов, и появилась необходимость поиска новых мест для развития туризма. Оценка рекреационного потенциала озера Виштынецкого является первым шагом для интенсификации этого процесса. Анализ проводился не только прибрежной акватории, но и прилегающей к ней наземной территории, где формируются основные инфраструктурные комплексы. Учитывая климатические и ландшафтные особенности рассматриваемой территории, наиболее приоритетным направлением развития туризма выступает курортно-бальнеологическое.

Введение

Недавние исследования морских и пресноводных прибрежных экосистем показывают, что существует необходимость изучение их социально-экономического потенциала для дальнейшей разработки программ по использованию экосистемных услуг и товаров, формирующихся в них, а полученная информация в перспективе может стать основой для формирования планов управления прибрежными зонами и при необходимости способствовать принятию взвешенных управленческих решений по снижению антропогенной нагрузки на них.

Планы по рациональному использованию различных водных объектов, прежде всего, предполагают анализ всех возможных вариантов их эксплуатации. Большой интерес в последние несколько лет вызывает вовлечение водных экосистем в региональную туристско-рекреационную деятельность. Именно благодаря своим природным свойствам водные объекты становятся своеобразными центрами планировочного каркаса территориальных рекреационных систем. В настоящее время подавляющее большинство рекреационной инфраструктуры расположено либо непосредственно в пределах прибрежной части озера и его береговой линии, либо вблизи них [1]. Включение водных экосистем в рекреационное природопользование предполагает использование их рекреационного потенциала. Поня-

тие «рекреационный потенциал» не имеет точного определения, и каждый исследователь вкладывает в это понятие все новые и новые признаки и критерии. В данной работе с учетом всех особенностей природных прибрежных территорий под рекреационным потенциалом понималась «вся совокупность природных, культурных, исторических и социально-экономических предпосылок для организации туристской (рекреационной) деятельности на данной территории» [2].

Рекреационный потенциал прибрежной территории (включая акваторию водоема) представляет собой совокупность множества отдельных компонентов, под которыми понимаются объекты, явления и свойства природы, а также результаты деятельности человека, которые используются или могут быть использованы для удовлетворения потребностей людей в отдыхе, в целях оздоровления и туризма. Прибрежная акватория и прилежащая к ней территория озер являются важными источниками формирования экосистемных услуг и обеспечивают формирования благоприятной среды для удовлетворения потребностей населения в отдыхе, эстетическом наслаждение или оздоровлении.

В последние несколько лет огромное количество ограничений по международному передвижению стало мощным толчком для развития внутреннего и регионального туризма. Особенности географического положения, исторического и экономического развития Калининградской области превратили ее в центр притяжения туристов. На протяжении последних четверых лет данное направление попадает в топ 10 наиболее востребованных туристических мест России, поэтому актуальной становиться оценка рекреационного потенциала новых территорий для разработки новых маршрутов, в особенности территорий с особым охранным статусом, а также территорий, уже используемых для рекреации местным населением. В Калининградской области туристическая инфраструктура и основные туристические маршруты сконцентрированы на морском побережье, а потенциал восточной части области не используется в полной мере, в особенности потенциал прибрежных территорий водных объектов.

Цель данного исследования провести оценку рекреационного потенциала прибрежной части озера Виштынецкого в рамках реализации федеральной программы «Развитие внутреннего и въездного туризма в Российской Федерации». При проведении оценки рассматривались не только природные факторы, но и учитывались социально-экономические особенности территории, а также уже имеющаяся инфраструктура.

Район исследования

Природный парк «Виштынецкой» был создан в 2012 году на юго-востоке Калининградской области с целью охраны и восстановления природных экосистем, а также организация их использования в рекреационных, оздоровительных и эколого-просветительских целях. Он включает в себя достаточно обширную территорию, а также большое количество природных экосистем, в том числе уникальных для Калининградской области. Среди них особенно выделяется озеро Виштынецкое.

Озеро Виштынецкое является трансграничным водным объектом, входящим в систему озер Вармино-Мазурского поозерья и считается самой крайней юго-восточной точкой региона (рисунок 1). Оно обладает не только уникальными для Калининградской области морфометрическими характеристиками, но является местом обитания редких гидробионтов. Однако главной особенностью озера является его геополитический статус, так как по акватории проходит российско-литовская граница, а его водосборный бассейн располагается на территории трех государств.

Рис. 1. Озеро Виштынецкое [3]

Береговая линия российской части озера составляет более 15 км (это более 60% от ее общей протяженности). Максимальная глубина озера по разным литературным источником колеблется от 51 до 54 метров. В последние несколько лет отмечаются значительные колебания уровня [4], связанные не только с климатическими изменениями, но и с регулированием стока с помощью плотины в районе истока реки Писсы.

Берега вдоль российской части озера в большей части пологие, обрывистые и крутые берега встречаются редко, в основном в районе Тихой бухты и Утиного залива. По берегам озера расположены лесные массивы, которые представлены в основном хвойными лесами, но также встречаются фрагменты широколиственных массивов, которые в основном массе приурочены к прибрежной части озера.

Прибрежная водная растительность распространена неравномерно, наибольшее развитие она получила в районе Тихой бухты и Утиного залива. Так за последние 20 лет Утиный залив полностью зарос и в настоящее время не имеет свободной для развития рекреации акватории. Также встречаются крупные «острова» макрофитов в южной части акватории. В целом прибрежная водная растительность однообразна и представлена тростником, однако в Тихой бухте и бухтах на юге встречается кубышка желтая и лютик водный, которые могут увеличить рекреационную привлекательность данных мест.

Дно прибрежной части песчаное с различной степенью заиленности. Наибольшая примесь ила в песчаном грунте закономерно приурочена к зарослевым участкам и в непосредственной близости мест отдыха.

Литоральная часть озера обширная, но в пространственном отношении распределена неравномерно, большая ее часть располагается в северной части озера, где в настоящее время располагаются основные источники антропогенной (рекреационной) нагрузки (базы отдыха, детский оздоровительный лагерь, пляжи).

Дорожная сеть вдоль озера развита слабо, существует одна асфальтированная дорога, позволяющая проехать от северной части до южной. Дороги к турбазам, располагающимся в прибрежной части относятся к категории проселочных с грунтовым покрытием.

Южная часть озера и ее побережье имеет определенные ограничения для осуществления хозяйственной деятельности и посещение ее отдыхающими связанные с близостью государственной границы.

Материал и методика

Материалом для данного исследования послужили различные картографические материалы, литературные данные, а также данные натурных наблюдений, собранных в рамках комплексных экологических исследований, проводимых кафедрой Водных биоресурсов и аквакультуры ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет». Анализ материала проводился с по-

мощью историко-географических, картографических, сравнительно-географических и математико-статистических методов.

Оценку рекреационного потенциала проводили с помощью балансового метода, предложенного в работе М.В. Гудовских [5]. Данная методика предполагает следующую последовательность проведения оценки: 1) выбор территориальных единиц; 2) отбор ключевых критериев; 3) ранжирование оценочных шкал; 4) оценка блочная; 5) сверка результатов; 6) итоговая интегральная оценка; 7) соотнесение результатов и бонитировка территории по степени туристского потенциала; 8) построение карты туристского потенциала.

В рамках применяемого метода исследуемая территория оценивается на основании данных, которые разделены на несколько блоков: природные факторы, историко-культурные, социально-экономические, собственно туристские, а также блок экологической ситуации и неблагоприятных факторов.

Общий вид расчета потенциала имеет формулу [5]:

$$\text{ТРП} = (|\text{П}| + |\text{КИ}| + |\text{СЭ}| + |\text{ТБ}|) - (|\text{НФ}| + |\text{ЭС}|) \quad (1)$$

где приходная часть баланса: П – природный блок, КИ – культурно-исторические ресурсы, СЭ – социально-экономические условия, ТИ –туристский блок; расходная часть: НФ – неблагоприятные факторы, ЭС – экологическая ситуация, рассматриваемые как отрицательные части баланса.

Каждый анализируемый блок включает в себя взаимосвязанные компоненты оценки, так, например, блок природных факторов включает биоклиматические критерии, гидрологические условия территории, рельеф и т.д. В свою очередь, компоненты содержат группу оценочных критериев (например, продолжительность летнего комфортного периода, повторяемость благоприятных погод для купания и др.). Сумма баллов по каждой группе критериев оценки дает общее количество баллов компонента. Общий потенциал складывается не из суммы баллов, а из суммы доли каждого блока, так как невозможно суммировать баллы в связи с тем, что каждый компонент оценки блока содержит различное число критериев, и суммы баллов не поддаются адекватному сравнению [5].

При оценки ресурсного потенциала данной особо охраняемой территории особое внимание уделялось критериям блока, связанного с экологической обстановкой, а также прогнозированию предельно допустимой нагрузки (антропо-экологическим критериям).

Использования данного метода позволяет не только провести ревизию и оценку всех возможных потенциальных направлений развития туризма, но определить приоритетные направления туристической деятельности обеспечивающие наиболее устойчивые показатели социально-экономического развития территории с учетом ее особого природоохранного статуса.

Результаты

При оценки рекреационного потенциала озера Виштынецкого проводился анализ не только прибрежной акватории, но и прилегающей к ней наземной территории, поскольку большую часть времени отдыхающие проводят именно там и там же формируется основные инфраструктурные комплексы, поэтому необходима была комплексная оценка водных и околоводных ландшафтов, функционально связанных между собой в единую территориальную рекреационную систему.

При выборе территориальных единиц для анализа в рамках исследования исходили из принципа, что территорию прибрежного отдыха целесообразно ограничивать зоной часовой ходьбы от береговой линии водоема, как пространство, наиболее интенсивно используемое отдыхающими. С учетом природных (болотистая местность, неоднородный ландшафт, высокая лесистость) и правовых (приграничная территория) особенностей береговой линии озера площадь территории пригодной для развития рекреационной инфраструктуры сильно сокращается и ограничивается северной и частично центральной часть побережья. Однако удаленность пригодных для рекреации участков от уреза воды тоже не одинакова. С продвижением на юг ширина пригодных участков сокращается, что связано с высокой степень заболоченности и «плотным» лесным массивом, по этим же причинам исключается из оценки участок вокруг Утиного залива.

Ключевыми критериями для развития рекреационной инфраструктуры становятся транспортная доступность прибрежных территорий для различных слоев населения, в том числе мало-

мобильных, пригодность берегов и прибрежной акватории для купально-пляжного отдыха, сезонность ее функционирования, экономическая целесообразность реализации проектов с учетом всех природоохранных ограничений. Использование данных критериев для оценки рекреационного потенциала прибрежной территории озера Виштынецкого позволяет решить проблему адекватного сравнения полученных баллов и четкого понимания влияния реализации программ по улучшению уже имеющейся рекреационной инфраструктуры на эксплуатируемые экосистемы.

Природный блок. Рельеф анализируемой территории неоднороден и важнейшими его элементами являются холмисто-котловинные и холмисто-грядовые геокомплексы, перепады высот здесь небольшие, не более 25 м. Климат на данное территории умеренный, переходный от морского к континентальному. Морской воздух смягчает морозы и вызывает частые оттепели [3], однако говорить о стабильности биоклиматических показателей нельзя. Как и на свей территории области погодные условия здесь нестабильны и могут сильно различаться из года в год, что обязательно необходимо учитывать при разработке планов развития инфраструктуры. Главным центром притяжения туристов здесь является озеро Виштынецкое, его уникальные морфометрические характеристики и эстетически-привлекательные природные комплексы, как наземный, так и водные, формируют основу для социально-экономического развития данной территории. Несмотря на то, что вся прибрежная часть озера, как и само озеро имеет природоохранный статус, здесь уже долгое время существуют точки притяжения туристов для купально-пляжных целей, спортивных мероприятий, оздоровительной рекреации, любительского рыболовства, подводного плаванья и т.д.

Учитывая все перечисленные критерии рекреационные потенциал природного блока прибрежной части озера можно оценить в 135 баллов.

Культурно-исторический блок. Территория природного парка «Виштынецкий» обладает богатым культурным наследием, связанным с довоенным прошлым Калининградской области. Однако большинство объектов значительно удалены от прибрежной части озера и для их посещение отдыхающим необходимо пользоваться автотранспортом.

Оценка культурно-исторического блока достаточна низка (21 балл), но благодаря уникальности объектов, история которых значительно отличается от остальных привычных приезжим туристам памятников, они могут стать хорошим дополнительным фактором для создания дополнительных маршрутов или расширения уже имеющихся.

Социально-экономический блок. Транспортная доступность территории низкая, в основном для того, чтобы посетить прибрежную часть озера необходимо воспользоваться либо личным (или каршеринговым) транспортом, либо услугами туристических фирм, организующих специализированные туры. Основные населенные пункты находятся на значительном удалении, постоянно проживающих лиц на данной территории нет. Основная доля работоспособного населения района занята в сфере сельского хозяйства. В отличие от аналогичных западных примеров использования прибрежной территории крупных озер, в том числе имеющих природоохранный статус, здесь отсутствуют компоненты материально-технической базы для развития туристической инфраструктуры.

Как и у предыдущего блока балльная оценка данного блока достаточно низка (11 баллов), что в свою очередь сильно снижает привлекательность анализируемой территории для туристов с высоким уровнем платежеспособности. Однако западные примеры доказывают высокий потенциал, даже таких удаленных территорий и возможность создавать экономически устойчивую материально-техническую базу с учетом всех природоохранных ограничений.

Туристический блок. На ряду с природным блоком, этот блок также обладает высокой степенью развития. В северной части прибрежной территории длительное время функционирует 3 относительно крупных баз отдыха с высокой степенью заполняемости в течении вегетационного периода. В зимний период большая часть номерного фонда пустует. Относительно круглогодично функционирует лишь детский оздоровительный лагерь, деятельность которого в большей степени зависит от реализации различных программ Министерства по молодежной политике Калининградской области.

С учетом туристической привлекательности и так называемого «дикого» туризма, этому блоку можно дать оценку в 80 баллов.

Блок неблагоприятных факторов. К данному блоку можно отнести нестабильность климатических факторов в течении всего года, отсутствие четких границ между сезонами в отдельные года, высокая заболоченность и отсутствие развитой транспортной инфраструктуры. В тоже время на данной территории отмечается благоприятная экологическая обстановка, что позволяет позиционировать данную территорию как благоприятную для развития экотуризма и лечебно-

оздоровительной рекреационной инфраструктуры.

Общий рекреационный потенциал можно оценить в 198 баллов, поскольку для оценки «весомости» полученных результатов отсутствует специализированная шкала, сказать, насколько высок данных потенциал не представляется возможным. Однако даже на основании этих результатов можно сделать вывод о значимого рекреационном потенциале прибрежной части озера Виштынецкого с учетом всех неблагоприятных факторов, отмеченных на данной территории.

Основными критериями для разработки будущих планов развития территории будет использования природных комплексов, совершенствование уже имеющейся инфраструктуры и обеспечение транспортной доступности. В тоже время должна учитываться необходимость легализации и контроля развития «дикого» туризма.

Учитывая климатические и ландшафтные особенности территории, где располагается озеро Виштынецкое наиболее приоритетным направлением развития туризма выступает курортно-бальнеологическое, реализуемый с учетом принципов экологического туризма.

Заключение

Особо охраняемые природные территории приносят сообществу широкий спектр преимуществ. Среди выгод чаще всего упоминаются те, которые связаны с предоставлением возможностей для туризма и отдыха, а также те, которые связаны с предоставлением экосистемных услуг. К сожалению, попытка максимизировать обе эти выгоды может быть трудной, и хотя последствия воздействия посетителей могут быть не такими серьезными, как последствия предыдущей деятельности человека на некоторых охраняемых природных территориях (например, выпас скота, лесное хозяйство и добыча полезных ископаемых), оба они напрямую или косвенно оказывают широкое воздействие на прибрежные территории, что вызывает растущую озабоченность, поскольку число посетителей закономерно возрастает при увеличении туристической привлекательности территории.

С учетом высокой рекреационной привлекательности прибрежной части озера Виштынецкого вызывает обеспокоенность, возрастающая на нее антропогенная нагрузка. В последние несколько лет отмечается изменения состояния прибрежной водной [6] и наземной экосистем. Так увеличилось количество кострищ, самооборудованных стоянок, увеличилась вытоптонность травянистых сообществ, наблюдается заиление дна литоральной части, увеличивается процент зарастаемости в побережье и т.д. С учетом данных тенденций при формировании программ по развитию рекреационной инфраструктуры в дальнейшем необходимо рассмотреть возможность введения различных мер по регулированию количества посетителей, а также соблюдению ими природоохранных мер. Среди таких мер может быть контроль за количеством отдыхающих, въезжающих на данную территорию, установление ограничений по количеству мест для кемпинга, запрет на использование необорудованных мест, формирование фонда оборудованных мест для кемпинга с возможностью возмездного бронирования, организация контроля на местности за соблюдением природоохранного законодательства.

При оценке результативности вводимых ограничений необходимо учитывать все выгоды и издержки. Преимущества от сокращения количества посетителей неоспоримы, это прежде всего улучшение экологической ситуации, поскольку сокращение количества посетителей, вероятно, приведет к соразмерному сокращению воздействие на окружающую среду. Однако основной ценой является потеря экономической выгоды, которая может быть использована для реализации различных экологических и социальных программ.

Таким образом, комплексная бальная оценка рекреационного потенциала позволяет определить приоритетные направления развития туристической инфраструктуры, для прибрежной части озера Виштынецкого это курортно-бальнеологический, с максимальным социально-экономическим эффектом. Однако уместным и решающим следующим шагом является анализ потенциального воздействия будущей туристической инфраструктуры на территорию и дальнейшее прогнозирование природоохранных мероприятий по его снижению, а данные полученные при оценки рекреационного потенциала позволят выявить наиболее уязвимые участки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ланцова И.В., Яковлева В.Б. Методологические аспекты рекреационного водопользования // Экологического нормирования: проблемы и методы. – М., 1992. – С. 81-83

2. Николаенко Т. В. Рекреационная география. – М.: ВЛАДОС, 2001. – 288 с.

3. Берникова Т.С. Физико-географическая и гидрологическая характеристика // Озеро Виштынецкое. - Калининград: Изд-во "ИП Мишуткина", 2008. - С. 20-40.

4. Особенности формирования гидрологического режима озера Виштынецкого (Калининградская область)/ Е.В. Кривопускова, С.В. Шибаев // International conference on sustainable development in sciences, management & technology (ICSDSMT 2022), 20 декабря 2022 года. - Oslo, Norway, 2022. – С. 17-23

5. Гудковских М.В. Методика комплексной оценки туристско-рекреационного потенциала // Географический вестник (Geographical bulletin). - 2017. - №1(40). - С. 102–116.

6. Влияние рекреационной нагрузки на экологическое состояние российской прибрежной части акватории озера Виштынецкого в летний период / Е.В. Кривопускова // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование: Материалы IX Всерос. науч.-практ. конф., 20-22 марта 2018. - Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2018. - С. 50-54.

RECREATIONAL POTENTIAL OF THE COASTAL AREA OF LAKE VISHTYNETSKOYE

[1]Krivopuskova Ekaterina Vladimirovna, junior researcher at the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture
[2]Shibaev Sergey Vadimovich, professor, doctor of biological sciences, Head of department of Aquatic Bioresources and Aquaculture

[1]Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia, e-mail: ekaterina.krivopuskova@klgtu.ru
[2]Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia, e-mail: shibaev@klgtu.ru

The peculiarities of the Kaliningrad region have turned it into center of attraction for tourists over the past few years, and there is need to find new places for tourism development. Assessing the recreational potential of Lake Vishtynetskoye is the first step to intensify this process. The analysis was carried out not only of the coastal waters, but also of the adjacent land area, where the main infrastructure complexes are formed. Taking into account the climatic and landscape features of the territory under consideration, the highest priority direction for tourism development is resort and balneological tourism.

УДК 577.118

СТОЙКИЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА В МАЛОГЛАЗОМ МАКРУРУСЕ (*ALBATROSSIA PECTORALIS* GILBERT, 1892) ИЗ БЕРИНГОВА МОРЯ

[1]Миронова Екатерина Константиновна, аспирант
[2]Метревели Вадим Евгеньевич, аспирант
[3]Донец Михайлович Максим, аспирант, мл. науч. сотрудник
[4]Цыганков Василий Юрьевич, д-р биол. наук, доцент, декан факультета промышленных биотехнологий и биоинженерии, профессор международной кафедры ЮНЕСКО «Морская экология»

[1,2,3,4]Институт Мирового океана (Школа), Дальневосточный федеральный университет, 690922, Россия, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, e-mail: [1]mironova_kate@bk.ru; [2]metreveli.vadim@mail.ru; [3]maksim.donecz@mail.ru; [4]tsig_90@mail.ru
[1,3,4]Передовая инженерная школа «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем», Дальневосточный федеральный университет, 690922, Россия, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10

Определены концентрации стойких загрязняющих веществ в органах малоглазого макруруса (Albatrossia pectoralis) из Берингова моря. Средние концентрации ∑ХОП и ∑ПХБ в мышцах составили – 160±297 и 20±21; в печени – 188±780 и 38±17; в икре – 103±133 и 58±45; в гонадах самцов – 222±138 и 70±34, соответственно. Содержание СОЗ в органах не превышало предельно допустимых уровней.

Результаты сравнения поллютантов в органах малоглазого макруруса с близкородственными видами указывают на низкий уровень загрязнения Берингова моря, по сравнению с другими районами Мирового океана. Расчеты риска для здоровья человека указывают на отсутствие потенциального риска развития онкологических заболеваний из-за СОЗ при употреблении малоглазого макруруса.

Введение

В результате стремительного скачка в развитии химической промышленности, произошедшего во второй половине XX в., синтезированы сотни тысяч химических соединений, прочно укоренившихся в повседневной жизни людей. [1]. Среди них особое место занимают стойкие органические загрязняющие вещества (СОЗ), из которых наиболее опасными по воздействию на окружающую среду являются хлорорганические пестициды (ХОП) и полихлорированных бифенилы (ПХБ). Широкое распространение таких суперэкотоксикантов по планете обусловлено переносом воздушными и водными массами, а также мигрирующими организмами. В связи с этим, в конце 1970-х гг. их производство было официально запрещено в большинстве стран мира, а в 2001 г. по решению Стокгольмской конвенции был составлен список двенадцати особо опасных экотоксикантов «грязная дюжина» [2]. На данный момент, в окружающую среду эти поллютанты поступают из развивающихся стран, где до сих пор разрешено применение таких химикатов, как средства борьбы с насекомыми и в качестве лечебного средства от вшей и чесотки. Одним из аспектов загрязнения СОЗ является распространение этих веществ течениями в океанах. Идея о том, что моря представляют собой конечный пункт аккумуляции хлорорганических соединений не нова. Вместе с тем, попадая в воды океана токсиканты накапливаются и в морских организмах. Однако количество исследований гидробионтов, в частности рыб, весьма ограничено. Известно, что в организм человека 90 % СОЗ поступают через пищу, следовательно, существует высокая вероятность накопление этих веществ через потребление человеком морских продуктов [3, 4, 5].

Одним из распространённых обитателей материкового и островных склонов дальневосточных морей является малоглазый макрурус (*Albatrossia pectoralis* Gilbert, 1892*)*. Этот вид встречается на глубинах от 140 до 3500 м и представляет большой интерес для рыбного хозяйства из-за диетического мяса и богатой жирами печени. Ранее макрурус не имел большого промыслового значения из-за сложности добычи на больших глубинах и высокой обводненности мяса (92,7 %), однако сегодня его добыча активно развивается [6].

Целью исследования было определение стойких загрязняющих веществ в органах малоглазого макруруса (*Albatrossia pectoralis*) из Берингова моря и оценка экологического риска для здоровья людей при его употреблении.

Материал и методы

Характеристика образцов и места сбора материала

Особи малоглазого макруруса (*Albatrossia pectoralis*) выловлены в северо-западной части Тихого океана в летний период 2020 года (рис. 1). Для исследования отобраны 26 особей с длиной от 68 см до 89 см (средняя – 72,8) и массой от 900 г до 3580 г (средняя – 2337,3). Рыба завешивалась, обмывалась бидистиллированной водой и препарировалась керамическими инструментами. Органы упаковывались в полиэтиленовые пакеты, замораживались и хранились в морозильной камере при –20 ^{o}C в период транспортировки в лабораторию. На содержание СОЗ исследовали мышцы, печень и половые продукты рыб.

Рис.1. Карта мест отбора макруруса малоглазого (Albatrossia pectoralis) в Беринговом море

Химический и инструментальный анализ

Навеску образца ткани (10 г) гомогенизировали в микроизмельчителе тканей в течении 5 мин в смеси 20 см^3 ацетона и 10 см^3 гексана. После этого сосуд с гомогенатом помещали в центрифугу на 15 мин (3000 об/мин), и далее переносили жидкую часть в делительную воронку объемом 250 см^3. К остатку биологического материала в сосуде добавляли смесь из 20 см^3 гексана и 2 см^3 диэтилового эфира, гомогенизировали в течении 5 мин, центрифугировали (15 минут), жидкую часть соединяли с первой порцией, остаток в сосуде промывали смесью 10 см^3 гексана и 1 см^3 диэтилового эфира. К объединенным экстрактам добавляли 60 см^3 0,9 %-ного раствора хлорида натрия, содержимое встряхивали в течении 2–5 мин. Отделяли гексановый слой, водно-ацетоновый экстрагировали еще дважды порциями гексана по 10 см^3. Гексан отгоняли на роторном испарителе и взвешивали навеску получившегося жира. Далее снова заливали гексаном. Гексановый экстракт очищали концентрированной серной кислотой до получения бесцветного слоя кислоты. Гексановые слои отмывали раствором бикарбоната натрия и дистиллированной водой до нейтральной реакции по универсальному индикатору. Отмытый экстракт сушили, фильтруя через безводный сернокислый натрий. Очищенный гексановый экстракт упаривали на роторном испари-

теле. Полученный экстракт разделяли неполярными (для ПХБ) и полярными (для ХОП) растворителями на хроматографической колонке с сорбентом Florisil®.

Для приготовления стандартных растворов ХОП (α-, β-, γ- ГХЦГ, *2,4*-ДДТ, *4,4*-ДДТ, *2,4*-ДДД, *4,4*-ДДД, *2,4*-ДДЕ, *4,4*-ДДЕ) и ПХБ (28, 52, 155, 101, 118, 143, 153, 138, 180) использовали стандартные образцы Dr. Ehrenstorfer, AccuStandard и Sigma Aldrich с установленными метрологическими характеристиками – содержание основного вещества 99,4–99,6% с погрешностью определения 0,3%. Для хроматографии использовали рабочие стандартные растворы СОЗ в диапазоне концентрации 1–100 нг/мл, приготовленные путем разбавления растворов стандартов соответствующим объемом очищенного п-гексана.

Инструментальный анализ. Массовое содержание СОЗ в грудном молоке определяли методом газовой хромато-масс-спектрометрии на газовом хромато-масс-спектрометре Shimadzu GCMS-QP2010Ultra. Более подробные параметры прибора представлены в нашей работе [7].

Оценка экологического риска для здоровья населения

Для оценки экологического риска рассчитывались коэффициенты опасности (*HQ*) и потенциального риска развития рака в течение жизни (*ILCR*). *HQ* показывает возможность возникновения острого отравления в течение года, *ILCR* указывает на увеличение вероятности развития онкологических заболеваний от поступления поллютантов в организм человека в течение всей жизни. Для расчета применяли международные стандартные методики [8].

HQ рассчитывали по формуле:

$$HQ=\frac{EDI}{TDI} \quad (1)$$

где *EDI* – среднее употребление токсиканта с пищей, мг/кг в день; *TDI* – количество токсичного вещества, не вызывающее отравления у человека, мг/кг в день. При значении $HQ>0{,}2$ существует потенциальный риск отравления.

Среднесуточное употребление (EDI) рассчитывали следующим образом:

$$EDI=\frac{C_{food}\cdot IR_{food}\cdot AF_{GIT}\cdot D_d\cdot D_y}{BW\cdot 365\cdot LE} \quad (2)$$

где C_{food} – концентрация токсиканта в пище, мг/кг; IR_{food} – среднее употребление пищи, кг/день (по данным Росстата жители Дальнего Востока России потребляют, в среднем 29 кг рыбы в год (90 г рыбы ежедневно)); AF_{GIT} – фактор адсорбции токсиканта в желудочно-кишечном тракте (принимается равным 1, если отсутствуют другие данные); D_d – количество дней, в которые происходит употребление загрязненной пищи; D_y – количество лет употребления загрязненной пищи (для расчета коэффициента опасности не учитывается и принимается равным 1, для расчета риска развития рака принимается равным 65 годам); *BW* – средний вес тела человека, кг (по данным Росстата для населения Дальнего Востока средний вес тела составляет 70 кг); *LE* – средняя продолжительность жизни (по данным Росстата, для местного населения Дальнего Востока составляет 70 лет).

ILCR рассчитывали по формуле:

$$ILCR= EDI\cdot SF_{oral} \quad (3)$$

где SF_{oral} – коэффициент, отражающий степень повышения риска развития рака при поглощении токсиканта, кг в день/мг. Если $ILCR>1\times10^{-5}$, существует потенциальный риск развития рака.

Статистический анализ

Статистический анализ полученных результатов проводился с использованием программного пакета IBM SPSS Statistics для Windows 10. Достоверность различий, полученных данных оценивали методом одностороннего дисперсионного анализа Крускала–Уоллиса с уровнем значимости $p \leq 0{,}05$. Результаты представлены в следующем виде: диапазон концентраций, среднее значение ± стандартное отклонение.

Результаты

СОЗ обнаружены во всех исследуемых образцах. Средние концентрации ∑ХОП и ∑ПХБ в мышцах –160±297 и 20±21нг/г липидов; в печени –188±780 и 38±17 нг/г липидов; в икре –103±133 и 4–132 нг/г липидов; в гонадах самцов –222±138 и 70±34 нг/г липидов, соответственно. Средние уровни ∑ГХЦГ и ∑ДДТ в мышцах составили 78±67 и 185±347 нг/г липидов; в печени –3,7±8,0 и 184±773 нг/г липидов; в икре –76±95 и 41±59 нг/г липидов; в гонадах самцов 189±120 и 64±33 нг/г липидов, соответственно.

Результаты полученных концентраций в процессе анализа проб макруруса представлены ниже в таблице 1.

Таблица 1

Концентрации ГХЦГ, ДДТ и ПХБ в органах малоглазого макруруса (*Albatrossia pectoralis*), нг/г липидов

Токсиканты	Органы			
	Мышцы	**Печень**	**Икра**	**Гонады самцов**
Жир, %	0,4±0,3	40,6±12,7	1,7±1,2	0,4±0,2
α-ГХЦГ	5–122 (23±23)	0,1–9 (1±2)	4–114 (24±29)	11–98 (45±28)
β-ГХЦГ	3–85 (34±27)	0,2–24 (2±5)	5–100 (23±33)	7–116 (74±39)
γ-ГХЦГ	3–206 (38±47)	0,1–10 (0,7±2)	3–130 (32±48)	5–86 (42±30)
δ-ГХЦГ	9–111 (29±34)	0,1–1,4 (0,3±0,3)	5–63 (22±18)	16–129 (57±35)
2,4-ДДЕ	10–1279 (185±347)	0,1–3 (0,7±0,6)	3–126 (25±50)	30–65 (42±15)
4,4-ДДЕ	<ПО	0,2–2313 (95±443)	2–23 (12±10)	59–117 (88±41)
2,4-ДДД	<ПО	1–151 (9±30)	4–6 (5±1)	<ПО
4,4-ДДД	<ПО	1–294 (20±57)	3–10 (6±3)	<ПО
2,4-ДДТ	<ПО	3–261 (18±54)	6–63 (22±27)	<ПО
4,4-ДДТ	<ПО	1–1027 (47±196)	7–13 (10±5)	<ПО
ПХБ 28	<ПО	0,1–2,3 (1±0,6)	<ПО	<ПО
ПХБ 52	7–88 (19±21)	0,5–4,3 (2±1)	8–18 (13±4)	27–126 (70±34)
ПХБ101	<ПО	2–10 (5±2)	4–47 (19±16)	<ПО
ПХБ 118	<ПО	3–12 (6±2)	7–17 (10±4)	<ПО
ПХБ 153	<ПО	3–28 (11±6)	18–36 (23±7)	<ПО
ПХБ 138	<ПО	1–25 (9±6)	9–24 (13±6)	<ПО
ПХБ 180	<ПО	1–11 (4±2)	<ПО	<ПО

Примечание: <ПО – ниже пределов обнаружения

Изомеры ГХЦГ обнаружены во всех исследуемых образцах малоглазого макруруса. Наиболее часто встречающаяся форма – α-ГХЦГ. Среди ДДТ и его метаболитов в мышцах обнаружен только *2,4*-ДДЕ, в гонадах самцов – *2,4*-ДДЕ и *4,4*-ДДЕ, соответственно. В печени и икре определены все анализируемые метаболиты ДДТ, что указывает на их доминирующую роль в процессе распределения поллютантов в организме рыб. Среди всех исследованных конгенеров ПХБ в мышцах и гонадах самцов обнаружен только ПХБ 52. В образцах печени обнаружены ПХБ 28, 52, 101, 118, 153, 138 и 180; в икре – ПХБ 52, 101, 118, 153 и 138.

Обсуждение

Для всех исследуемых поллютантов проведен сравнительный статистический анализ и определены закономерности перераспределения концентраций токсикантов в органах малоглазого макруруса (рис. 2). Для изомеров ГХЦГ выявлен следующий порядок распределения ($p \leq 0,05$): гонады самцов> мышцы> икра> печень. Известно, что относительно других органов печень содержит большое количество жиров (табл. 1), таким образом, происходит снижение концентраций поллютантов из-за увеличения количества «растворителя» – липидов. Также, это может указывать на процессы деградации токсикантов: изначально поступающие в организм рыбы соединения в конечном счете переносятся в печень, где происходят процессы детоксикации.

Рис. 2. Средние концентрации СОЗ в органах малоглазого макруруса

При попадании в организм изначальное соединение ДДТ превращается в наиболее устойчивые формы ДДЕ и далее выводится, при этом перераспределяясь в другие органы [8]. Во всех образцах обнаружен *2,4*-ДДЕ, концентрации которого достоверно ($p \leq 0,05$) изменялись в порядке: мышцы> гонады> икра> печень, что также подтверждает снижение относительной концентрации поллютантов с увеличением количества липидов в органах.

Конгенеры ПХБ, для которых обнаружены статистические различия (ПХБ 101, 118, 153 и 138) подчинялись закономерности: икра> печень. Такое содержание токсичных соединений в половых продуктах самок вероятно связано с тем, что они способны накапливать в икре большие концентрации загрязнителей, и в процессе размножения, выводить их из организма, передавая часть токсинов потомству [9]. Также известно, что на ранних стадиях развития питательные вещества, антитела и гормоны из организма самки переносятся посредством кровообращения в ооциты. Негативное воздействие СОЗ усиливает стресс у рыб, что может изменить содержание кортизола в яйцах. Таким образом, увеличивается концентрация гормона стресса, которое способно негативно повлиять на становление иммунной системы эмбрионов рыб [11].

Из представленного распределения поллютантов в органах малоглазого макруруса (рис. 3) видно, что печень и гонады характеризуются большим накоплением α- и β-ГХЦГ. В то же время в мышцах и икре присутствует достаточно высокое содержание γ-изомера (порядка 40%). Согласно результатам, наличие в пробах изначального соединения линдана указывает на продолжающие поступление поллютантов в организм рыб. Однако, отсутствие прямого источника загрязнения в акватории и невысокие концентрации говорят о влиянии атмосферного переноса. Высокие уровни β-ГХЦГ подтверждают давнее присутствии токсиканта в экосистеме [12, 13]. Таким образом, можно сделать вывод о невысоком уровне поступления свежего ГХЦГ и его продолжающейся деградации.

Рис. 3. Распределение ГХЦГ (A), ДДТ (B) и ПХБ (C) в органах малоглазого макруруса, %

Среди группы ДДТ в гонадах и мышцах обнаружены только изомеры ДДЕ, в то время как в икре и печени также присутствуют ДДТ и ДДД. Как известно, ДДТ и его метаболиты проявляют гормоноподобную активность [14], тем самым предполагается большее разнообразие этих токсикантов в половых продуктах. Наличие в печени и икре изначального ДДТ (до 40%), может указывать на продолжающуюся эмиссию этого поллютанта в окружающую среду в небольших количествах. Однако, общее соотношение всех метаболитов в органах свидетельствует о давней циркуляции ксенобиотиков в экосистеме и их продолжающейся деградации.

Результаты качественного состава ПХБ имеют схожее распределение конгенеров по органам с соединениями группы ДДТ. В мышцах и гонадах обнаружен исключительно ПХБ 52, тогда как печень и икра имеют более разнообразный состав. Основная часть конгенеров представлена высокохлорированными соединениями (ПХБ 101, 118, 153, 138 и 180), накопление которых является частым явлением у глубоководных рыб. Это объясняется переносом этих «тяжелых» ПХБ из поверхностного слоя воды в донные осадки, за счет более активного поглощения взвешенными частицами и плохой растворимостью по сравнению с низкохлорированными ПХБ [13]. Также, низкохлорированные ПХБ более лёгкие и активнее подвергаются атмосферному переносу, в отличие от тяжёлых ПХБ, которые в основном остаются в местах их первичного попадания в окружающую среду. Следовательно, можно предложить, что есть источник локального загрязнения. Кроме того, большее количество атомов хлора увеличивает способность таких конгенеров к биоаккумуляции [12]. Однако, воды Берингова моря являются зоной, достаточно удаленной от активной сельскохозяйственной деятельности и промышленного производств. Следовательно, большая часть поступающих загрязняющих веществ в окружающую среду происходит посредством атмосферного переноса и судоходства.

Сравнение полученных значений с ПДУ

Безопасность пищевых продуктов гарантируется соблюдением норм, зафиксированных в документации по содержанию загрязняющих веществ химической и биологической природы, а также природных соединений, характерных для данного продукта и представляющих опасность для здоровья.

В каждой стране существуют нормативные документы, контролирующие безопасность пищевых продуктов. В странах Европы пищевые продукты должны соответствовать Директивам Европейского союза (ЕС 1881/2006), в Китае безопасность пищевой продукции регламентирует государственный стандарт Китайской Народной Республики GB 2762-2017 (GB 2762-2017), в России безопасность пищевых продуктов регламентируют СанПиН 2.3.2.1078-01 (СанПиН 2.3.2.1078-01), Технический регламент Таможенного союза 021/2011 (ТР ТС 021/2011). В таблице 2 представлены полученные концентрации, в таблице 3 – отечественные и международные нормативные документы.

Таблица 2

Средние концентрации ксенобиотиков в макрурусе малоглазом, мг/кг сырой массы

Органы	ГХЦГ	ДДТ	ПХБ
Мышцы	0,0002	0,0003	0,14
Печень	0,001	0,034	0,015
Икра	0,0008	0,0007	0,0002
Гонады самцов	0,0008	0,0003	0,0004

Таблица 3

Предельно допустимые уровни содержания СОЗ в рыбе, принятые в России, Китае и Европейском союзе, мг/кг сырой массы

Продукция	ТР ТС 021/2011			GB 2762–2017	ЕС 1881/2006
	ГХЦГ[1]	ДДТ[2]	ПХБ[3]	ПХБ	ДДТ
Все виды рыбной продукции (кроме печени и рыбьего жира)	0,2	–	2,0	–	–
Печень рыб и продукты из нее	1,0	3,0	5,0	–	–
Икра и гонады самцов	0,2	0,4	–	–	–
Вся рыба	–	–	–	–	0,1
Морские организмы и продукты из них	–	–	–	0,5	–

Примечание: [1]ГХЦГ (сумма α-, β-, γ-изомеров); [2]ДДТ и его метаболиты (ДДД и ДДЕ); [3] сумма всех конгенеров ПХБ (ПХБ 28, ПХБ 52, ПХБ 101, ПХБ 118, ПХБ 138, ПХБ 153 и ПХБ 180); – данные отсутствуют

При сравнении концентраций СОЗ в рыбе с ПДУ России, а также Китая и Европейского союза не обнаружено превышений. Однако, стоит отметить, что некоторые показатели из других стран более строгие по сравнению с РФ. Например, допустимые уровни СОЗ Китая и ЕС в десятки раз меньше по сравнению с Российскими. Несмотря на то, что обнаруженные соединения не превышают ПДУ, нельзя исключать риск развития негативных последствий для здоровья человека. Это связано с биомагнификацией - тенденцией токсикантов к большему накоплению в организмах, занимающих более высокий трофический уровень.

Сравнение СОЗ в малоглазом макрурусе с международными данными

Из-за отсутствия достаточного количества публикаций не предоставляется возможность проведения полного и объективного анализа. Тем не менее, опираясь на имеющиеся научные результаты, сравнение суммарных концентраций токсичных соединений в печени малоглазого макруруса близких видов представлено на рисунке 4.

При сравнении концентраций СОЗ с другими регионами видно, что в исследованных нами рыбах уровни ПХБ и ДДТ в печени существенно ниже таковых в близкородственных видах. Стоит отметить, что уровни ГХЦГ во всех рыбах оказались невысокими, вероятно, из-за отсутствия локального источника поступления токсикантов, что также указывает о влиянии атмосферного переноса [15]. Концентрации этого поллютанта ниже, чем в рыбах Средиземного моря, Тихого океана и пролива Девиса Атлантического океана, но в несколько раз выше, чем в рыбах западной Ирландии.

Рис. 4. Сравнение средних суммарных уровней СОЗ в печени малоглазого макруруса и близкородственных видов рыб из различных районов Мирового океана: 1 – *Macrourus Berglax* [16]; 2 – *Coryphaenoides rupestris* [10]; 3 – *Trachyrincus scabrus* [17]; 4 – *Albatrossia pectoralis* [18]; 5 – *Albatrossia pectoralis (эта работа, 2021)*

Такие результаты авторы объясняют особенностями географических характеристик, большой антропогенной нагрузкой и стоками в Средиземное море. В районах Атлантического океана – это крупномасштабность коммерческого рыболовецкого промысла (более 90% акватории пролива Девиса используется для движения судов). Также, в этом регионе активно развивается туризм на береговых населённых пунктах. Концентрации СОЗ в Тихом океане связывают с атмосферным переносом из более загрязнённых районов Мирового океана. Несмотря на отсутствие достаточного количества исследований очевидно, что рыба Берингова моря существенно меньше загрязнена СОЗ, по сравнению с другими морями в период с 1997 по 2021 гг.

Оценка рисков для здоровья человека

Рыба является важным источником белка и полиненасыщенных жирных кислот, необходимых для нормального развития человека. Особую ценность и существенно больший вклад в рационе питания она составляет у жителей территорий, расположенных вблизи морей. По данным Росстата среднее потребление рыбы одной персоной на Дальнем Востоке составляет 29 кг/г [19], что на 9 кг больше в сравнении с другими регионами страны [20].

Наибольшую ценность представляет мясо макруруса из-за его диетических свойств, а также печень, которая богата незаменимыми жирными кислотами и витаминами [6]. Таким образом, оценка возможного риска для здоровья человека от употребления в пищу органов малоглазого макруруса является актуальной задачей.

На основании результатов из таблицы 4, несмотря на небольшое превышение значений по $ПХБ_{общ}$ в печени, можно сделать вывод об отсутствии потенциального риска для здоровья человека при употреблении в пищу макруруса. Стоит отметить, что величина потребления 29кг/г приходится на всю рыбу, тем самым не отражает персональное потребление каждого вида обширной группы морских организмов, пригодных к пище.

Таблица 4.

Оценка риска для здоровья человека СОЗ в органах малоглазого макруруса

СОЗ	EDI for HQ	HQ	EDI for ILCR	ILCR
		Мышцы		
α-ГХЦГ	$7{,}29\times10^{-8}$	$2{,}0\times10^{-4}$	$6{,}87\times10^{-8}$	$4{,}33\times10^{-7}$
β-ГХЦГ	$9{,}41\times10^{-8}$	$3{,}0\times10^{-4}$	$8{,}86\times10^{-8}$	$1{,}6\times10^{-7}$
γ-ГХЦГ	$8{,}96\times10^{-8}$	$3{,}0\times10^{-4}$	$8{,}44\times10^{-8}$	$1{,}1\times10^{-7}$
ДДЕ	$3{,}14\times10^{-7}$	$6{,}0\times10^{-3}$	$2{,}96\times10^{-7}$	$1{,}01\times10^{-7}$

СОЗ	EDI for HQ	HQ	EDI for ILCR	ILCR
$ПХБ_{общ}$	$1,10\times10^{-7}$	$8,0\times10^{-3}$	$1,03\times10^{-7}$	$2,07\times10^{-7}$
Печень				
α-ГХЦГ	$2,94\times10^{-7}$	$1,0\times10^{-3}$	$2,77\times10^{-7}$	$1,75\times10^{-6}$
β-ГХЦГ	$7,53\times10^{-7}$	$3,0\times10^{-3}$	$7,1\times10^{-7}$	$1,28\times10^{-6}$
γ-ГХЦГ	$2,01\times10^{-7}$	$7,0\times10^{-4}$	$1,9\times10^{-7}$	$2,46\times10^{-7}$
ДДТ	$7,29\times10^{-6}$	$1,0\times10^{-2}$	$6,87\times10^{-6}$	$2,34\times10^{-6}$
ДДД	$3,94\times10^{-6}$	$8,0\times10^{-3}$	$3,71\times10^{-6}$	$8,9\times10^{-7}$
ДДЕ	$8,79\times10^{-6}$	$2,0\times10^{-2}$	$8,29\times10^{-6}$	$2,82\times10^{-6}$
$ПХБ_{общ}$	$1,77\times10^{-5}$	$1,0\times10^{-1}$	$1,66\times10^{-5}$	$\mathbf{3,33\times10^{-5}}$

Таким образом, необходимо проведение постоянных мониторинговых исследований морских промысловых видов для оценки возможности возникновения экологического риска. Результаты анализа обеспечивают ценную основу для будущих исследований и могут привести к более эффективному регулированию глобальных уровней загрязнителей в экосистеме.

Заключение

СОЗ обнаружены во всех исследуемых органах малоглазого макруруса (*Albatrossia pectoralis*). Среди исследованных ХОП наиболее часто встречались α-ГХЦГ и группа ДДЕ. Преимущественное обнаружение продуктов распада изначальных соединений указывает на длительную циркуляцию этих ксенобиотиков и низкую скорость поступления свежего загрязнения в экосистему Берингова моря. Однако, обнаруженные свежие соединения ХОП говорят о поступлении загрязнения, вероятно связанного с атмосферным переносом. Концентрации высокохлорированных ПХБ указывают на поступление поллютантов связанное с судоходством, а также на активные процессы биоаккумуляции тяжелых соединений, по сравнению с более легкими и «летучими» ПХБ. При сравнении концентраций СОЗ в органах с ПДУ превышений не обнаружено. Сравнение суммарных концентраций поллютантов в печени макруруса и близкородственных видов показали низкий уровень загрязнённости рыб Берингова моря по сравнению с другими районами Мирового океана. На основании полученных результатов можно сделать вывод, об отсутствии потенциального риска для здоровья человека, от употребления в пищу органов малоглазого макруруса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Organochlorine pesticides in commercial Pacific salmon in the Russian Far Eastern seas: Food safety and human health risk assessment / V.Yu. Tsygankov, O.N. Lukyanova, M.D. Boyarova, A.N. Gumovskiy [et.al.] // Marine pollution bulletin. – 2019. – V. 140. – P. 503–508.

2. Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях. Пути ее реализации в Российской Федерации / Ю.А. Трегер // Химическая физика. – 2012. – Т. 31. – № 10. – С. 33–37.

3. Bioindicators of Organochlorine Pesticides in the Sea of Okhotsk and the Western Bering Sea / V.Yu. Tsygankov, M.D. Boyarova, O.N. Lukyanova, N.K. Khristoforova // Archives of Environmental Contamination and Toxicology. – 2017. – V. 73. – P. 176–184.

4. Tsygankov V.Yu., 2019. Organochlorine pesticides in marine ecosystems of the far eastern seas of russia (2000-2017) // Water Research. – 2019. – T. 161. – C. 43–53.

5. Restoring HCHs polluted land as one of the priority activities during the UN-International Decade on Ecosystem Restoration (2021–2030): A call for global action / V. Tripathi, S. A. Edrisi, R. Chaurasia, K. K. Pandey [et.al.] // Science Total Environment. – 2019. – V. 689. – P. 1304–1315.

6. Некоторые черты биологии малоглазого Albatrosia pectoralis и пепельного Coryphaenoides cinereus макрурусов в тихоокеанских водах Северных Курильских островов и юго-восточной Камчатки / А.М. Орлов, А.А. Абрамов, А.М. Токранов // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: Докл. VII межд. научн. Конф. –2007. – С. 120–148.

7. «Грязная дюжина» Стокгольмской конвенции. Химия и токсикология стойких органических загрязняющих веществ (СОЗ): обзор литературы / В.Ю. Цыганков, М.М. Донец, Н.К. Христофорова [и др.] // Стойкие органические загрязняющие вещества (СОЗ) в Дальневосточном ре-

гионе: моря, организмы, человек: монография; науч. ред. В.Ю. Цыганков. – Владивосток: Изд-во Дальневост. федерал. ун-та, 2020. – С. 12–61.

8. Federal Contaminated Site Risk Assessment in Canada: Toxicological Reference Values (TRVs), Version 3.0 2020 // Электрон. дан. Режим доступа URL: https://www.canada.ca/en/health-canada.html (дата обращения 11.08.2023)

9. Effects of legacy persistent organic pollutants (POPs) in fish–current and future challenges / L.L. Johnson, B.F. Anulacion, M.R. Arkoosh, D.G. Burrows [et.al.] // Fish physiology. – 2013. – V. 33. – P. 53–140.

10. Mormede S., Davies, I.M. Horizontal and vertical distribution of organic contaminants in deep-sea fish species // Chemosphere. – 2003. – V. 50. – № 4. – P. 563–574.

11. Li, M., Leatherland, J.F. The interaction between maternal stress and the ontogeny of the innate immune system during teleost embryogenesis: implications for aquaculture practice // Journal of Fish Biology. – 2012. – V. 81. – P. 1793–1814.

12. Microbial transformation of chiral organohalides: Distribution, microorganisms and mechanisms / Q. Lu, L. Qiu, L. Yu, S. Zhang [et al] // Journal of Hazardous Materials. – 2019. – V. 368. – P. 849–861.

13. Tanabe S., Tatsukawa R. Vertical Transport and Residence Time of Chlorinated Hydrocarbons in the Open Ocean Water Column // J. Oceanogr. Sot. Jpn., – 1983. – V. 39. – P. 5362.

14. Toxicological Profile for DDT, DDE, and DDD. Atlanta (GA): Agency for Toxic Substances and Disease Registry (US). – 2022.

15. Hexachlorocyclohexane and DDT in marine organisms from the Bering and the Okhotsk Seas / V.Yu. Tsygankov, M.D. Boyarova, O.N. Lukyanova, N.K. Khristoforova // Izv. TINRO. – 2014. – V. 176. – P. 225–232.

16. Organochlorine contamination in deep-sea fish from the davis strait / V. Berg, K.I. Ugland, N.R. Hareide, P.E. Aspholm [et al] // Marine Environmental Research. – 1997. – V. 44. – №2. – P. 135–148.

17. Polychlorinated biphenyl and organochlorine pesticide contamination signatures in deep-sea fish from the Mediterranean Sea / M.M. Storelli, S. Losada, G.O. Marcotrigiano, L. Roosens [et al] // Environmental Research. – 2009. – V. 109. – № 7. – P. 851–856.

18. Organochlorine and butyltin residues in deep-sea organisms collected from the western North Pacific, off-Tohoku, Japan / A.P. de Brito, S. Takahashi, D. Ueno, H. Iwata [et al] // Marine Pollution Bulletin. – 2002. – V. 45. – № 1. – P. 348–361.

19. Рыбная промышленность Дальнего Востока России: современное состояние, проблемы и перспективы конкурентоспособности / О.Ю. Ворожбит, Т.Е. Даниловских, И.А. Кузьмичева, Н.Ю. Титова и др. Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2016. – 156 с.

20.Рыжкова С.М., Кручинина В.М. Тенденции потребления рыбы и продуктов ее переработки в России // Вестник ВГУИТ. – 2020. – Т. 82. – № 2. – С. 181–189.

PERSISTENT POLLUTANTS IN THE BERING SEA GRAVEL (ALBATROSSIA PECTORALIS GILBERT, 1892)

[1]Mironova Ekaterina Konstantinovna, graduate student
[2]Metreveli Vadim Evgenievich, graduate student
[3]Donets Maxim Mikhailovich, graduate student, junior researcher
[4]Tsygankov Vasily Yuryevich, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor,
Dean of the Faculty of Industrial Biotechnology and Bioengineering,
Professor of the UNESCO International Department of Marine Ecology

[1,2,3,4]Institute of the World Ocean (School), Far Eastern Federal University, 690922, Russia, Primorsky Krai, Vladivostok, o. Russian, p. Ajax, 10, e-mail: [1]mironova_kate@bk.ru; [2]metreveli.vadim@mail.ru; [3]maksim.donecz@mail.ru; [4]tsig_90@mail.ru
[1,3,4]Advanced engineering school "Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems", Far Eastern Federal University, 690922, Russia, Primorsky Territory, Vladivostok, o. Russian, p. Ajax, 10

Concentrations of persistent pollutants in the organs of small-eyed grenadier (Albatrossia pectoralis) from the Bering Sea were determined. The average concentrations of ∑OCP and ∑PCB in muscles were 160±297 and 20±21; in the liver – 188±780 and 38±17; in caviar – 103±133 and 58±45; in the gonads of males – 222±138 and 70±34, respectively. The content of POPs in organs did not exceed the maximum permissible levels.

The results of a comparison of pollutants in the organs of the small-eyed grenadier with closely related species indicate a low level of pollution in the Bering Sea compared to other areas of the World Ocean. Calculations of the risk to human health indicate that there is no potential risk of developing cancer due to POPs when consuming small-eyed grenadier.

УДК 574.52

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБВОДНЕННОГО КАРЬЕРА ВОЗЛЕ П. УШАКОВО

[1]Моисеенко Валентина Валерьевна, аспирант кафедры водных биоресурсов и аквакультуры
[2]Цупикова Надежда Александровна, канд. геол.-минерал. наук,
доцент кафедры водных биоресурсов и аквакультуры
[3]Шибаев Сергей Вадимович, д-р биол. наук, профессор

[1,2,3]Калининградский государственный технический университет,
Калининград, Россия, e-mail: [1]valentina.moiseenko@klgtu.ru; [2] tsoupikova@klgtu.ru;
[3]shibaev@klgtu.ru

В работе впервые приводится анализ современного экологического состояния обводненного карьера возле п. Ушаково на основании изучения ключевых гидрохимических показателей (содержание растворенного кислорода, биогенных элементов, величина перманганатной окисляемости), а также количественных и качественных показателей зоопланктона. Данные получены непосредственно авторами в ходе отбора проб. Рассматривается соответствие названных показателей нормативам для рыбоводных водоемов. Выявлено, что по гидрохимическим показателям и зоопланктону водоем относится к категории чистых, олигосапробных и пригоден для использования в рыбоводных целях.

Введение

Исследуемый обводненный карьер расположен юго-восточнее п. Ушаково Низовского района муниципального образования «Гурьевский городской округ» Калининградской области. Согласно анализу спутниковых снимков, разработка карьера для добычи песчано-гравийного материала началась в 2017 г., а в 2020 г. котловина заполнилась грунтовыми водами и образовался водный объект.

Данный водоем в настоящее время используется для подращивания молоди сига, чтоб в последствии вести его искусственное воспроизводство в заливе. Для организации дальнейшего продуктивного рыбоводства необходимо обеспечить соответствие условий внешней среды, такие как термический и гидрохимический режим, биологическим особенностям разводимых видов рыб. Анализ особенностей экологических процессов в водном объекте с целью последующего определения перспектив его использования с учетом мер по поддержанию благоприятного экологического состояния требует также исследования гидробиологических характеристик.

Материалы и методы

Работа построена на материалах, лично собранных авторами. В июле 2023 г. выполнены гидрологические, гидрохимические, гидробиологические исследования. Отбор проб воды для последующего анализа на содержание растворенного кислорода, общего фосфора, общего азота, $БПК_5$ и перманганатной окисляемости проводился с плавсредства из поверхностного горизонта на трех станциях (в северной, южной и центральной части водного объекта). Анализ гидрохимиче-

ских проб осуществлялся в гидрохимической лаборатории КГТУ по стандартным методикам для объемных и колориметрических методов [1]. Пробы зоопланктона отбирались сетью Джеди, пробы бентоса – скребком. Затем собранные материалы анализировались в гидробиологической лаборатории КГТУ. Численность и биомассу зоопланктона и бентоса определяли общепринятыми методами [2]. Гидроакустическая съемка глубин проведена при помощи программного аппарата «АсКор», на основании полученных данных составлена батиметрическая схема исследуемого водоема.

Экологическое состояние водоема оценивалось по значениям гидрохимических показателей и при помощи биоиндикации с использованием зоопланктона.

Результаты

Целью исследования является изучение текущего экологического состояния обводненного карьера возле п. Ушаково Калининградской области с точки зрения его пригодности к использованию для разведения и выращивания рыб.

Рассматриваемый водный объект расположен в 21 км к востоку от г. Калининграда, в пределах водосборного бассейна р. Преголя, на расстоянии 1,4 км от правого берега реки (рис. 1). Координаты географического центра водоема – 54°40'22,91" с.ш., 20°48'50,42" в.д. Для местности характерен однообразный выровненный рельеф, представленный плоскими озерными и болотными низинными равнинами с дерново-слабоподзолистыми и аллювиальными почвами.

Согласно ГОСТ Р 59054-2020 [3], водоем – среднего размера (площадь акватории составляет 10,9 га) и глубины (максимальная глубина 15 м). По форме карьер напоминает прямоугольник со слабоизрезанной береговой линией (коэффициент изрезанности 1,3). Длина водоема 0,53 км, максимальная ширина (0,25 км) ненамного превышает среднюю (0,22 км).

Объем котловины обводненного карьера составляет 0,86 км^3

Рис. 1. Расположение обводненного карьера возле п. Ушаково

В восточной части расположены садки для подращивания сига, а с западной – частная закрытая территория. Особенности рельефа дна закрытой акватории, применявшиеся при расчете морфометрических характеристик водоема, получены путем интерполяции.

Батиметрическая схема обводненного карьера возле п. Ушаково, полученная на основании гидроакустической съемки, представлена на рис. 2. Нижеприведенный батиметрический профиль построен по линии АБ.

Рис. 2. Батиметрия обводненного карьера возле п. Ушаково

Анализ батиметрической схемы и батиграфических кривых показал, что основной объем вод (более 65%) сосредоточен на глубинах до 6 м. В то же время наибольшую площадь дна водоема (45%) занимают глубины от 9 до 12 м, на долю мелководий с глубиной до 3 м приходится 14%. Наиболее глубокие участки котловины карьера составляют по площади 5% (Таблица 1, рис. 3).

Таблица 1

Распределение площадей и объемов вод по глубине

Глубина, м	Площадь, %	Объем, %
0-3	13,9	35,5
3-6	14,4	30,1
6-9	21,5	23,3
9-12	45,3	10,5
12-15	4,9	0,6

Рис. 3. Батиграфические кривые обводненного карьера возле п. Ушаково

Подводный склон, в пределах которого глубины довольно резко возрастают от уреза до 6 м, – средней крутизны, от 13 до 17°. У подошвы склона дно котловины обводненного карьера заметно выполаживается и далее, на глубинах от 6 до 12 м, уклоны колеблются от 5 до 7°.

Котловина данного водного объекта по форме близка к параболоиду.

Дно водоема в целом довольно расчлененное, с многочисленными неровностями, в среднем уклон составляет 7-12°. Впадины чередуются с небольшими поднятиями дна, лучше выраженными в восточной и северной части, где перепад глубин превышает 6 м на расстоянии 17 м (Рис. 4).

Рис. 4. Батиметрический профиль обводненного карьера возле п. Ушаково

Неровности дна способствуют возникновению турбулентности, которая может оказывать влияние на газовый режим и продуктивность водоема. Средняя глубина обводненного карьера – 7,9 м.

Морфометрические характеристики водоема является важнейшим параметром, который оказывает воздействие на качество воды и скорость зарастания. Так, более глубокие водоемы способны обеспечить полную циркуляцию воды во время весенней и осенней циркуляции, что сильно влияет на качество воды [4]. Для водоемов карьерного типа характерны более значительные глубины по сравнению с широко распространенными в Калининградской области водно-эрозионнными и водно-аккумулятивными озерами.

Сиговые, обладая обширными ареалами и наличием множества экологических форм, являются объектами интенсивного разведения. Используемые для этих целей водоемы должны иметь хороший кислородный режим (не менее 5-6 мл/л кислорода), более интенсивно питаются и растут при температуре в пределах 8-16°С, переносят лишь небольшие температурные колебания, не более 5-7°С. [5]. Вода в обводненном карьере возле п. Ушаково не перегревается чрезмерно, температура воды в день отбора проб (после очень теплого июня с максимальной температурой воздуха 31°С) на поверхности составляла 20°С.

Гидрохимический состав водоема оценивался по содержанию биогенных элементов (азота аммонийного, нитритов и фосфора фосфатов), растворенного кислорода и перманганатной окисляемости, т. к. превышение нормативных значений концентраций органических и биогенных веществ в обычных условиях свидетельствует о его загрязнении. Результаты наблюдений показали, что гидрохимические показатели на всех трех станциях очень близки, расхождения не существенны.

Оценка пригодности данного водоема для подращивания сиговых оценивалась по нормативам для форелевых водоемов, т.к. довольно часто используется сочетание форелевого и сигового направления садковой аквакультуры [6]. По большинству исследованных показателей обводненный карьер возле п. Ушаково соответствует вышеуказанным нормативам.

Количество растворенного в воде кислорода составило 9 мл/л (что подходит для сиговых), насыщение воды близко к 100%. Перманганатная окисляемость воды средняя по классификации О.А. Алекина [7], ее величина колеблется в пределах 9-10 мгО/л.

Показатель $БПК_5$, являющийся одним из важнейших критериев уровня загрязнения водоема органическими веществами и определяющий количество легкоокисляемых органических загрязняющих веществ в воде, составляет от 1,5 до 1,9 мг/л, что соответствует категории бетамезосапробных вод [8], и превышает нормативы для форелевых водоемов [9].

Содержание биогенных элементов в изучаемом обводненном карьере в целом невелико и находится в пределах допустимых значений для форелевых водоемов. Так, концентрации фосфора фосфатов и нитритов составляли не более 0,01 мг/л, а азот аммонийный колебался в пределах от 0,2 до 0,25 мг/л.

Для определения изменения экологического состояния пресноводных экосистем часто применяют биоиндикацию на основе сообществ зоопланктона, который оказывает прямое воздействие на качество воды, участвуя в процессах естественной фильтрации вод. Показатели его количественного развития дают возможность характеризовать трофический статус водоема.

Зоопланктон карьера возле п. Ушаково представлен 21 видом и формами организмов, принадлежащих к ветвистоусым ракообразным (*Cladocera*) – 5 видов, веслоногим ракообразным (*Copepoda*) – 6 видов и форм, коловраткам (*Rotifera*) – 9 видов и ракушковым ракообразным (отр. *Conchostraca*) – 1 вид (Таблица 2).

Таблица 2

Видовой состав зоопланктона обводненного карьера возле п. Ушаково

№	Группа	Вид
1	Cladocera	*Bosmina longirostris*
2		*Chydorus sphaericus*
3		*Leptodora kindtii*
4		*Pleuroxus aduncus*
5		*Alona affinis*
6	Copepoda	Науплиус *Cyclopoida*
7		Копеподит *Cyclopoida*
8		*Thermocyclops oithonoides*
9		*Diacyclops bicuspidatus*
10		*Eudiaptomus gracilis*
11		*Копеподит Calanoida*
12	Rotifera	*Asplanchna priodonta*
13		*Euchlanis dilatata*
14		*Filinia teminalis*
15		*Filinia teminalis*
16		*Kellicottia longispina*
17		*Keratella cochlearis*
18		*Keratella quadrata*
19		*Polyarthra major*
20		*Trichocerca* sp.
21	Прочие	*Conchostraca* sp.

Наибольшую долю биомассы создавали виды *Diacyclops bicuspidatus* и *Thermocyclops crassus*. По численности доминируют науплиус *Cyclopoida* и копеподит *Cyclopoida*.

Как основу численности, так и основу биомассы составляли веслоногие ракообразные и коловратки (Рис. 5).

Рис. 5. Структура зоопланктона обводненного карьера возле п. Ушаково

Ветвистоусые рачки (*Cladocera*) играют важную роль в процессах самоочищения природных вод, они фильтруют воду и удаляют из нее взвешенные органические и минеральные частицы. Эти рачки – важнейший компонент естественной кормовой базы рыб, в том числе их молоди. Молодь рыб не может заглатывать относительно крупный планктон, например, дафний, и питается мелкими организмами (коловратками, науплиусами веслоногих ракообразных). Когда молодь подрастает, картина меняется, и начинается сплошное выедание мезозоопланктона, вследствие чего его общая численность может резко снижаться [10]. Таким образом, обводненный карьер возле п. Ушаково обладает подходящей естественной кормовой базой для сиговых.

Индекс сапробности Пантле-Букка в модификации Сладечека по зоопланктону составляет 1,4 балла, что соответствует II классу качества вод (чистые) – олиготрофные [11].

Заключение

Таким образом, согласно ГОСТ 17.1.2.04-77 [8] по исследованным показателям перманганатной окисляемости, содержания растворенного кислорода и биогенных элементов, обводненный карьер возле п. Ушаково является олигосапробным, что соответствует категории чистых водоемов. По показателю $БПК_5$ – бетамезосапробный.

В соответствии с ОСТ 155 372-87 [9] величина перманганатной окисляемости, содержание растворенного кислорода и $БПК_5$, а также исследованных биогенных элементов соответствуют требованиям для форелевых водоемов.

По индексу сапробности Пантле-Букка в модификации Сладечека [11] по зоопланктону водоем также является олиготрофным. Естественная кормовая база зоопланктона в водоеме подходит для разведения молоди сиговых.

Карьерное происхождение водоема и значительные глубины, превосходящие типичные глубины водоемов природного происхождения Калининградской области, обеспечивают лучшие возможности самоочищения вод и меньшее нагревание, что также благоприятно для таких холодолюбивых рыб как сиговые.

Полученные результаты позволяют говорить о пригодности обводненного карьера возле п. Ушаково к дальнейшему развитию рыбоводного хозяйства на базе. Однако это должно сопровождаться мониторингом экологического состояния водоема (в особенности показателя $БПК_5$) во избежание ухудшение качества его вод при активном использовании.

Работа выполнена в рамках инициативной НИР 01-44-002.2 «Изучение экологического состояния городских прудов Калининграда».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гидрология. Лабораторный практикум и учебная практика: учеб. пособие / Т. А. Бернникова [и др.]; Федер. агентство по рыболовству. – Москва: Колос, 2008. – 304 с.

2. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / Под ред. Абакумова В.А. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 318 с.

3. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 59054-2020 «Охрана окружающей среды. Поверхностные и подземные воды. Классификация водных объектов» (утв. и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 сентября 2020 г. N 706-ст) Электрон. дан. Режим доступа URL: https://docs.cntd.ru/document/566277871 (дата обращения 23.07.2023).

4. Моисеенко В.В. Цупикова Н.А. Мониторинг сукцессионнных процессов на водоемах карьерного типа // Современные технологии в области защиты окружающей среды и техносферной безопасности: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием (Казань, 21–22 марта 2023 г.); Минобрнауки России; Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2023. С. 895-898.

5. Черняев Ж.А. Воспроизводство сиговых рыб. Эколого-физиологические особенности размножения и развития. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2017. – 329. с.

6. Садковое сиговодство: учебник / Л. П. Рыжков. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2013. –138 с.

7. Алекин О. А. Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1970. – 443 с.

8. ГОСТ 17.1.2.04-77 Охрана природы. Гидросфера. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов // Сб. ГОСТов. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. – 62 с.

9. ОСТ 155 372-87. Охрана природы, гидросфера, вода для рыбоводных хозяйств, общие требования и нормы // Сб. инструкций по борьбе с болезнями рыб. – М.: Отдел маркетинга АМБ-агро, 1999. – Ч. 2. – С. 161-177.5.

10. Романенко В. Д. Основы гидроэкологии. Основы гидроэкологии / Учебн. для студентов высших учебных заведений. К.: Генеза, 2004. – 664 с.

11. Сладечек В. Общая биологическая схема качества воды // Материалы I съезда Всесоюзного Гидробиологического Общества: Санитарная и техническая гидробиология, 1967. – С. 26-31.

INVESTIGATION OF THE ECOLOGICAL STATE OF A FLOODED QUARRY IN THE VICINITY OF THE SETTLEMENT OF USHAKOVO

[1]Moiseenko Valentina Valerievna, PhD Student
[2]Tsupikova Nadezda Aleksandrovna, PhD in Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor of the Department of Water Bioresources and Aquaculture
[3]Shibaev Sergei Vadimovich, Professor, head of the Department of Water Bioresources and Aquaculture

[1, 2, 3]Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,
e-mail: [1]valentina.moiseenko@klgtu.ru; [2] tsoupikova@klgtu.ru; [3]shibaev@klgtu.ru

The paper for the first time provides an analysis of the current ecological state of a watered quarry in the vicinity of the settlement of Ushakovo. It is based on the study of key hydrochemical indicators (dissolved oxygen content, nutrients, permanganate value) as well as on quantitative and qualitative indicators of zooplankton. The data were obtained directly by the authors during sampling. The compliance of these indicators with the standards for fish-breeding reservoirs is considered. It was revealed that the reservoir belongs to the category of clean, oligosaprobic, and is suitable for use in fish farming.

УДК 574.52:581.526.325.2

ФИТОПЛАНКТОН КАК ИНДИКАТОР ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКИХ ВОДОЕМОВ КАЛИНИНГРАДА

[1]Севостьянова Екатерина Александровна, специалист по УМР кафедры водных биоресурсов и аквакультуры
[2]Цупикова Надежда Александровна, канд. геол.-минерал. наук, доцент кафедры водных биоресурсов и аквакультуры
[3]Суэтина Олеся Сергеевна, ведущий инженер кафедры водных биоресурсов и аквакультуры

[1,2,3]Калининградский государственный технический университет,
Калининград, Россия, e-mail: [1]ekaterina.lozitskaya@klgtu.ru; [2]tsoupikova@klgtu.ru;
[3]olesya.bugranova@klgtu.ru

В работе приводятся результаты летней съемки 2021 года шести городских водоемов Калининграда. На основании лабораторного определения дается характеристика видового богатства, таксономического состава, количественного развития фитопланктона на момент съемки. Полученные данные использованы для оценки экологического состояния прудов и расчета индекса трофности. По численности в большинстве объектов доминируют цианопрокариоты, превышая суммарную численность остальных обнаруженных отделов. Значения биомассы во всех прудах были довольно высокими, что позволяет характеризовать их экологическое состояние преимущественно как неудовлетворительное. Значение индекса трофности соответствовало эвтрофному уровню.

Фитопланктон играет важную роль в водоемах урбанизированных территорий, особенностью которых часто является нестабильность кислородных условий. В таких случаях роль фитопланктона в поддержании кислородного баланса и его участие в пищевых цепях приобретают особую значимость. Изменения в составе фитопланктона и его количественные показатели могут свидетельствовать о изменениях в экологическом состоянии водоемов, что позволяет использовать его как индикатор качества воды.

Отбор проб фитопланктона проводился летом 2021 года в период максимального роста и развития альгофлоры из фотического слоя шести городских водных объектов Калининграда батометром или ведром в зависимости от глубины. Количество станций варьировало в соответствии с площадью водоема (от трех до пяти).

В работе использовались стандартные методики отбора, фиксации, концентрирования и обработки проб альгофлоры [1-2]. Экологическое состояние оценивалось по шкале Мишке [3]. К доминирующим видам были отнесены виды, биомасса которых превышала 10 % суммарной биомассы фитопланктона. Для каждой пробы вычисляли индекс трофности Милиуса по формуле [4]:

$$IB = 44.87 + 23.22 \times LogB, \quad (1)$$

где B – общая биомасса водорослей в пробе, мг/л.

Расчет трофического индекса Карлсона (TSI) выполнен по формуле, берущей за основу величину относительной прозрачности [5]:

$$TSI\ (SD) = 60 - 14.41 * \ln SD \quad (2)$$

где SD – прозрачность в метрах, измеренная с помощью диска Секки.

Объектами исследования являлись шесть искусственных водных объектов Калининграда, используемых преимущественно в рекреационных целях и расположенных в густо заселенных районах города. Водоемы имеют небольшую площадь водного зеркала, в среднем около 3 га, значительно больше только пруды Верхний и Нижний. Три водоема (Летний, Поплавок, Лесное) являются бессточными системами, питающимися подземными водами и атмосферными осадками, другие три водоема (Верхний, Нижний, Зимний) – руслового типа. Гидрологические различия, степень благоустроенности и эффективность поддерживающих мероприятий оказывают влияние на экологическое состояние водоемов. Ранее по данным гидрохимического мониторинга некоторые из исследуемых прудов характеризовались как сильно загрязненные, в частности, пруды Верхний и Нижний, Летний [6-8].

В альгофлоре исследуемых прудов выявлено от 36 до 83 таксонов. В систематическом отношении распределение водорослей продемонстрировано на рис. 1. Наименьшее видовое разнообразие встречено в пруду Поплавок, где всю площадь дна занимают макрофитные сообщества, которые могут подавлять развитие фитопланктона, наибольшее – в проточных системах Верхнего, Нижнего и Зимнего прудов.

Рис. 1. Видовое богатство альгофлоры водоемов Калининграда

На рис. 2 видно, что наибольшее видовое разнообразие во всех прудах отмечается у зеленых водорослей.

Рис. 2. Таксономический состав альгофлоры водоемов Калининграда

Численность и биомасса фитопланктона сильно варьировала между водоемами (рис. 3). Максимальная численность фиксировалась в мелководных водоемах с замедленным водообменом – Летний, Нижний пруды (в среднем 286-383 млн кл. /л) и достигала 800 млн кл. /л на одной из станций пруда Нижнего. Такое количественное развитие водорослей формировалось из доминирующих видов цианопрокариот *Microcystis wesenbergi* (Komarek) в Летнем и представителей рода Oscillatoria в Нижнем. В других водоемах численность фитопланктона была в несколько раз меньше – до 87 млн кл. /л. Наименьшая численность отмечалась в пруду Поплавок (около 9 млн. кл/л), что, вероятно, объясняется теми же причинами, что и в видовом разнообразии. По численности цианопрокариоты лидировали практически везде, превышая суммарную численность всех остальных отделов. Исключение составляла численность в Поплавке и Зимнем, где развитие цианопрокариот было в разы ниже.

Рис. 3. Численность фитопланктона в водоемах Калининграда:
А – численность выявленных отделов без цианопрокариот, Б – численность цианопрокариот

В распределении биомассы между водными объектами выявлялись иные особенности. Наибольшая биомасса формировалась в пруду Поплавок (47 мг/л), за счет доминирования динофлагеллята *Ceratium hirundinella* (O.F.Müller). В Лесном биомасса (34 мг/л) формировалась за счет десмидиевых водорослей – *Staurastrum gracile* (Ralfs). Высокие значения биомассы отмечались и в системе Верхний-Нижний (30-33 мг/л). В Верхнем основной вклад в биомассу вносили представители криптофитовых водорослей – *Cryptomonas ovata* (Ehrenberg), увеличение биомассы в Нижнем вызвано обилием водорослей *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg). Наименьшие значения биомассы обнаружены в Летнем и Зимнем прудах – 13 и 19 мг/л соответственно.

Рис. 4. Биомасса фитопланктона в водоемах Калининграда

Согласно шкале Мишке экологическое состояние городских водоемов Калининграда по биомассе фитопланктона характеризуется преимущественно как неудовлетворительное, только значения биомассы в Летнем соответствует удовлетворительному состоянию. Величина общей численности фитопланктона всех прудов, кроме Поплавка, соответствует эвтрофным водам [9]. Процентное соотношение отделов водорослей изучаемых водоемов также позволило оценить их трофность. По численности зеленых водорослей Летний и Нижний относятся к эвтрофным водным объектам, все остальные – к олиготрофным, по доли диатомовых водорослей Верхний, Летний, Поплавок и Лесное являются мезотрофными системами, Зимний и Нижний – олиготрофными. Высокая численность цианопрокариот в Нижнем и Летнем позволяет их классифицировать как эвтрофные, Верхний и Лесное являются мезотрофными прудами, Зимний и Поплавок – олиготрофными (таблица).

Таблица

Оценка качества воды прудов Калининграда летом 2021 г.

Параметры	Водоем					
	Верхний	**Нижний**	**Летний**	**Зимний**	**Поплавок**	**Лесное**
Численность фитопланктона, млн. кл./л	56,1 (Э)	382,8 (Э)	277,0 (Э)	84,5 (Э)	9,2 (М)	87,4 (Э)
Диатомовые водоросли, % от общей численности	0,4 (М)	25 (О)	0,6 (М)	19,1 (О)	0,6 (М)	0,1 (М)
Зеленые водоросли, % от общей численности	28,0 (О)	4,2 (Э)	3,0 (Э)	75,0 (О)	17,0 (О)	4,0 (Э)
Цианопрокариоты, % от общей численности	56,0 (М)	93,0 (Э)	96,0(Э)	4,7 (О)	19,0 (О)	81,0(М)
Индекс трофности IB[1]	69-86 / 77 (Э)	70-85 / 78 (Э)	61-75 / 69 (Э)	70-79 / 74 (Э)	62-93 / 75 (Э)	78-83 / 80 (Э)
Индекс трофности TSI (SD)	67 (Э)	75 (ГП)	83 (ГП)	69 (Э)	53[2] (Э)	63[2] (Э)

Примечания: [1]числитель – диапазон изменения по станциям, знаменатель – среднее значение; [2]прозрачность определялась до дна, для расчета приняты значения глубины на станции; О – олиготрофные, М – мезотрофные, Э– эвтрофные, ГП – гиперэвтрофные воды

Индекс трофности, рассчитанный по биомассе пробы, имеет широкий диапазон колебаний практически во всех водоемах. Среднее значение индекса трофности для вод всех прудов соответствует эвтрофному типу. Состояние водоемов по индексу Карлсона, рассчитанному по величине прозрачности, за исследуемый период характеризуется как эвтрофное у Верхнего, Зимнего, Поплавка и Лесного, гиперэвтрофное – у Нижнего и Летнего.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные летом 2021 года работы на шести водоемах Калининграда позволили оценить видовое разнообразие, количественное развитие фитопланктона и использовать полученные результаты для оценки экологического состояния экосистем. Наличие проточности приводит к увеличению числа видов фитопланктона, особенно в отделе зеленых водорослей.

Численность фитопланктона прудов сильно различалась и зависела от степени развития цианопрокариот. Максимальной численности они достигали в прудах Нижнем и Летнем, их наименьшее развитие наблюдалось в Зимнем и Поплавке. В пруду Поплавок, в целом, выявлена наименьшая численность фитопланктона, вероятно, связанная с обилием погруженных макрофитов, оказывающих влияние на численность, биомассу и видовой состав фитопланктона. Многими исследователями отмечена роль макрофитов в предотвращении развития цианопрокариот [10]. Количественное развитие фитопланктона, выражаемое его биомассой, характеризуется более выравненными значениями между рассматриваемыми акваэкосистемами. Биомасса фитопланктона Верхнего, Нижнего и Лесного в среднем составляла 30-34 мг/л, в Поплавке была несколько выше – 47 мг/л, наименьшие значения наблюдались в Летнем и Зимнем. Несмотря на схожие значения, доминирующие виды и отделы отличались во всех водоемах. В Верхнем основной вклад в биомассу вносили представители зеленых и криптофитовых водорослей, в Нижнем – диатомовые, Летнем – цианопрокариоты. В Зимнем основную массу давали зеленые и эвгленовые, в Поплавке наблюдалось доминирование динофлагеллят, а в Лесном – десмидиевых.

Пять изученных прудов по биомассе фитопланктона в летний период имеют неудовлетворительное экологическое состояние, и только биомасса в Летнем соответствует категории «удовлетворительное». Согласно результатам, полученным после расчета индекса трофности по биомассе, все водоемы соответствуют эвтрофному типу, по прозрачности экологическое состояние некоторых водоемов (в частности, Нижнего и Летнего) получило более низкую оценку. В обоих водоемах наблюдалось массовое развитие мелкоклеточных цианопрокариот, которые благодаря высокой численности могли снижать оптические свойства воды этих прудов, но при этом не сильно увеличивать биомассу.

Работа выполнена в рамках инициативной НИР 01-44-002.2 «Изучение экологического состояния городских прудов Калининграда».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. – Москва: Наука, 1975. – 240 с.

2. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / под ред. В. А. Абакумова. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1983. – 318 с.

3. Дмитриева О. А. Исследование закономерностей пространственно-временных изменений структурных и количественных показателей фитопланктона в различных районах Балтийского моря дис. … канд. биол. наук – Калининград, 2017. – 309 с.

4. Теоретические вопросы классификации озер / Ред. Н. П. Смирнова, А. Г. Исаченко, И. Н. Андроникова. СПб.: Наука, 1993. – 192 с.

5. Carlson R. E. A trophic state index for lakes 1 //Limnology and oceanography. – 1977. – V. 22. – №. 2. – P. 361-369.

6. Рябцева Е. А., Цупикова Н. А. Пространственное распределение гидрохимических показателей в Верхнем пруду города Калининграда //Известия КГТУ. – 2019. – №. 54. – С. 61-74.

7. Цупикова Н. А., Бугранова О. С. Влияние самоочищения на качество воды в системе прудов Верхний-Нижний (г. Калининград) летом 2015 г. //Национальная (всероссийская) научно-практическая конференция «Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое

и техническое использование». – ФГБОУ ВО «Камчатский государственный технический университет», 2018. – №. IX. – С. 95-98.

8. Гидрохимические условия прудов Летнего и Зимнего (Калининград) летом 2021 года / Севостьянова Е. А, Меньшенин А. С., Цупикова Н. А. // Водные биоресурсы и аквакультура Юга России: материалы III Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных / ответственный редактор Г. А. Москул; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Кубанский государственный университет. – Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2022. – С.102-105.

9. Неверова-Дзиопак, Е. Оценка трофического состояния поверхностных вод: монография / Е. Неверова-Дзиопак, Л. И. Цветкова; СПбГАСУ. – СПб., 2020. – 176 с.

10. Халиуллина Л. Ю., Яковлев В. А. Фитопланктон мелководий в верховьях Куйбышевского водохранилища. – Казань: Изд-во Академии наук РТ, 2015. – 171 с.

PHYTOPLANKTON AS AN INDICATOR OF THE ECOLOGICAL STATE OF KALININGRAD URBAN RESERVOIRS

[1]Sevostianova Ekaterina Aleksandrovna, specialist in educational and methodological work of the Department of water bioresourses and aquaculture
[2]Tsupikova N.A., PhD in Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor of the Department of water bioresourses and aquaculture
[3]Suetina Olesya Sergeevna, Lead Engineer of the Department of water bioresourses and aquaculture

[1]Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,
e-mail: [1]ekaterina.lozitskaya@klgtu.ru; tsoupikova@klgtu.ru; olesya.bugranova@klgtu.ru

The work presents the results of the summer survey on six urban reservoirs in Kaliningrad in 2021. Based on laboratory identification, the abundance of species, taxonomic composition, and quantitative development of phytoplankton were characterized at the time of survey. The data obtained were used to assess the ecological state of the ponds and calculate the trophic index. In terms of numbers, cyanoprokaryotes dominate in the most water bodies, exceeding the total number of other detected algal groups. The biomass values in all ponds were quite high, which allows to characterize their ecological condition as predominantly bad. The trophic index value corresponded to the eutrophic level.

УДК 504.43; 504.422

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СУБМАРИННОЙ РАЗГРУЗКИ И ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИКА В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ

[1]Якимова Екатерина Анатольевна, аспирант
[2]Михневич Галина Сергеевна, канд. геогр. наук, доцент Высшей школы живых систем

[1,2]Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия,
e-mail: [1]EAYakimova1@gmail.com; [2]GMikhnevich@kantiana.ru

Детальное исследование субмаринной разгрузки представляет большой интерес по причине переноса подземными водами антропогенных и природных веществ и примесей. Целью работы является раскрытие понятия субмаринной разгрузки подземных вод, описание методов поиска подземных источников в море, характеристика субмаринной разгрузки в Балтийском море. В ходе исследования выяснено, что субмаринная разгрузка Балтийского моря, обнаруженная на данный момент времени, характеризуется значительными объемами и может негативно воздействовать на акваторию.

Введение

Очаг субмаринной разгрузки подземных вод (далее – СРПВ) – это проявления подземных вод, выходящих из отдельных открытых трещин, расположенных на оголенных коренных породах, как на дне карстовых полостей, так и на стенках коренных пород. СРПВ представляет собой поток подземных вод протяженностью от метров до километров, формирующийся в водоносных массивах пород береговой зоны и направляющийся до морского дна, минуя иные воды объекты (рис. 1).

Рис. 1. Общая схема разгрузки подземных вод в море

Скорость разгрузки в развитых водоносных системах артезианских структур (с прямо пропорциональными гидростатическим и динамическим напором) зависит от пьезометрического напора, который обуславливается разностью между зоной питания (водоносными массивами пород береговой зоны) и очагом выхода СРПВ. Области питания подземных вод чаще всего имеют возвышенный характер рельефа. Таким образом, чем больше высота местности области питания и ниже источник субмаринной разгрузки, тем выше интенсивность потока вод в нем. Гидравлической напор не обязательно затухает на побережье, он может продолжаться в море, перемещая воду в затопленную часть водоносного горизонта [1, 2].

Зачастую сток всех водоносных подземных систем ориентирован в сторону моря. Так, СРПВ по видам проявления делится на:

1. Субмаринного очага, приуроченного к водоносным горизонтам типа трещинно-карстовых вод и трещинно-жильных (зона активного водообмена).

2. Рассредоточенную разгрузку, то есть переходящую из перекрывающих горизонтов порово-пластовых вод современных отложений моря (зона замедленного водообмена) [3].

Начало изучения явления субмаринной разгрузки в России пришлось на 70-ые гг. XX в., когда на конференциях и совещаниях ученых-гидрогеологов стали активно обсуждаться задачи и проблемы морской гидрогеологии. Так, например, в 1984 году на XXVII Геологическом конгрессе в Москве на повестку был вынесен вопрос о роли функционирования шельфовых зон в природном гидрологическом цикле. Выяснилось, что шельфовые зоны являются источниками аномалий в гидрогеохимической системе «вода-дно», а главная проблема исследования явления – изучение водообмена систем суши и моря [4, 5, 6].

При изучении СРПВ исследователю необходимо:

1) определить происхождение выходящих подземных вод;

2) выяснить интенсивность выхода подземных вод через дизъюнктивные (разрывные) деформации;

3) провести гидрохимический и гидробиологический мониторинг и исследование экологических последствий, оказываемых СРПВ на морскую среду [6].

1. Методы обнаружения и расчета величины субмаринной разгрузки подземных вод

1.1. Методы обнаружения субмаринной разгрузки подземных вод

Источники субмаринной разгрузки подземных вод в ранее проведенных исследованиях чаще всего выявлялись по аномалиям, обнаруженным на графиках вертикального распределения: солености, водородного показателя, показателя окислительно-восстановительного потенциала, соотношения гидрокарбонатов и растворенного в воде углекислого газа. Наличие повышения с глубиной концентраций метана и сероводорода также может указывать на субмаринную разгрузку.

Для индикации СРПВ может использоваться и радиоизотопный метод, так как подземные воды, как и воды континентального шельфа, в отличие от морских содержат большее количество изотопов радия.

Поскольку грунтовые воды, как правило, имеют среднегодовую температуру воздуха, то аномалии более низких температур в открытой воде летом и теплой воды зимой могут быть обнаружены с помощью инфракрасной аэрофотосъемки.

Ученые Института водных проблем Российской академии наук для поиска СРПВ на шельфах Балтийского (Литва) и Черного морей (Болгария, Абхазия) использовали специально изготовленный для этих целей пашущий зонд, тянущийся за судном. Зонд позволил провести комплексные профильные исследования давления электропроводности и температуры. Данный прибор применялся совместно с сейсмоакустическим профилографом. Несмотря на достигнутые результаты пашущий зонд не считается эффективным при условии, если источники имеют слабый напор субмаринной разгрузки, так как перепады солености и температуры не будут заметны. Источники данного типа невозможно обнаружить измерениями показателей в придонном слое, так как область разделения вод (зона дисперсии) находится ниже уровня дна. В данном случае рекомендуется исследовать содержание поровых вод [7].

Для описания механизма субмариной разгрузки и ее величины рекомендуется использование совокупности методов морских гидрогеологических исследований, целью которых являются объекты глубоководной шельфовой (донные отложения, выходящие газы, поровые воды и придонные воды) и прибрежной (весь морской профиль от поверхности до дна, водная толща на всем протяжении воздействия СРПВ) зон.

1.2. Методы расчета величины СРПВ

Первые попытки определения количественных показателей субмаринной разгрузки пришлись на вторую половину XX века, результаты отражены в работах Уиста (1969 г.) и Короткова (1980 г.) [8, 9].

Примерно в это же время были разработаны два варианта расчета перетекающей СРПВ.

Первый вариант основывается на мониторинге субаквальных условий, в которых перетекание происходит последовательно из нижележащих водоносных горизонтов в вышележащие; далее совместный вертикальный поток становится субмаринной разгрузкой подземных вод.

Второй вариант опирается на гидрогеодинамические показатели и материалы береговых наблюдений. Здесь проводится исследование гидрогеологических условий и геолого-структурных особенностей, выделяются водоносные горизонты, комплексы подводной части моря. По выбранным локациям картируются характеристики водопроводимости и гидроизопьезы (гидроизогипсы). Величина СРПВ определяется по уравнению Дарси по отдельным линиям тока.

Также при исследовании СРПВ перетеканием особое значение имеет разделение областей разгрузки шельфа и прибрежной зоны. Морскую часть разгрузки определяют гидродинамическое равновесие в системе созданной разгружающимися водами и гидростатический напор вод моря. Для определения морской границы существует методика Р. Джамалова, в соответствии с ней из данных о пьезометрических напорах в водоносных горизонтах по всем линиям тока определяются профили, по которым, в последствии, находится математическая зависимость функции [10, 11]. Затем все полученные зависимости аппроксимируются с учетом морфоструктурных особенностей дна моря, при этом они должны иметь минимальный отклик на случайные погрешности измерений, не выходить за рамки пьезометрического диапазона, а также не иметь экстремумов. Анализируя геолого-структурные свойства локации исследования строится карта пьезометрических поверхностей водоносного горизонта

моря, с помощью которой находят источники напорных СРПВ инфильтрационного типа. Ю. Г. Юровским считается, что для оценки СРПВ Балтийского моря был успешно применен расчетный гидрогеодинамический метод, использующийся, в основном, для внутренних морей и крупных водоемов [12].

Эффективным считается и метод комбинирования построенных гидрогеологических моделей субмаринной разгрузки подземных вод. Трудность данного метода заключается в сложности обоснования модельных построений СРПВ в реальных базах данных и проверки их в натурных условиях (схожесть должна составлять от 80% до 100%). Для выполнения подобных требований создан ряд программ для создания логико-информационных моделей и экомоделей шельфовых зон.

На данный момент нет четкого методического руководства и инструкций, однако существует монография Ю.Г. Юровского, которая была создана на основе обобщения всех известных подходов, использованных в процессе гидрогеологических исследований подземных вод шельфа ряда морей. Выбор методики или комплексов методов должен учитывать как совокупность природных факторов, так и материальные, логистические и человеческие ресурсы, задействованные в исследовании явления СРПВ [12].

2. Воздействия СРПВ на морскую экосистему

Подземные воды, разгружающиеся в море, могут вызывать разного рода загрязнения водной толщи, такие как: химическое (нефть, нефтепродукты, макрокомпоненты, пестициды, нитраты, тяжелые металлы и т.д.), радиоактивное, бактериальное и тепловое.

Одной из причин заражения подземных вод является инфильтрат отходов, складируемых на грунте, образованных в результате воздействия на окружающую среду отраслей сельского и коммунального хозяйств, промышленности, энергетики, транспорта и т.д. Токсичные вещества проникают в земную поверхность с поверхностным стоком, атмосферными осадками и сточными водами и разгружаются с подземным течением в море [13].

В геохимическом барьере «донные осадки-вода» проходит интенсивный переход элементов, в результате чего повышаются шансы вторичного загрязнения придонной толщи моря, где ведущая роль отведена подвижным формам элементов. Вещества 1-2 класса опасности, такие как кадмий, медь, свинец и цинк представляют особую угрозу, поскольку формы миграции этих элементов с большей вероятностью интегрируются из донных осадков в придонный водный слой, а затем поглотятся микроорганизмами, внедряясь в существующие трофические цепи.

Так, например, марганец, не являясь токсикантом, не только имеет широкий сорбционный потенциал, но и способен легко высвобождать другие элементы (свинец, медь и цинк) при преобразовании в растворимую форму. Таким образом, он косвенно форсирует техногенное загрязнение морской среды, возникшее в связи с поступлением подземных вод [14].

Группа ученых из Института морских исследований Испанского исследовательского совета (IIM-CSIC) в Виго (Галисия, Испания) в рамках проведенных изысканий в области изменения природной среды акватории Ирландии выяснила, что источники субмаринной разгрузки подземных вод могут и положительно влиять на морскую среду, поскольку обладают высокой способностью отфильтровывать загрязнители, например, пестициды [15].

Зафиксирован случай снижения концентраций некоторых тяжелых металлов и нефтепродуктов при гидротехнических работах в Лужской губе. Исследования показали, что эффект самоочищения мог быть вызван тем, что поверхностный слой донных осадков не включал в себя запаса контаминантов (при этом слой эоловых накоплений был мощным), а гидрологический режим затруднял деградацию окисленного слоя, в связи с чем миграция загрязняющих веществ на границе «дно-вода» была весьма слабой [14].

3. Воздействия СРПВ на акваторию Балтийского моря

Исследования, проводимые в акватории Балтийского моря, указывают на значимость изучения субмаринной разгрузки подземных вод, которая проявляется во влиянии на гидрологические, гидробиологические и гидрохимические режимы прибрежных морских районов. Разгрузка подземных вод в Балтийское море не только возможна, но и характеризуется значительными масштабами. Так, расчет И.С. Зекцера показал, что СРПВ Балтийского моря (без Скандинавского полуострова) равняется 13,8

км^3/год. При этом минеральные вещества, приносимые субмаринной разгрузкой, оцениваются в 4,2 млн. т/год (речной сток привносит в 100 раз больше) [16, 17]. Согласно исследованиям Р.В. Мокрика суммарный сток подземных вод из субмаринных очагов составляет около 460·млн м^3/год. Из зон рассредоточенной разгрузки в Балтийское море поступает в 13 раз меньше (около 20 млн м^3/год) [18].

Для упрощения изучения СРПВ Балтийское море условно поделено на субрегионы (суббасейны): Финский, Пуцкий, Гданьский, Эккернфёрдский заливы и акватория, прилегающая к Калининградскому полуострову.

Субмаринная разгрузка подземных вод в Финский залив характеризуется как рассредоточенная и привносит 1,3% от общего количества поступающей в залив воды и, по данным исследований, равняется 1,4 км^3/год. Ионный сток подземных вод залива оценивается в 686 тыс. т/год. Вместе с подземными водами в акваторию поступает значительное количество поллютантов, к которым относятся вещества азотного цикла, железо, нефтепродукты, изотопы радона и радий [19].

В остальных субрегионах оценивались потоки биогенных элементов (фосфора и азота) и содержание тяжелых металлов в разгружающихся водах [20].

В залив Эккернфёрде по разным оценкам попадает от 0,04 до 0,4 км^3/год подземных вод, которые снабжают придонный слой растворенными газами и снижают его соленость до 2,9‰ [21].

Субмаринная разгрузка Пуцкого залива по данным исследований польских коллег составляет 0,03 км^3/год. Рассчитанная скорость разгрузки подземных вод выше, чем в иных субрегионах. СПРВ в данном субрегионе является источником поступления 5 тонн/год азота и 56 тонн/год фосфатов. Воды разгрузки загрязняют морскую экосистему марганцем, кадмием, хромом, кобальтом, свинцом и цинком [20, 22, 23].

Разгрузка подземных вод Гданьского залива больше и составляет – 0,07 км^3. Концентрации биогенных элементов ниже в Пуцком заливе. В глубоководной зоне Гданьского залива обнаружены зоны покмарков ST3-NGD, MET2-OPB, MET1-CGG. Исследования покмарка MET1-BH, включенного в систему MET1 (рис. 2), выявили аномалии в виде просачивания пресной воды и газов. Поровые воды, отобранные на глубине 0,15 м, отличаются повышением содержания биогенных элементов [24].

Рис. 2. Местоположение области покмарка MET1-BH [24]

Разгрузка подземных вод в зону Балтийского моря на границе с Калининградским полуостровом оценена в 0,015 км^3. В стоке превалирует аммонийная форма азота (12 т/год). Нитритов (1 т/год) и нитратов (0,1 т/год) в рассредоточенной разгрузке данного субрегиона значительно меньше, чем в покмарках Гданьского залива. Показатели железа и марганца могут составлять тонны в год, потоки тяжелых металлов варьируются в пределах десятков килограмм в год [25, 26].

Заключение

1. На данный момент не существует общего методического руководства для обнаружения подземных источников пресной воды в море, однако существуют труды с обзорами на подходы, использованные при гидрогеологических исследованиях подземных вод некоторых морей.

Выбор методики и методов исследования СРПВ должен учитывать, как совокупность природных факторов, так и материальные, логистические и человеческие ресурсы, которые научная группа собирается задействовать для нахождения и изучения уже выявленной аномалии. Для получения наиболее детальной картины исследуемого процесса автором рекомендуется совокупное применение следующих методов: лабораторные эксперименты, компьютерное моделирование и экологический мониторинг.

2. Субмаринные разгрузки подземных вод способны изменять морские экосистемы загрязняя и отравляя их. Характеризуя гидрохимический барьер «вода-донные отложения» можно отметить, что формирование структуры донных осадков и придонных вод в условиях субмаринной разгрузки представляет сложный процесс взаимодействия не только природных, но и антропогенных факторов, количественную роль которых весьма тяжело определить.

Стоит отметить, что вся гидрогеохимическая система в заданных условиях претерпевает глубокие преобразования, поскольку накопление токсичных элементов в донных осадках является источником вторичного загрязнения последних. В некоторых же случаях ликвидация зоны окисления донных осадков и увеличение скорости миграции в системе «вода-дно» может служить одним из сильных факторов самоочищения морской воды.

3. Дальнейшее изучение субмаринной разгрузки подземных вод Балтийского моря необходимо для анализа баланса поступающих в акваторию загрязняющих веществ. Наибольшее негативное влияние от разгружающихся вод оказывается на субрегионы со слабым водообменом (замкнутые и полузамкнутые). По имеющимся данным ионный сток субмаринной разгрузки подземных вод поставляет в Балтику около 1% азота и 21% фосфора от общего количества поступающих в море вод. Проведенное исследование отражает важность обнаружения, изучения и мониторинга разгружающихся вод для поддержания устойчивости морской экосистемы Балтийского моря.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Калининградской области в рамках проекта №19-45-390007 «Влияние субмаринной разгрузки подземных вод на формирование донных осадков в Гданьской впадине Балтийского моря».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Submarine groundwater discharge. Management implications, measurements and effects. Prepared for International Hydrological Program (IHP) Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) by Scientific Committee on Oceanic Research (SCOR) Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone (LOICZ). IHP-VI. Series on groundwater no. 5 IOC manuals and guides №44.

2. Морозов П.Н. Подземный сток и методы его определения [Текст]: (Конспект лекций) / П.Н. Морозов; Ленингр. гидрометеорол. ин-т. – Ленинград: ЛГМИ, 1975. – 60 с.

3. Юровский Ю. Г. Гидрогеологические исследования в прибрежной зоне моря при изучении субмаринной разгрузки подземных вод (временные методические рекомендации). МинГео УССР ИМР. – Симферополь, 1984а. – 81 с.

4. Антонов В. В., Коротков А. И., Павлов А. Н. Проблемы гидрогеологии шельфовых областей. //Тез. Доклада 27 геологического конгресса. – М., 1984. – 352 с.

5. Зекцер И. С., Джамалов Р. Г., Месхетели А. В. Проблемы морской гидрогеологии // Тез. Доклада 27 геологического конгресса, т. VII, секция 16. – М., 1984. – С. 544-545.

6. Юровский Ю. Г. Современные задачи изучения субмаринной разгрузки подземных вод // Тез доклада 27 геологического конгресса. – М., 1984б. – С. 388–389.

7. Месхетели А. В., Кузнецов Д. В. Морские гидрогеологические исследования и их аппаратурное обеспечение // Водные ресурсы. – 1984. – № 1. – С. 148-155.

8. Уист Дж. де. Гидрогеология с основами гидрологии суши. – М.: Мир, 1969. – 312 с.

9. Коротков А. И., Павлов А. Н., Юровский Ю. Г. Гидрогеология шельфовых областей. – л.: Недра, 1980. – 216 с.

10. Джамалов Р.Г. Подземный сток Терско-Кумского артезианского бассейна / Р. Г. Джамалов; Акад. наук СССР, Ин-т вод. проблем. – М.: Наука, 1973. – 95 с.

11. Джамалов Р. Г., Зекцер И. С., Семендяев Л. И. Выделение областей субмаринной разгрузки в морях. Водные ресурсы, № 2, 1976. – С. 101-109.

12. Юровский Ю. Г. Подземные воды шельфа. Задачи и методы изучения / Монография – Симферополь: ДИАЙПИ, 2013. – 260 с.

13. Белоусова А.П. / Экологическая гидрогеология / Белоусова А.П., Гавич И.К., Лисенков А.Б., Попов Е.В. / Учебник для вузов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. – С. 28-86.

14. Курилов, П.И. Оценка экологического состояния акваторий по формам нахождения тяжелых металлов в донных осадках / Курилов П.И., Круглякова Р.П. Савицкая Н.И. // Материалы XIX Международной научной конференции (Школы) по морской геологии / Том IV. Издательство ГЕОС, М.: 2011. – 310 с.

15. New research unearths importance of “subterranean estuaries” to sustainable fishing and aquaculture industry / Электрон. дан. Режим доступа URL: https://www.tcd.ie/news_events/articles/new-research-unearths-importance-of-subterranean-estuaries-to-sustainable-fishing-and-aquaculture-industry/ (дата обращения: 22.08.2022 г).

16. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности / под ред. Терзиева Ф.С. – СПб: Гидрометеоиздат, 1992. – Т. III. Балтийское море. – Вып. 2. – 434 с.

17. Зекцер И.С. Подземные воды как компонент окружающей среды. - М.: Научный мир, 2001. – С. 310-325.

18. Мокрик Р.В. Гидрогеология побережья Советской Прибалтики (районирование, формирование подземных вод, подземный водообмен суши и моря): автореф. дис. д-ра геол.-минерал. наук. М., 1990.

19. Воронов А.Н., Вивенцова Е.А. Характеристика подземного стока в Финский залив / Водные ресурсы. – 2004. – Т. 31. – №6. – С. 651-660.

20. Szymczycha B., Klostowska Z., Lengier M., Dzierzbicka-Glowacka L. Signicance of nutrient fluxes via submarine groundwater discharge in the Bay of Puck, southern Baltic Sea // Oceanologia. – 2020. –Vol. 62. – p. 117-125.

21. Wever Th.F., Abegg F., Fiedler H.M., Fechner G., Stender I.H. Shallow gas in the muddy sediments of Eckernförde Bay, Germany // Cont. Shelf Res. – 1998. – Vol. 18. – pp. 1715-1739.

22. Szymczycha B., Susanna V., Pempkowiak J. Nutrient fluxes via submarine groundwater discharge to the Bay of Puck, southern Baltic Sea//Science of the Total Environment. -2012.-Vol. 438.-pp. 86-93.

23. Szymczycha B., Miotk M., Pempkowiak J. Submarine Groundwater Discharge as a Source of Mercury in the Bay of Puck, the Southern Baltic Sea//Water Air Soil Pollut. – 2013. – № 224. p.1542.

24. Idczak J. et al. A geophysical, geochemical and microbiological study of a newly dis-covered pockmark with active gas seepage and submarine groundwater discharge (MET1-BH, central Gulf of Gdansk, southern Baltic Sea) // Science of the Total Environment. – 2020. – №742:140306.

25. Михневич Г.С., Кречик В.А., Крек А.В., Данченков А.Р. Роль субмаринной разгрузки подземных вод в формировании морских экосистем юго-восточной Балтики // Проблемы регионального развития в начале XXI века. Материалы международной научной конференции. – Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта. – 2019. С. 244-252.

26. Михневич Г.С., Кречик В.А., Крек А.В., Данченков А.Р. Влияние субмаринной разгрузки подземных вод на формирование морских экосистем // География: развитие науки и образования. Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции LXXIV Герценовские чтения, Санкт-Петербург, РГПУ им. А.И. Герцена, 21-23 апреля 2021 года / Отв. Ред. С.И. Богданов, Д.А. Субетто, А.Н. Паранина. – СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2021. – Том I. – С. 138-142.

DEFINITION OF SUBMARINE GROUNDWATER DISCHARGE AND ITS CHARACTERISTICS IN THE BALTIC SEA

[1]Yakimova Ekaterina Anatolyevna, PhD student
[2]Mikhnevich Galina Sergeevna, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Ocean Geography

[1,2]Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia,
e-mail: [1]EAYakimova1@gmail.com; [2]GMikhnevich@kantiana.ru

A detailed study of the submarine discharge of groundwater is of great interest because of its transfer of anthropogenic and natural substances and impurities. The purpose of the work is to reveal the concept of submarine discharge of groundwater, description of methods for searching for underground sources in the sea, characteristics of submarine discharge in the Baltic Sea. During the study, it was found that the unloading of submarines of the Baltic Sea currently detected is characterized by significant volumes and can negatively affect the water area.