

АКВАКУЛЬТУРА

УДК:597.2/.5:574.57:576.32

DOI <https://doi.org/10.32851/wba.2021.1.5>

МОНІТОРИНГ ВМІСТУ ГЛІКОГЕНУ ХИЖИХ ВИДІВ РИБ НА ЮВЕНАЛЬНІЙ СТАДІЇ РОЗВИТКУ ЗА ЗМІНИ ТЕМПЕРАТУРНОГО ТА КИСНЕВОГО РЕЖИМУ ВОДОЙМИ

¹Гриневич Н.Є. – д.вет.н., професор,

²Водяніцький О.М. – к.б.н.,

¹Хом'як О.А. – к.с.-г.н., доцент,

³Світельський М.М. – к.с.-г.н., доцент,

¹Жарчинська В.С. – асистент

¹Білоцерківський національний аграрний університет,

²Інститут гідробіології Національної академії аграрних наук України,

³Житомирський національний агроекологічний університет

ihziozoolog@ukr.net

Дослідження впливу зміненого температурного режиму водойми на життєдіяльність риб почались у зв'язку з тепловим забрудненням води, викликаним роботою енергетичних об'єктів. В багатьох річках температура води збільшилась на 4–5°C, що суттєво змінило умови існування риб. Як і інші пойкилотермні тварини риби, істотно залежать від температури навколишнього середовища. Саме температура в значній мірі регулює інтенсивність обміну речовин, темпи розвитку риб. В межах певного діапазону часто спостерігається пряма залежність між швидкістю розвитку ембріонів та зміною температури. Здатність риб жити в певному температурному інтервалі є еволюційно сформованою адаптацією до температурного режиму оточуючого середовища тої або іншої групи риб. Проте, поряд з адаптацією до певних термічних умов окремої водойми, особливо важливе значення має їх здатність протидіяти різким короточасним або тривалим змінам температури. Енергетичне забезпечення механізмів адаптації у риб відбувається з використанням та утилізацією трьох типів енергоємних сполук: ліпідів, білку та глікогену.

На підставі отриманих даних можна стверджувати, що на ембріональних стадіях розвитку йоржа оптимальні температури води знаходяться в нижчих межах, ніж на постембріональних. Оскільки, ембріогенез окуня відбувався ранньою весною, коли температура на природних нерестовищах не коливається в широкому діапазоні, тому не було помічено різких коливань рівня білків. За нашими даними можна вважати оптимальною температурою для ембріонального розвитку окуня на рівні 9–11°C. Ембріони та передличинки цього виду швидко реагують на зміну умов оточуючого середовища, зменшуючи синтез нових білків при підвищенні

температури, навіть при незначному на $0,4-1,0^{\circ}\text{C}$, незважаючи на оптимальну насиченість води киснем. За вмістом глікогену в його ембріонах та передличинках для оптимальною температурою розвитку є $9-14^{\circ}\text{C}$, але з її підвищенням до $16-18^{\circ}\text{C}$ цей вид риб добре пристосовується на личинкових стадіях розвитку.

Таким чином, для нормального ембріонального розвитку плітки оптимальними температурами є $14-16^{\circ}\text{C}$, на постембріональних стадіях – $20-21^{\circ}\text{C}$.

Ключові слова: глікоген, температура води, риба, ембріональний розвиток, кисневий режим, метаболізм.

Постановка проблеми. Дослідження впливу зміненого температурного режиму водойми на життєдіяльність риб почались у зв'язку з тепловим забрудненням води, викликаним роботою енергетичних об'єктів. В багатьох річках температура води збільшилась на $4-5^{\circ}\text{C}$, що суттєво змінило умови існування риб. Аналогічно діють зміни клімату, які спостерігаються останнім часом [1–3; 17].

Як і інші пойкилотермні тварини риби, істотно залежать від температури навколишнього середовища. У більшості риб температура тіла всього на $0,5-1,0^{\circ}\text{C}$ відрізняється від температури води [4–6]. Саме температура в значній мірі регулює інтенсивність обміну речовин, темпи розвитку риб. В межах певного діапазону часто спостерігається пряма залежність між швидкістю розвитку ембріонів та зміною температури. Поряд з пристосованістю риб до певних величин температури, досить велике значення має і амплітуда її коливань, при якій можуть жити одні й ті ж види [7–11].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасних літературних джерелах вказано, що низка абіотичних чинників має ембріотоксичну дію, яка проявляється в уповільненні ембріогенезу риб, появою аномальних зародків, зниженні темпів росту та швидкості витрати жовткових мас, зміні інтенсивності газообміну та кровотворення, виникненні патології в органах та тканинах [12–17].

Здатність риб жити в певному температурному інтервалі є еволюційно сформованою адаптацією до температурного режиму оточуючого середовища тої або іншої групи риб. Проте, поряд з адаптацією до певних термічних умов окремої водойми, особливо важливе значення має їх здатність протидіяти різким короткочасним або тривалим змінам температури [2; 3]. У зв'язку з цим проводяться експериментальні дослідження стійкості риб до високих та низьких (граничних) температур, а також аклімації риб до підвищених або знижених температур [7–10].

Енергетичне забезпечення механізмів адаптації у риб відбувається з використанням та утилізацією трьох типів енергоємних сполук: ліпідів, білку та глікогену. На відміну від більшості хребетних тварин у переважній більшості видів риб наявне широкое використання катаболізму білків білих м'язів у стресових чи несприятливих обставинах як основного дже-

рела енергії та відповідно ресинтез та відновлення білкових ресурсів при нормалізації умов існування [18].

До числа можливих причин і механізмів загибелі риб від високих температур відносять трансформаційні зміни структури мембран, денатурацію білків і їх коагуляцію в результаті нагрівання, термічну інактивацію ферментів, недостатністю кисню, а також відмінністю в температурному коефіцієнті (Q_{10}) для взаємопов'язаних метаболічних реакцій і порушення водно-сольового балансу у риб. У той же час, фізіолого-біохімічні явища та процеси, які протікають безпосередньо в зоні сублетальних величин температур, зазвичай вище 30°C, на межі життєдіяльності гідробіонтів. Але ці питання багато в чому залишаються ще маловивченими [16; 18].

Збільшене навантаження на орган призводить до мобілізації енергетичних і структурних ресурсів організму, їх перерозподілу в бік забезпечення систем, відповідальних за адаптацію до цього чинника. Зростає рівень функціонування певних клітин, які забезпечують терміновий етап компенсаторної адаптації, причому тільки тих, які є найважливішими для виживання в цих умовах. Метаболічний регулятор енергетичних ресурсів бере участь не тільки в забезпеченні термінової адаптації, а й приводить в дію інший, більш складний контур регуляції: включаються нейрогуморальна, імунологічна, метаболічна регуляторні системи організму. Вони контролюють активність генетичного апарату клітини – визначають швидкість синтезу нуклеїнових кислот і білків, необхідних для подолання стресової ситуації. Ця реакція не тільки передуює довготермінової адаптації, а й відіграє важливу роль в її формуванні. Організм набуває додаткових можливостей, які дозволяють йому отримувати максимальну користь з навколишнього середовища [15; 16]. Але основні регулятивні системи підтримки гомеостазу на ранніх етапах розвитку риб ще не діють.

Метою досліджень було встановлення впливу абіотичних чинників водного середовища та їх природних коливань на ранні етапи ембріонального розвитку риб, та оцінка ступеню їх дії за біохімічними показниками.

Матеріал і методи досліджень. Дослідження проводили на Білоцерківській експериментальній гідробіологічній станції Інституту гідробіології НАН України. Біологічним матеріалом досліджень були ікра, ембріони та личинки окуня річкового (*Perca fluviatilis* L.), плітки (*Rutilus rutilus* L.), йоржа звичайного (*Gymnocephalus cernuus* L.). Саме ці види риб є представниками місцевої іхтіофауни.

Нами було відібрано три водойми (ставки), які через особливості свого розташування та ступеню затінення відрізнялися за температурними умовами, а завдяки цьому і кисневим режимом. Це особливо важливо оскільки через кліматичні зміни саме ці показники будуть найбільш

мінливі. Температуру води вимірювали ртутним термометром протягом доби о 4, 12 та 20 год. і по мірі проходження ембріональних стадій розвитку піддослідних риб. Вміст розчиненого кисню вимірювали о четвертій годині ранку методом Вінклера. Всі дослідні водойми наповнювалися водою з р. Рось, яка характеризувалась наступними гідрохімічними показниками (табл. 1).

Таблиця 1. Гідрохімічні показники води дослідних водойм

Величина	Показник	Одиниці вимірювання
O ₂	8,4–9,7	мг/дм ³
pH	8,3	
твердість	6,1	мг-екв./дм ³
Ca ₂ ⁺	3,3	мг-екв./дм ³
Mg ₂ ⁺	2,8	мг-екв./дм ³
Cl ⁻	0,85	мг-екв./дм ³
NH ₄ ⁺	0,277	мг N/дм ³
NO ₂ ⁻	0,006	мг N/дм ³
NO ₃ ⁻	0,080	мг N/дм ³
PO ₄ ⁻	0,062	мг P/дм ³
ПО	8,0	мг O/дм ³
БО	18,48	мг O/дм ³

Дослідження проводили протягом квітня-травня, в той час коли відбувається нерест окуня, плітки, коропа та йоржа у природних водоймах. Запліднену ікру піддослідних видів риб розміщували в сітчасті контейнери ($S_{\text{конт.}} = 169 \text{ см}^2$) у водоймі. Ікру всіх видів риб відбирали від трьох різних самок і в трьох повторностях розміщували в водоймах. Середня кількість ікринок в кожному сітчастому контейнері досягала 100–150 ікринок. По досягненню ікрою певних стадій розвитку – кінець гастрюляції, очні бокали, пігментації її відбирали та заморожували в морозильній камері при -18°C . Після закінчення нересту риб зібрані проби пакували в портативну морозильну сумку оснащену холододовими елементами та транспортували в лабораторію для подальших біохімічних досліджень.

Вміст глікогену (мг/г) визначали – за допомогою антронового реагенту, вміст загальних білків (мг/г) – по Лоурі. Отримані дані оброблені статистично за допомогою програми Statistica 5.5, Epa probit analysis program used for calculating LC/EC values (Version 1.5).

Результати досліджень та їх обговорення. Для окуня на початкових стадіях ембріонального розвитку (кінець гастрюляції) з підвищенням температури оточуючого середовища рівень глікогену поступово знижувався (рис. 1).

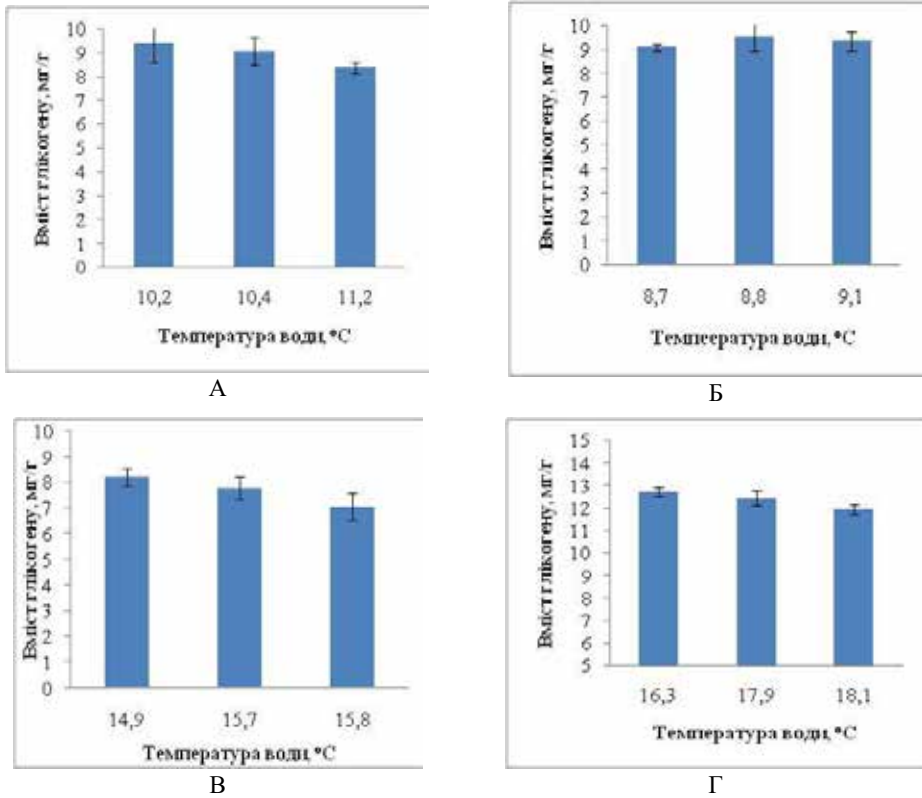


Рис. 1. Вміст глікогену в ембріонах та передличинках окуня на стадіях кінець гастрულляції (А), очні бокали (Б), пігментації очей (В) та передличинки (Г) за дії зростання температури води, $M \pm m$, $n=6$

Максимальна його кількість зафіксована при 10,2°C і становила – 9,38 мг/г, а мінімум був на 10,6 % менше (8,38 мг/г) при 11,2°C.

На наступній стадії розвитку (очні бокали) спостерігалось загальне зниження температури води у дослідних водоймах на 1,5–2,0°C. Саме тому вміст глікогену в ембріонах окуня з різних водойм поступово вирівнювався до 9,09–9,37 мг/г, при цьому діапазон температур був не значним – 8,7–9,1°C. На стадії пігментації очей помітно зросла температура води до 14,9–15,8°C, а по мірі її підвищення рівень глікогену в личинках знижувався. Це свідчить про те, що для розвитку окуня оптимальними температурами є її величина в нижній частині дослідженого діапазону. Максимум вмісту глікогену відмічено при 14,9°C (8,21 мг/г), а мінімум (7,06 мг/г) при 15,8°C, що на 14 % менше.

Таким чином, за вмістом глікогену в ембріонах та передличинках окуня для їх розвитку можна стверджувати, що оптимальною температу-

рою є 9–14°C, але з її підвищенням до 16–18°C цей вид риб добре пристосовувався особливо на личинкових стадіях розвитку.

Плітка. Для цього виду риб на ранніх стадіях розвитку (кінець гастрюляції) спостерігалася зворотня залежність між температурою води та рівнем глікогену в зародках (рис. 2). Його максимум було зафіксовано при 16,9°C (13,93 мг/г), а мінімум, який на 15,6 % менше, при 18,5°C. Це вказує на те, що для ембріонів плітки на цій стадії кращою з досліджуваних температур для розвитку є 16,9°C. Саме за цих умов організм більш економно використовував енергетичні запаси та встигав їх поновлювати.

Подібну ж закономірність відмічено на наступному етапі розвитку (очні бокали). Максимальна кількість глікогену в ембріонах відмічена при 15°C та становила 10,48 мг/г. З підвищенням температури води всього на 1,2°C (до 16,2°C) рівень глікогену знизився на 42 % до 6,08 мг/г. Мінімум глікогену було зафіксовано при 16,9°C, що на 47 % менше порівняно з максимальним. Це вказує на те, що для ембріонального розвитку плітки температурний оптимум знаходиться нижче за 16,0°C, що відповідає кліматичній нормі під час природного нересту плітки. Це підтверджується і даними за вмістом глікогену на наступній стадії розвитку. Таким чином, результати власних досліджень чітко вказують на те, що оптимальний діапазон температури для ембріонального розвитку плітки є 14–16°C.

Проте за даними по вмісту глікогену вже після вилуплення для передличинок діапазон оптимальних температур збільшується (рис. 2).

Таким чином, для нормального ембріонального розвитку плітки оптимальними температурами є 14–16°C, на постембріональних стадіях – 20–21°C.

Йорж. Під час ембріонального розвитку йоржа на ранніх стадіях розвитку (кінець гастрюляції) в піддослідних водоймах температура води коливалася від 13,6 до 14,5°C. Саме тому не помічено значних змін вмісту глікогену в ікрі (рис. 3). Наступна стадія розвитку (очні бокали) проходила при більш широкому діапазоні температури 16,3–18,8°C. Тому помітна тенденція збільшення вмісту глікогену з ростом температури води, що свідчить про пристосованість ембріонів йоржа до широких її меж. Максимальна його кількість була зафіксована при температурі 18,8°C (12,42 мг/г), а мінімальна при 16,3°C (11,23 мг/г), яка була меншою на 9,6 %.

На стадії передличинки зберігається тенденція, коли зі збільшенням температури води вміст глікогену зростає. Максимальний його рівень відмічено при 21,3°C (20,67 мг/г), а мінімальний при 19,4°C (18,95 мг/г), що на 6,1 % менший.

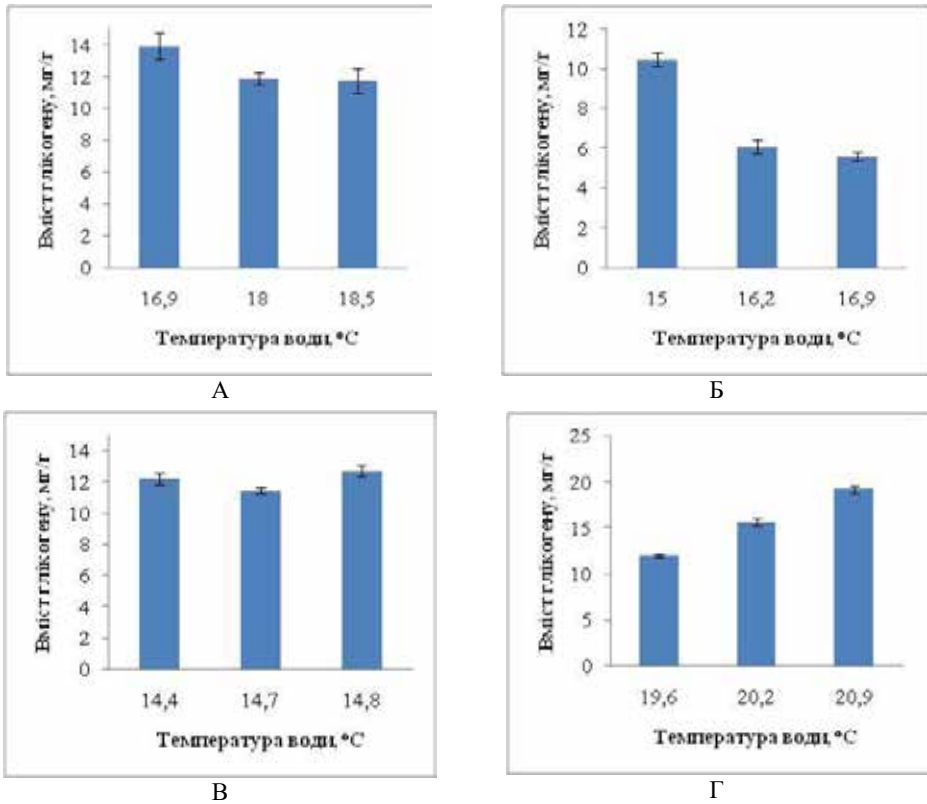


Рис. 2. Вміст глікогену в ембріонах та передличинках плітки на стадіях кінць гаструлляції (А), очні бокали (Б), пігментації очей (В) та передличинки (Г) за дії зростання температури води, $M \pm m$, $n=6$

Висновки з дослідження та перспективи подальшого розвитку в цьому напрямі. На підставі отриманих даних можна стверджувати, що на ембріональних стадіях розвитку йоржа оптимальні температури води знаходяться в нижчих межах, ніж на постембріональних.

Оскільки, ембріогенез окуня відбувався раною весною, коли температура на природніх нерестовищах не коливається в широкому діапазоні, тому не було помічено різких коливань рівня білків. За нашими даними можна вважати оптимальною температурою для ембріонального розвитку окуня на рівні 9–11°C. Ембріони та передличинки цього виду швидко реагують на зміну умов оточуючого середовища, зменшуючи синтез нових білків при підвищенні температури, навіть при незначному на 0,4–1,0°C, незважаючи на оптимальну насиченість води киснем. За вмістом глікогену в його ембріонах та передличинках для оптимальною температурою роз-

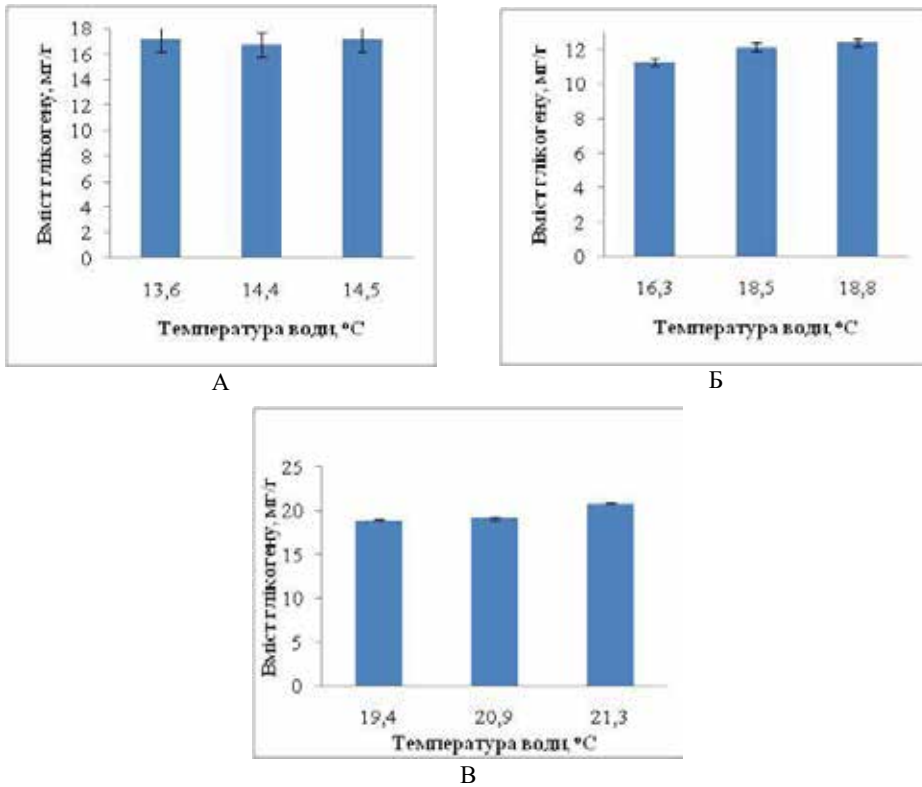


Рис. 3. Вміст глікогену в ембріонах та передличинках йоржа на стадіях кінець гастрюляції (А), очні бокали (Б) та передличинки (В) за дії зростання температури води, $M \pm m$, $n=6$

витку є 9–14°C, але з її підвищенням до 16–18°C цей вид риби добре пристосовується на личинкових стадіях розвитку.

Таким чином, для нормального ембріонального розвитку плітки оптимальними температурами є 14–16°C, на постембріональних стадіях – 20–21°C.

За біохімічними показниками зародків та передличинок риби встановлено межі оптимального температурного режиму для проходження ембріонального розвитку риби, а саме: для йоржа – 14–16°C, окуня – 9–12°C, плітки – 15–17°C при концентрації кисню вище за 5,0 мг/дм³.

MONITORING OF GLYCOGEN CONTENT OF PREDATORY FISH SPECIES AT THE JUVENILE STAGE OF DEVELOPMENT DUE TO CHANGES IN THE TEMPERATURE AND OXYGEN REGIME OF THE RESERVOIR

¹*Grynevych N.E. – Doctor of Veterinary Sciences, Professor,*

²*Vodianitskyi O.M. – Candidate of Biology Sciences,*

¹*Khomiak O.A. – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor,*

³*Svitelskyi M.M. – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor,*

¹*Zharchynska V.S. – Assistant,*

¹*Bila Tserkva National Agrarian University,*

²*Institute of Hydrobiology of National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine,*

³*Zhytomyr National Agroecological University,*

ihzioolog@ukr.net

Studies of the impact of the changed temperature regime of the reservoir on the life of fish began in connection with the thermal pollution of water caused by the operation of energy facilities. In many rivers, the water temperature increased by 4–5°C, which significantly changed the living conditions of fish. Like other poikilothermic animals, fish are significantly dependent on ambient temperature. It is the temperature that largely regulates the intensity of metabolism, the rate of development of fish. Within a certain range, there is often a direct relationship between the rate of embryo development and temperature change. The ability of fish to live in a certain temperature range is an evolutionarily formed adaptation to the temperature regime of the environment of a particular group of fish. However, along with adaptation to certain thermal conditions of a separate reservoir, their ability to counteract sharp short-term or long-term changes of temperature is especially important. Energy supply of adaptation mechanisms in fish occurs with the use and utilization of three types of energy-intensive compounds: lipids, protein and glycogen.

Based on the obtained data, it can be argued that in the embryonic stages of ruff development, the optimal water temperatures are in the lower range than in the postembryonic. Because perch embryogenesis occurred in early spring, when temperatures in natural spawning grounds did not fluctuate widely, no sharp fluctuations in protein levels were observed. According to our data, the optimal temperature for embryonic development of perch can be considered at the level of 9–11°C. Embryos and pre-larvae of this species respond quickly to changes in environmental conditions, reducing the synthesis of new proteins with increasing temperature, even at insignificant by 0.4–1.0°C, despite the optimal oxygen saturation of water. The content of glycogen in its embryos and pre-larvae for the optimal temperature of development is 9–14°C, but with its increase to 16–18°C, this species of fish adapts well to the larval stages of development.

Thus, for normal embryonic development of gossip, the optimal temperatures are 14–16°C, in the post-embryonic stages – 20–21°C.

Keywords: glycogen, water temperature, fish, embryonic development, oxygen regime, metabolism.

ЛІТЕРАТУРА

1. Вербицкий В.Б. Понятие экологического оптимума и его определение у пресноводных пойкилотермных животных. *Журнал общей биологии*. 2008. Т. 69, № 1. С. 44–56.
2. Водяницький О.М., Гриневич Н.С., Хом'як О.А., Присяжнюк Н.М. Вплив фізичних показників води на кількість мікроядер у клітинах ембріонів хижих видів риби. *Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва: збірник наукових праць*. Біла Церква, 2020. Вип. 1 (156). С. 142-149. doi.org/10.33245/2310-9270-2020-157-1-142-149.
3. Детлаф Т.А. Температурно-временные закономерности развития пойкилотермных животных. Москва, 2001. 211 с.
4. Капшай Д.С. Оценка оптимальных и сублетальных температур у молоди различных видов рыб. *Современные проблемы и перспективы рыбохозяйственного комплекса: Мат. второй научно-практич. конф. молодых ученых*. Москва, 2011. С. 274–280.
5. Немова Н.Н., Высоцкая Р.У. Биохимическая индикация состояния рыбы. Москва, 2004. 215 с.
6. Романенко В.Д. Основы гидробиологии. Киев, 2004. 664 с.
7. Carter K. (2008). Effects of Temperature, Dissolved Oxygen, Total Dissolved Gas, Ammonia, and pH on Salmonids. *Implications for California's North Coast TMDLs*, July, 53 p.
8. Meer D.L., Thillart G.E., Witte F. [et al.] (2005). Gene expression profiling of the long-term adaptive response to hypoxia in the gills of adult zebrafish. *Am. J. Physiol*, Vol. 289, pp. 1512–1519.
9. Gracey A.Y., Troll J.V., Somero G.N. (2001). Hypoxia-induced gene expression profiling in the euryoxic fish *Gillichthys mirabilis*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, Vol. 98, pp. 1993–1998.
10. Hochachka P.W., Somero G.N. (2002). Biochemical Adaptation: Mechanism and Process in Physiological Evolution. *Oxford: Oxford University Press*, 356 p.
11. Hoppeler H. (2001). Muscle tissue adaptations to hypoxia. *Vogt Exp. Biol.*, Vol. 204, pp. 3133–3139.
12. Janauer G.A. (2012). Aquatic Vegetation in River Flood plains: Climate Change Effects, River Restoration and Eco-hydrology Aspects. *Climate Change. Inferences from Paleoclimate and Regional Aspects, New York: Springi*, pp. 149–156.
13. Korwin-Kossakowski I.M. (2008). The Influence of temperature during the embryonic period on larval growth and development in carp, *Cyprinus Carpio* L., and Grass Carp, *Ctenopharyngodon Idella* (Val.). *Theoretical and Practical Aspects Department of Pond Fisheries. Archives of Polish Fisheries*, Vol. 16, № 3, pp. 231–314.

14. Nilsson G.E., Renshaw G.M. (2004). Hypoxic survival strategies in two fishes: extreme anoxia tolerance in the North European crucian carp and natural hypoxic preconditioning in a coral-reef shark. *J. Exp. Biol.*, Vol. 207, pp. 3131–3139.
15. Roesner A., Hankeln T., Burmester T. (2006). Hypoxia induces a complex response of globin expression in zebrafish (*Danio rerio*). *J Exp Biol.*, Vol. 209 (Pt 11), pp. 2129–2137.
16. Varsamos S., Nebel C., Charmantier G. (2005). Ontogeny of osmoregulation in postembryonic fish. *Comp. Biochem. and Physiol. Part A: Molecular & Integrative Physiol*, Vol. 141, № 4, pp. 401–429.
17. Vodianitskyi, O., Potrokhov, O., Hrynevych, N., Khomiak, O., Khudiyash, Y., Prysiazhniuk, N., Rud, O., Sliusarenko, A., Zagoruy, L., Gutyj, B., Dushka, V., Maxym, V., Dadak, O., Liublin, V. (2020). Effect of reservoir temperature and oxygen conditions on the activity of Na-K pump in embryos and larvae of perch, roach, and ruffe. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10(2), 184-189.
18. Wen W., Xuxiong H., Qingkai C. [et al.] (2013). Temperature effects on early development and biochemical dynamics of a marine fish, *Inimicus japonicas*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, Vol. 442, pp. 22–29.

REFERENCES

1. Verbytskyi V.B. (2008). *Poniatye tkolohycheskoho optymuma i eho opredelenye u presnovodnykh poikylotermnykh zhyvotnykh* [The concept of ecological optimum and its definition in freshwater poikilothermic animals]. *Zhurnal obshchei byolohyy*, Vol. 69, no. 1, 44–56. [in Russian].
2. Vodianitskyi O.M., Hrynevych N.Je., Khomiak O.A., Prysiazhniuk N.M. (2020). *Vplyv fizychnykh pokaznykiv vody na kilnist mikroiaider u klitynakh embrioniv khyzhykh vydiv ryb* [Influence of physical parameters of water on the number of micronuclei in embryonic cells of predatory fish species]. *Tekhnolohiia vyrobnytstva i pererobky produktsii tvarynnystva: zbirnyk naukovykh prats*. Bila Tserkva, Vol. 1 (156), 142–149. doi.org/10.33245/2310-9270-2020-157-1-142-149. [in Ukrainian].
3. Detlaf T.A. (2001). *Temperaturno-vremennye zakonomernosti razvytyia poikylotermnykh zhyvotnykh* [Temperature-temporal patterns of development of poikilothermic animals]. Moscow. [in Russian].
4. Kapshai D.S. (2011). *Otsenka optimalnykh y subletalnykh temperatur u molodi razlychnykh vidov ryb* [Evaluation of optimal and sublethal temperatures in juveniles of various fish species]. *Sovremennye problemy y perspektivy rybokhoziaistvennoho kompleksa: Mat. vtoroi nauchno-praktych. konf. molodykh uchenykh*. Moscow, 274–280. [in Russian].

5. Nemova N.N., Vysotskaia R.U. (2004). *Biokhimycheskaia indykatsyia sostoianyia ryb* [Biochemical indication of the state of fish]. Moscow. [in Russian].
6. Romanenko V.D. (2004). *Osnovy hydrobyolohii* [Fundamentals of Hydrobiology]. Kyiv. [in Ukrainian].
7. Carter K. (2008). Effects of Temperature, Dissolved Oxygen, Total Dissolved Gas, Ammonia, and pH on Salmonids. *Implications for California's North Coast TMDLs*, July.
8. Meer D.L., Thillart G.E., Witte F. [et al.] (2005). Gene expression profiling of the long-term adaptive response to hypoxia in the gills of adult zebrafish. *Am. J. Physiol.*, Vol. 289, 1512–1519.
9. Gracey A.Y., Troll J.V., Somero G.N. (2001). Hypoxia-induced gene expression profiling in the euryoxic fish *Gillichthys mirabilis*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, Vol. 98, 1993–1998.
10. Hochachka P.W., Somero G.N. (2002). Biochemical Adaptation: Mechanism and Process in Physiological Evolution. *Oxford: Oxford University Press*.
11. Hoppeler H. (2001). Muscle tissue adaptations to hypoxia. *Vogt Exp. Biol.*, Vol. 204, 3133–3139.
12. Janauer G.A. (2012). Aquatic Vegetation in River Flood plains: Climate Change Effects, River Restoration and Eco-hydrology Aspects. *Climate Change. Inferences from Paleoclimate and Regional Aspects, New York: Springi*, 149–156.
13. Korwin-Kossakowski I.M. (2008). The Influence of temperature during the embryonic period on larval growth and development in carp, *Cyprinus Carpio* L., and Grass Carp, *Ctenopharyngodon Idella* (Val.). *Theoretical and Practical Aspects Department of Pond Fisheries. Archives of Polish Fisheries*, Vol. 16, no. 3, 231–314.
14. Nilsson G.E., Renshaw G.M. (2004). Hypoxic survival strategies in two fishes: extreme anoxia tolerance in the North European crucian carp and natural hypoxic preconditioning in a coral-reef shark. *J. Exp. Biol.*, Vol. 207, 3131–3139.
15. Roesner A., Hankeln T., Burmester T. (2006). Hypoxia induces a complex response of globin expression in zebrafish (*Danio rerio*). *J Exp Biol.*, Vol. 209 (Pt 11), 2129–2137.
16. Varsamos S., Nebel C., Charmantier G. (2005). Ontogeny of osmoregulation in postembryonic fish. *Comp. Biochem. and Physiol. Part A: Molecular & Integrative Physiol.*, Vol. 141, no. 4, 401–429.
17. Vodianitskyi, O., Potrokhov, O., Hrynevych, N., Khomiak, O., Khudiyash, Y., Prysiazniuk, N., Rud, O., Sliusarenko, A., Zagoruy, L., Gutyj, B., Dushka, V., Maxym, V., Dadak, O., Liublin, V. (2020). Effect

- of reservoir temperature and oxygen conditions on the activity of Na-K pump in embryos and larvae of perch, roach, and ruffe. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10(2), 184–189.
18. Wen W., Xuxiong H., Qingkai C. [et al.] (2013). Temperature effects on early development and biochemical dynamics of a marine fish, *Inimicus japonicas*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, Vol. 442, 22–29.