

УДК 597.1.044 : 639.3.053.4

Й.В. ГРИБ, Н.І. ГОНЧАРЕНКО, О.М. КЛИМНЮК

Інститут гідробіології НАН України
пр-т Героїв Сталінграду, 12, Київ 04210**ДЕЯКІ АСПЕКТИ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ СТРЕСОВИХ ЧИННИКІВ
ТА АДАПТАЦІЇ ГІДРОБІОНТІВ У ПОРУШЕНИХ
ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМАХ**

Розглянуто умови формування стресових ситуацій аборигенної іхіофауни поверхневих вод, їх прояви і ознаки. Формалізована концепція стійкості водного середовища як співвідношення чисельності проміжних зон до чисельності стресових факторів біотичної і абіотичної природи.

Ключові слова: стресові чинники, адаптація гідробіонтів, стійкість екосистеми, екотони

В останні роки надзвичайно актуальною стала проблема вивчення впливу стресових чинників та адаптаційних можливостей гідробіонтів у річкоко-озерній мережі [4, 11–14, 17–21]. У природних водоймах гине до 30% аборигенних видів риб (природна смертність), виживання молоді складає від 1 до 20–30 % загальної чисельності, а вселених видів риб (промислове повернення складає менше відсотка) [20].

Стрес розуміють як сукупність загальних стереотипних гострих або тривалих реакцій організму на дію стресорів [17]. Під дією стресових чинників абіотичного і біотичного походження (поодиноких та сумарних) в організмі гідробіонтів відбуваються фізіологічні та поведінкові реакції, котрі формують загальний адаптаційний синдром (табл. 1, 2).

Витривалість гідробіонтів не безмежна і залежить від сили стресу, його тривалості та адаптаційних можливостей організмів. Виявлено три фази адаптаційного синдрому: реакція тривоги, фаза спротиву, фаза вичерпання [5]. Як буде показано пізніше, у реакціях гідробіонтів відмічається їх значна більшість.

У залежності від природи здійснено типізацію стресів: фізичний, хімічний, кормовий, травматичний, інфекційно-інвазійний [2]. Залежно від сили впливу стресора проведена класифікація за інтенсивністю рухомої активності: а) фізіологічний стрес – вплив перепадів температури, вилучення риб із води, переміщення у іншу водойму; б) нетривалий короткочасний стрес – відловлювання і транспортування, опік зябрових кришок; в) хронічний неспецифічний стрес з летальним закінченням (вплив світла, шумів, електроструму, щільність посадки) – виявлявся у гальмуванні рухової активності, оціпенінні, інтенсивному слизовиділенні, зміні забарвлення, зниженні дихальної активності [2]. Відмічений вид дії стресових чинників з підвищеною дихальною активністю – це початкова стадія сильного гострого стресу (зміна температури, рН, дефіцит розчиненого кисню) [2].

Формалізуючи чисельність стресових чинників, їх природу та адаптивні реакції риб, можемо твердити, що стрес або їх сума є функцією від типу чинника, тривалості його дії (t_i), коефіцієнту враження (k_i), якості водного середовища (I_e), маси живого корму (m), щільності стада (S), кількості межових зон (n), тобто [7–10, 13]:

$$\sum_n^{n+1} = Str = \phi(N_i, t_i, k_i, \sum n_{екот}, I_e, m, n, S) \quad (1)$$

Таблиця 1

Стресори природного походження

№	Стресор	Од. вим.	Особливість реакції гідробіонтів
---	---------	----------	----------------------------------

ГІДРОБІОЛОГІЯ

1.	Розчинений кисень	мг О ₂ / дм ³	100% насичення від 8,0 до 14,0 мг О ₂ /дм ³ в залежності від температури. Зниження нижче 4,0 мг О ₂ /дм ³ веде до задухи
2.	pH	од.	6,5÷8,5 (регламентована величина). Вплив закислення та залужування на обмінні процеси та стійкість гідробіонтів
3.	Температура (тепловий шок)	°С	Різкий перепад температури води на 10°С
4.	Феноли	мкг/дм ³	Продукти розкладання вищої водної рослинності. Формування стійких консорційних угруповань гідробіонтів
5.	Мікотоксини	мкг/дм ³	Продукти розпаду синьозелених водоростей. Вибіркова адаптація гідробіонтів та накопичення в тканинах
6.	Сірководень	мкг/дм ³	Продукти розпаду органічних речовин без доступу кисню. Загибель ікри та молоді риби
7.	Мінералізація	мкг/дм ³	Адаптація морських солонувато-водних видів риби до прісних вод. Адаптація прісноводних видів риби до солонувато-водних (6-10 мкг/дм ³)
8.	Кормовий стресор: відсутність живого корму для молоді риби при переході на зовнішнє живлення (дафній, циклопів тощо)	мкг/дм ³	Загибель молоді
9.	Вплив продуктів виділення мікроводоростей та вищих водяних рослин		Підбір симбіотичних видів мікроводоростей та іхтіофауни. Формування консорційних угруповань гідробіонтів
10.	Циклічність гідроекологічних змін водного середовища під впливом 4 та 12 річних циклів сонячної активності		Підпорядкованість умов відтворення цим циклам та віковим характеристикам видів риби

Таблиця 2

Стресори антропогенного походження у поверхневих водах України

№	Перелік стресорів	Забруднюючі речовини та адаптаційні характеристики гідробіонтів [7, 8, 14, 18, 20, 21]
1.	„Гарячі точки” скидання не досить очищених стічних вод після житлово-промислових комплексів	Весь комплекс органічних, хімічних, бактеріальних, механічних забруднень, бар’єр для проходження риби
2.	Нафтопродукти нафтобаз, продуктопроводів, асфальтобетонних заводів, зливових вод автопідприємств, стоянок плавзасобів	Бензин, керосин, мазут, солярка. Накопичення нафтопродуктів у жировій тканині
3.	Стойкі хлор та фосфор-органічні	Формування токсичних сполук та загибель частини

ГІДРОБІОЛОГІЯ

	пестициди після місць їх застосування (сади, сільгоспугіддя) та місця складування	маточного поголів'я риб. Адаптація мікрowodоростей до окремих токсикантів (у залежності від дози), „двітіння води”
4.	Стічні води цукрових заводів з переробки цукрових буряків	Сапоніни – ціноутворюючі глікозиди, що розчиняють еритроцити крові риб у концентрації 1:1000000. Загибель і сплавлення риб за течією. Розвиток бактерій та зоопланктону
5.	Важкі метали після гальванічних виробництв, шахтні води, дренажні води в місцях добування полівалентних металів	Накопичення і включення в білково-жирові комплекси, як засіб захисту. (співвідношення вмісту іонів важких металів у водному середовищі і в тканинах риб складає значення 1:1000)
6.	Кислі дренажні води від шламонакопичувачів хімічних виробництв. Хлоровані активним хлором стічні води	Загибель зимуючих у зимувальних ямах аборигенних видів риб (маточне поголів'я)
7.	Використання електроструму для виловлювання риби	Зменшення можливостей відтворення, оскільки вражаються найбільші за масою риби, а біля половини молоді гине
8.	Шумові, звукові та хвильові ефекти	Міграція риб від забруднення вверх проти течії
9.	Зміни глибин та гідрологічного режиму (об'єму води, її якості)	Міграції риб (відомі міграції риб до гирла приток наприкінці зимової межени)

Матеріал і методи досліджень

Досліджували аборигенну іхтіофауну природних озер правобережжя р. Прип'ять, р. Горинь, р. Стир (в період суворих зим та періодичних регіональних заморних явищ риб різного походження, р. Усте (л. пр. першого порядку), р. Горинь, як наслідок впливу стічних вод житлово-промислового комплексу урбанізованих територій р. Горинь (права притока першого порядку р. Прип'ять, зарегульована), Київське водосховище (в період зимової межени 2010 р., як наслідок тимчасового порушення кисневого режиму внаслідок кліматичних умов та змін гідрологічного режиму).

В лабораторних умовах досліджували вплив токсичних домішок (ДДТ, активна форма, кристали) на тест об'єкт – ряску малу (*Lemna minor* L.) та дволітку коропа лускатого (вплив сапоніну) [7] (табл. 3).

Предмет досліджень – прояви адаптаційних реакцій гідробіонтів на дію стресорів різного походження.

Використовувались методи досліджень: гідрохімічні, токсикологічні, іхтіологічні. Для дослідження клітинних змін використовувався мікроскоп МБР-2.

Таблиця 3

Характеристика об'єктів дослідження та основні стресоформуючі чинники

№	Об'єкт досліджень	Стресоформуючі фактори	Коефіцієнт стійкості	Наслідки
1.	р. Горинь, р. Стир гирлові ділянки (Поліська низовина)	гідрометеорологічні чинники	>20,0	Оптимальні умови відтворення в регіоні (окрім суворих зим та маловодних років)
2.	р. Горинь, р. Стир гирлові ділянки (Поліська низовина)	Періодичні скиди стічних вод цукрових заводів	>20,0	Повне знищення аборигенів іхтіофауни в основному руслі (крім приток)

ГІДРОБІОЛОГІЯ

3.	р. Усте, нижче м. Здолбунів та м. Рівне	недостатньо очищені стічні побутові води	< 1,0	малорозмірний лускатий короп та стійкі до забруднення види риб – ротан, карась сріблястий
4.	р. Стир нижче греблі руслового Хрінківського водосховища, р. Трубіж з бічною мережею	електролови любителів-рибалок	< 6,0	Винищення маточного поголів'я аборигенних видів риб
5.	Київське руслове водосховище	кліматичні умови, дефіцит кисню на мілководді	< 6,0	Загибель аборигенної іхтіофауни на мілководді
6.	Заплавні озера правобережжя р. Прип'ять – Рогізне, Тучне, Скоринь, Лучне	кліматичні умови, дефіцит кисню	< 1,0	Заморні явища

Результати досліджень та обговорення

Сучасні гідробіологічні дослідження впливу стресових чинників на гідробіонти належать до тестових досліджень реакцій на токсичну дію важких металів [11, 12, 14]. На адаптаційні механізми за короткий термін дії (до 14 днів) або вплив освітлення, життєвого простору, ізоляції [14]. Така тривалість досліджень не може дати об'єктивну характеристику кінцевого результату адаптації гідробіонтів до нових умов.

Фактично ми спостерігаємо 6 фаз реакції на стрес-фактори: реакції, інтродукції, імпрегнації в клітинні структури, компенсаційні реакції гідробіонта, його деградації та кінцевої ланки взаємодії – його загибелі [3] (табл. 4).

Проблема адаптації пов'язана з проблемою стійкості екосистеми, яка нами розглядається як відношення чисельності межових зон (зон виходу із кризової ситуації), до чисельності стресових чинників:

$$St = \frac{\sum_{i=1}^n N_{зона}}{\sum_{i=1}^n N_{стрес.фактор}} \quad (2)$$

Тобто при мінімальній чисельності стресових ситуацій ($\sum_{i=1}^n N_{стрес.фактор} = 1$) є оптимальна ситуація.

Разом з тим, в будь-якій водній екосистемі закономірно існує стан, за якого є оптимальні умови життя (тріада життя) – водне середовище і його якість, кормова база, збереження маточного поголів'я та нерестові умови при збережених шляхах міграції. Враховуючи нестабільність якості водного середовища (річки – зона іхтіологічного ризику), саме чисельність межових екотонів дає можливість для збереження генофонду аборигенної іхтіофауни та поповнення нею видоприймачів при формуванні кризових ситуацій.

Характерним прикладом є формування вікової структури аборигенної іхтіофауни в заплавних прип'ятьських озер, гідрохімічний (газовий) режим яких формується у залежності від гідрометеорологічних умов. Кожні 4 роки в переломні періоди 11-12 річних циклів сонячної активності формується тут товста крига в період зимової межени, що перешкоджає реареації водного середовища, а існуюча депонована маса розчиненого кисню витрачається за 2-3 тижні. Відповідно до екологічних умов формується і видовий склад аборигенної іхтіофауни, яка поповнюється за рахунок проникнення приїждивих видів риб, збережених у басейнах річково-озерної мережі у регіоні (табл. 5). При наявності множинності проміжних зон чисельність і видове різноманіття аборигенних видів риб поповнюється (відновлюється) за рахунок бічної

ГІДРОБІОЛОГІЯ

мережі. Це особливо видно по гирлових ділянках. рр. Горинь, Стир та Київському водосховищі. У зв'язку з цим обумовлюється результативність вибіркового дослідження реакції аборигенних та культивованих видів риб на певний токсичний фактор, тому що згідно формули (2), при чисельності межових екотонів ($N_{ek}=1,0$, акваріум) та наявності одного стресора ($N_{str}=1,0$), формується надзвичайно чутлива екосистема. Однак при вивченні впливу стресчинника з оцінкою кінцевого результату (смертність особин), ми повинні вивчати процес на рівні біокозму – ізольованого елемента водного середовища, де діють навіть невраховані нами стресори. Як правило, у дієвих екосистемах стійкість складає 25,0–30,0 одиниць, у руслових каналах чи спрямлених руслах – близько 1,0. Аналогічно, ослаблена стійкість гідробіонтів у акваріумних дослідках.

Таблиця 4

Особливості проявів токсичної дії стресорів на гідробіонти – ряску малу та коропа лускатого (1+) та їх адаптаційних реакцій [9]

№	Фази	Особливості проявів дії стресорів (ДДТ, сапоніни) на тест-об'єкти
А	реакції	Розпушування зовнішньої оболонки в зоні контакту з кристалом ДДТ; додатний реотаксис у риб – рух проти течії, порушення координації рухів.
Б	інтродукції	Вихід клітинної рідини назовні, захоплення кристалу (явища піноцитозу); побіління зовнішніх покривів та зябер
В	імпрегнації	Включення кристалу ДДТ у клітинні структури; руйнування еритроцитів (гемоліз), витікання з під зябрових кришок лакованої крові
Г	компенсації	Посилення явищ мітозу, утворення нового ядра та формування нової особини ряски, явища хлорозу, захоплення повітря рибою (дзьобкування)
Г	деградації	Відпадання корінців у ряски малої, вихід нової особини ряски, вихід іонів магнію з руйнуванням хлорофілу; сплавляння загиблої (снуллої) риби
Д	загибелі	Порушення скупчень ряски малої (до 30,0%), хлороз. Повна загибель риб (основне русло) та у досліді при концентрації сапоніну більше 1:1000000

Таблиця 5

Формування вікової структури аборигенних видів риб після зимових заморних явищ 2010 р.

Водні об'єкти	Видовий склад аборигенної іхтіофауни					
	1	2	3	4	5	6
Озера						
Рогізне	3+	2+	1+	2+	2+	1+
Тучне	3+	2+	1+	2+	2+	1+
Скоринь	3+	2+	1+	2+	2+	1+
Водосховище						
Київське	Повне відновлення за рахунок придаткової мережі					
Річки						
гирло р. Прип'ять	Міграція з приток першого та другого порядку					
гирло р. Горинь	Міграція з приток першого та другого порядку					

Примітка. Основні види виявлених риб з заплавлених озер: 1 – карась срібний; 2 – лин; 3 – плітка; 4 – окунь; 5 – карась звичайний; 6 – щука.

Ще одним проявом хронічного впливу різного роду стресорів є порушення співвідношення у воді іонів Ca^{2+} та Mg^{2+} . Як правило, таке співвідношення складає у природних

видах 5:6-1:0, знижуючись до 2,3:1,0. Це пов'язано як з закисленням поверхневих вод від атмосферних опадів, впливу стічних вод, так і з зв'язуванням вільного Ca^{2+} недоокисленими продуктами обміну. Як роказано в дослідженнях О. М. Арсана [1, 3, 16], оптимальний вміст іонів Ca^{2+} у природному водному середовищі складає 100-120 мг/дм³, фактично – 40,0–60,0 мг/дм³. Тобто всі природні водні екосистеми знаходяться в стадії хронічної кризи. Особливо небезпечні стресові ситуації в поліських маломінералізованих водах, в яких сума йонів сягає 200–300 мг/дм³, а дефіцит кальцію може покриватись за рахунок стронцію-90. Як наслідок, різко зменшується біопродуктивність, характеристики поверхневих вод та знижується видове різноманіття аборигенної іхтіофауни.

Висновки

1. Річково-озерна мережа та аборигенна іхтіофауна постійно знаходяться в зоні впливу стресових чинників біотичного та абіотичного походження, відповідно в залежності від інтенсивності його впливу створеної зони ризику.
2. Збереження аборигенної іхтіофауни відбувається за рахунок додаткової річкової мережі, озер і водосховищ та множинності річкових та озерних екотонів.
3. Використання басейнового підходу до вивчення гідроекологічної ситуації та наявності стресорів дає можливість їх виключення та управління станом водних об'єктів.

1. *Арсан О. М.* Особенности функционирования основных механизмов энергообеспечения процессов акклиматизации рыб к абіотическим факторам водной среды : автореф. дисс. на соискание ученой степени доктора биол. наук. Спец. "Гидробиология" / О. М. Арсан. – Москва, 1987. – 46 с.
2. *Аршавский И. А.* Физиологические механизмы и закономерности индивидуального развития / И. А. Аршавский. – М. : Наука, 1982. – 270 с.
3. *Врочинский К. К.* Пути поступления и содержание пестицидов в воде водоисточников / К. К. Врочинский // Гидробиологический журнал. – 1976. – Т. 12., № 3. – С. 93-100.
4. *Гандзюра В. П.* Концепція шкодочинності в екології / В. П. Гандзюра, В. В. Грубінко. – Київ-Тернопіль : Вид-во ТНПУ ім. В. Гнатюка, 2008 – 144 с.
5. *Головин П. П.* Стресс у рыб / П. П. Головин // Труды зоологического института АН СССР. – М., 1987. – Т. 17 – С. 22–32.
6. *Головина Н. Д.* Действие хронического стресс-фактора на гематологические показатели двухлетков карпа / Н. Д. Головина, П. П. Головин, А. Н. Быков // Эффективное использование водоемов Молдавии: Тез. докл. – Кишинев, 1982 – С. 30–31.
7. *Гриб И. В.* Сапонины, как фактор массовой гибели рыб в реках Украины / И. В. Гриб, Н. И. Гончаренко, Д. И. Войтышина // Гидробиологический журнал. – 2006. – Т. 42, № 4. – С. 42–48.
8. *Гриб И. В.* Анализ заморных явлений в малых реках Западного Полесья Украины / И. В. Гриб // Гидробиологический журнал. – 1972. – Т. 11, № 2. – С. 42–48.
9. *Гриб Й. В.* Екологічна оцінка стану екосистем річкових басейнів рівнинної частини території України (охорона, відновлення, управління) : автореф. дис. на здобуття наукового ступеня доктора біологічних наук. Спец. "Екологія" / Й. В. Гриб. – Дніпропетровськ, 2002. – 49 с.
10. *Заклучнова Р. А.* Влияние стрессовых факторов на дыхание и двигательную активность рыб / Р. А. Заклучнова, И. М. Камшилов // Поведение рыб. Материалы IV исследовательской конференции с международным участием, Борок 2010. – М. : Акварос, 2010. – С. 69–73.
11. *Киричук Г. Є.* Фізіолого-біохімічні механізми адаптації прісноводних моллюсків до змін біотичних та абіотичних чинників водного середовища : автореф. дис. на здобуття наукового ступеня доктора біологічних наук. Спец. "Гидробиология" / Г. Є. Киричук. – Київ, 2011. – 45 с.
12. *Костюк К. В.* Структурно-функціональні реакції клітки водних рослин на дію токсикантів : автореф. дис. на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук. Спец. "Гидробиология" / К. В. Костюк. – Київ, 2011. – 21 с.
13. *Кочет В. Н.* Реакция рыб на воздействие промышленных электрических орудий лова в замкнутых водоемах Днепровской области / В. Н. Кочет, О. А. Христов // Материалы IV исследовательской конференции с международным участием, Борок 2010. – М. : Акварос, 2010. – С. 166–172.

14. Подопрігора В. Н. Влияние стресс-факторов на рост выживаемость молоди рыб : автореф. дисс. на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Спец. "Ихтиология" / В. Н. Подопрігора. – Киев, 2010. – 20 с.
15. Пригожин И. Порядок из хаоса. Новый диалог с природой / И. Пригожин, И. Стенгер. – М. : Прогресс, 1986. – 432 с.
16. Романенко В. Д. Механизм температурной акклимации рыб / В. Д. Романенко, О. М. Арсан, В. Д. Соломатина. – Киев : Наукова думка, 1991. – 191с.
17. Селье Г. Очерки об адаптационном синдроме / Г. Селье. –М. : Медгиз, 1960. – 98 с.
18. Сондак В. В. Особливості формування стресових ситуацій та ризиків виживання аборигенної іхтіофауни в поверхневих водах України / В. В. Сондак // Доповіді НАН України. – 2008. – № 2. – С. 191–199.
19. Сондак В. В. Аборигенна іхтіофауна Стир-Горинського рибовідтворювального комплексу : : автореф. дис. на здобуття наукового ступеня доктора біологічних наук. Спец. "Іхтіологія" / В. В. Сондак. – Київ, 2010. – 45 с.
20. Сондак В. В. Відновна іхтіоекологія природних водойм Західного Полісся України / В. В. Сондак. – Рівне : Волинські обереги, 2008. – 296 с.
21. Ядренкина Е. Н. Миграционное поведение рыб в условиях замкнутого водоема (оз. Чаны, Западная Сибирь) / Е. Н. Ядренкина // Поведение рыб. Материалы IV исследовательской конференции с международным участием, Борок 2010. – М. : Акварос, 2010. – С. 453–459.

И.В. Гриб, Н.И. Гончаренко, О.М. Климнюк
 Институт гидробиологии НАН Украины, Киев

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ВЗАИМОСВЯЗИ СТРЕССОВЫХ ФАКТОРОВ И АДАПТАЦИИ ГИДРОБИОНТОВ В НАРУШЕННЫХ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

Рассмотрены условия формирования стрессовых ситуаций аборигенной ихтиофауны в поверхностных водах, их проявление и признаки. Формализована концепция устойчивости водной среды как соотношение численности промежуточных зон к численности стрессовых факторов биотической и абиотической природы.

Ключевые слова: стрессовые факторы, адаптация гидробионтов, устойчивость экосистемы, экотоны

Y.V. Grib, N.I. Goncharenko, A.M. Klymnyuk

ADAPTATION OF HIDROBIONTS AS FLELER RESPONSE TO STRESS FACTORS IN DETERIORATED AQUATIC ECOSYSTEMS

Institute of Hydrobiology of NAS of Ukraine, Kyiv

The peculiarities of the formation of stress situations in surface waters and their features are analyzed. As assessment of the tolerance of the aquatic environment in a terms of relationship between the number of intermediate zones and the number of stress factors of biotic and abiotic origin is put forward.

Keywords: stress factors, adaptation, tolerance of aquatic ecosystems, intermediate zones

Рекомендує до друку
 В.В. Грубінко

Надійшла 04.02.2011