

СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА МАКРОЗООБЕНТОСУ І РИБОПРОДУКТИВНІСТЬ САСИКСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА

А.В. Ляшенко, Е.Е. Зорина-Сахарова, В.В. Маковський, Ю.О. Санжак, В.Н. Процепова

Досліджено деякі структурно-функціональні характеристики макробоентосу (видові склад та різноманіття, показники кількісного розвитку, продукція домінуючих таксономічних груп) Сасикського водосховища. На основі отриманих даних проведено розрахунки рибопродуктивності водосховища в сучасний період. Наведено відомості щодо біоіндикації якості вод.

STRUCTURAL CHARACTERISTIC OF MACROBENTHOS COMMUNITES AND FISH CAPACITY OF THE SASYK RESERVOIR

A. Lyasenko, E. Zoryna-Sacharova, V. Makovsky, Yu. Sanjac, V. Protsepo

The structural characteristic (taxonomic structure, biodiversity, abundance and biomass parameters, production of the dominant groups) of macrobenthos communities of the Sasyk reservoir were investigated. The parameters of fish capacity were calculated on base obtained results. Also data of the bioindication analysis of water quality are presented.

УДК (546.39:597):591.526

ВПЛИВ СПОЛУК МІНЕРАЛЬНОГО АЗОТУ НА ЖИТТЄЗДАТНІСТЬ КОРОПОВИХ РИБ НА РІЗНИХ СТАДІЯХ ОНТОГЕНЕЗУ

О.С. Потрохов, О.Г. Зіньковський, Ю.М. Худіяш

Інститут гідробіології НАН України

Досліджено характер впливу сполук мінерального азоту на життєздатність ембріонів, личинок і різновікових груп коропа та білого амура. Відзначається, що основний негативний ефект належить амонію в його молекулярній та іонній формі, нітрити виявляють значно меншу токсичність і є гемотоксичною отрутою, а нітрати не впливають на риб. Встановлено, що у міру проходження онтогенезу посилюється толерантність риб до дії амонійного азоту.

Принциповою відмінною риб від наземних тварин є постійний контакт їх організму з навколишнім водним середовищем. Ця взаємодія здійснюється через поверхню тіла водяних тварин, зябровий епітелій та кишечник риб. У такий спосіб риби поглинають з водного середовища деякі неорганічні й органічні речовини, які відіграють важливу роль у життєдіяльності гідробіонтів. Водночас риби виділяють у воду продукти свого метаболізму (азотисті, фосфорні та інші сполуки), які з часом можуть у значній кількості накопичуватися у воді, змінюючи склад навколишнього середовища, і відчутно впливати на метаболічні процеси в інших гідробіонтів.

У сучасних літературних джерелах широко обговорюється вплив мінеральних форм азоту на життєздатність різних видів риб, які належать до різноманітних родин та мешкають у різних екологічних умовах. Так, встановлено, що збільшення рН середовища [12, 14] та температури води [7] призводить до зростання вмісту неіонізованого аміаку відносно загального амонію у воді і таким чином посилюється токсична дія азотистих сполук на організм риб. Протилежна закономірність спостерігається при підвищенні вмісту розчинних у воді кисню [7, 9, 11], вуглекислого газу [15], загальної мінералізації або солоності води [12] щодо ступеня негативних проявів у риб

у відповідь на дію амонійного забруднення. Деякі іони водного середовища (Cl^- , Na^+ , Ca^{2+}) антагоністично впливають на інтенсивність надходження в організм аміаку та амонію, тобто знижують їх токсичність для риб [10]. Водночас надходження азотистих сполук як біогенних елементів сприяє розвитку у водоймі первинних продуцентів, а по харчовому ланцюгу і консументів, у такий спосіб спричиняючи евтрофікацію [6]. Тому в кожному окремому випадку токсичний вплив мінерального азоту залежить від конкретних екологічних умов проживання риб, у тому числі гідрохімічних та гідрологічних чинників, трофності водойм. Для кращого розуміння того, як підвищення вмісту основних форм мінерального азоту впливає на життєстійкість риб на різних стадіях онтогенезу, а також з метою з'ясування можливості адаптації риб до діючих факторів, необхідно вивчити основні характеристики водного середовища. Основними показниками якості води залишаються гідрохімічні характеристики водойм. Для успішного вироблення та функціонування захисних механізмів необхідний достатній ступінь насичення киснем води.

З метою оцінки впливу мінеральних азотистих сполук на життєстійкість на ембріональних та ранніх постембріональних стадіях розвитку корошових риб були проведені модельні експерименти. При цьому вивчали дію різних концентрацій амонію, нітритів та нітратів як для з'ясування ступеня їх роздільного впливу на виживаність риб, так і для визначення того, яка з цих форм мінерального азоту найбільше впливала на життєздатність ікри, личинок та молоді риб.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Експерименти були проведені на Білоцерківській експериментальній гідробіологічній станції Інституту гідробіології НАН України.

Біологічним матеріалом для експериментів були різні види корошових риб — короп (*Cyprinus carpio* L.) української лускатої породи, білий амур (*Stenopharyngodon idella* Val.), їх ікра, що розвивається, личинки, мальки, різновікові старші вікові групи риб та плідники.

Досліди з ікрою риб, що розвивається, проводили в чашках Петрі об'ємом 50 мл, куди вносили 50–70 ікринок та добавляли воду із заданою концентрацією сполук мінерального азоту. Розчини змінювали двічі на добу, життєздатність підраховували на стадіях дрібноклітинної морули, закінчення гастрულляції, утворення очних келихів, активного обертання ембріона в середині оболонки та вилуплення личинок. Дослідження впливу різних концентрацій іонів амонію, нітритів і нітратів на життєздатність та фізіологічний стан личинок і мальків риб проводили в кристалізаторах об'ємом від 3 до 10 дм³ й акваріумах ємкістю 80 дм³ залежно від маси дослідного матеріалу з таким розрахунком, щоб співвідношення маси риб до діючих розчинів токсикантів перевищувало 1:100–1:300 разів.

Задані концентрації азоту у воді готували розчиненням хлориду амонію, нітритів натрію, нітратів натрію, а також використовували природні забруднені води з високим вмістом мінеральних сполук азоту.

Старші вікові групи риб утримували в експериментальних ставках, у які надходили забруднені алохтонним азотом води.

У контрольному ставку за весь період спостережень був відмічений середній вміст амонійного азоту від 0,01 до 0,19 мг N/дм³ залежно від сезону року, нітритів — від 0,003 до 0,32; нітратів — від 0,10 до 0,52 мг N/дм³ [2]. Характеристики 1 експериментального ставка за вмістом сполук алохтонного азоту мають проміжні значення. Так, середній вміст амонійного азоту коливається від 9,1 до 42,5 мг N/дм³ залежно від сезону року, нітритів — від 0,32 до 3,27, нітратів — від 6,27 до 29,54 мг N/дм³. У воді 2 експериментального ставка містилася більша кількість усіх форм мінерального азоту: іонів амонію — від 26,3 до 62,5 мг N/дм³, нітритів — від 0,27 до 3,73, нітратів — від 10,00 до 37,73 N/дм³.

У постановці експериментів виходили з того, що граничнодопустимі концентрації у воді для рибогосподарського використання за іонами амонію становлять 1 мг N/дм³, нітритів — 0,1, нітратів — не більше 2 мг N/дм³ [4].

Отримані дані оброблені статистично з допомогою програми Statistica 5.5, Epa probit analysis program used for calculating LC/EC values (Version 1.5).

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Перед тим як перейти до розгляду впливу різних сполук мінерального азоту на хід раннього онтогенезу корошових риб, необхідно ретельно обговорити особливості ембріогенезу видів риб, які були задіяні в експериментах. Так, наші дослідження проводились на двох видах риб — коропі та білому амуру. Перший вид характеризується більш тривалим розвитком ембріона в ікринці — до 4,5 діб залежно від температури навколишнього середовища. Ікра коропа вкрита міцною, товстостінною і клейкою оболонкою, яка за деякий час стає непрозорою. Оболонка його ікри представлена первинною (радіальною) та вторинною оболонками (хоріон) [17]. Після запліднення утворюється невеликий за розміром перивітеліновий простір, діаметр ікринки збільшується у середньому на одну третину [5]. Протягом першої години після запліднення, коли настає обводнення ікринок, відносний вміст сухих речовин знижується від 30–32 до 10–12% і приблизно в такій кількості залишається до вилуплення ембріона. На відміну від коропа ікра білого амура неклеяка, оболонка щільно прилягає до верхньої яйця і представлена тільки зовнішньою первинною оболонкою, хоріон відсутній. Ікра рослиноїдних риб розвивається пелагічно протягом 32–36 год. Після запліднення відбувається значно більше набрякання ікринок, їх розміри збільшуються в 3,5–4 рази залежно від загальної мінералізації води [3]. Великий об'єм перивітелінової рідини частково або повністю компенсує відсутність хоріону. Ця особливість зменшує потребу у вибірковому транспорті іонів та продуктів метаболізму зародків у зовнішнє середовище. Нетривалий термін ембріогенезу також забезпечує низьке накопичення метаболітів у середині ікринки, коли оболонка не має властивостей активного їх транспорту у воду.

Друга істотна відмінність між цими видами полягає в тому, що ембріони коропа за більш тривалий час перебування

в ікринці мають сформовану кровоносну систему з наявністю формених елементів крові, які з'являються у віці 2,5 доби. Передличинки коропа вилуплюються більш сформованими порівняно з рослиноїдними рибами [1]. Ембріогенез білого амура відбувається в більш стабільних і сприятливих екологічних умовах, розвиток проходить у товщі рухливого шару води зі стабільною температурою та високим вмістом розчинного кисню. Формені елементи крові у них з'являються лише на передличинкових стадіях розвитку у віці 1,5 доби після вилуплення [3].

Газообмін передличинок цих видів риб відбувається не так, як у дорослих риб. Зокрема ембріональними органами дихання вільних ембріонів слугують хвостова вена та поверхня жовткового міхура. Інші органи дихання відсутні завдяки тому, що личинки зазвичай перебувають у сприятливих кисневих умовах. Сформовані зябра, які вже повністю функціонують, наявні у рослиноїдних риб у віці 4 діб після вилуплення, коропа — через 2 доби [5]. При цьому спостерігається редукція ембріональних органів дихання. Одночасно починають формуватися нирки та сечовий міхур.

Оскільки як швидкість розвитку ембріона, так і загальна будова ікринки коропа та рослиноїдних риб значно відрізняються, їх чутливість та реакція на дію зовнішніх чинників теж відмінні.

Завдяки особливостям ембріонального розвитку цих видів риб їх газовий та іонний обмін з навколишнім середовищем, а також процеси надходження чужорідних сполук в ікринку, екскреції продуктів метаболізму ембріонів відбуваються шляхами та способами достатньо відмінними від дорослих риб. Тому норми реакції ембріонів на дію токсикантів теж бувають різними.

У ході виконання модельних експериментів встановлено, що іони амонію та нітритів впливали на життєздатність риб по-різному залежно від стадії онтогенезу. Особлива токсична дія іонів азотистих сполук починає проявлятися у міру утворення формених елементів крові й розвитку кровоносної системи. Виходячи із зовнішніх показників загального симптому комплексу інтоксикації та завдяки характерним ознакам стану

органів і крові при розтині риб, можливо підкреслити, що іони амонію за своїми ознаками належать до нервово-паралітичних та загально токсичних речовин, нітриту — до гемотоксичних отрут, а нітрати — для риб не токсичні.

На інтенсивність дії токсикантів на життєздатність зародків, личинок і молоді риб значно впливає температура водного середовища. Так, при коливанні температури води від 14 до 22°C (у нічний та денний час) уже для ікри риб відмічається істотна загибель як контрольних, так і піддослідних ембріонів. Але особливе зниження життєздатності зародків відзначене за дії іонів амонію. Водночас при стабільному температурному режимі водного середовища (22–23°C) у ході ембріогенезу перші відмінності за показником виживаності спостерігаються лише перед вилупленням передличинок — при 10 мг/дм³ на 3–5%, при 25 мг/дм³ на 14–23% порівняно з контролем.

Гострі експерименти проведені на передличинках коропа та білого амура показали, що токсична дія амонію розвивається поступово протягом однієї години, тобто у міру накопичення забруднювача в їхніх тканинах.

72-годинна LC₅₀ для коропа становить: для ікри — 18,95 мг N/дм³; личинок — 11,84; 30-добової молоді — 103,84; для білого амура: для ікри — 9,22; для личинок — 11,38; для 30-добової молоді — 25,33 мг N/дм³. Таким чином, спостерігається закономірність, яка свідчить про те, що клейка ікра коропа більш стійка до дії амонійного азоту, ніж личинки, але найбільш стійкими на ранніх стадіях онтогенезу є мальки риб, які у міру свого розвитку та формування механізмів протидії токсичному впливу амонію стають дедалі толерантнішими. Ембріони, личинки і молодь білого амура більш чутливі до впливу амонійного азоту. Через відсутність хоріону у пелагіальній ікрі цього виду риб їх ембріони набагато менш надійно ізольовані від навколишнього середовища, та менш стійкі до діючого чинника, ніж їх личинки.

Як показали наші дослідження, у міру проходження усіх стадій розвитку риб їх толерантність до дії амонійного азоту посилюється. Попри те, що емб-

ріони риб, і в першу чергу рослиноїдних риб, підпадають під досить сильний токсичний вплив іонів амонію, їх 50%-ва смертність практично перебуває в тому самому діапазоні концентрацій цієї сполуки, що і для личинок риб. Але в цілому проміжок концентрацій від нешкідливих до тих, що спричиняють абсолютну загибель зародків, досить широкий (рис. 1, 2). Тобто незалежно від істотних відмінностей у структурі захисної оболонки ікри коропа і рослиноїдних риб (наявність хоріону, товщини і щільності зовнішньої оболонки, розміру ікринок і наявності клейкості тощо) ембріони риб мають досить дієву систему запобігання негативному впливу амонію та його детоксикації і виведення або в навколишнє

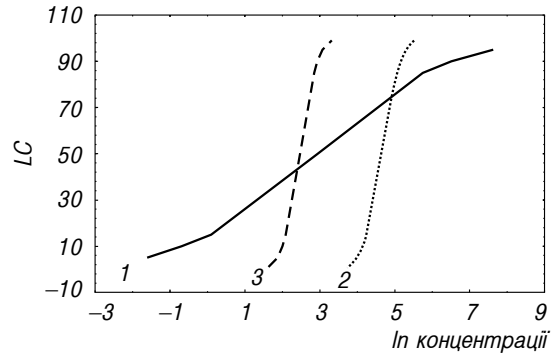


Рис. 1. Смертність коропа на ранніх стадіях онтогенезу залежно від концентрації іонів амонію при експозиції 72 год

Примітка: 1 — ікра; 2 — 1-добові личинки; 3 — 30-добові мальки

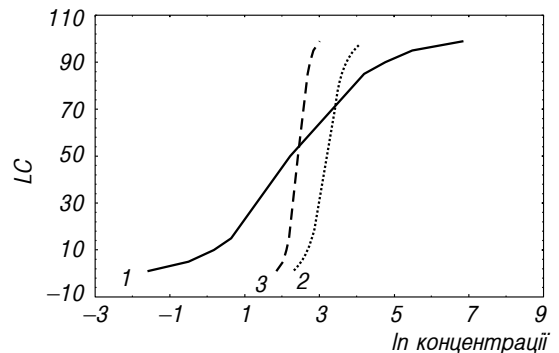


Рис. 2. Смертність білого амура на ранніх стадіях онтогенезу залежно від концентрації іонів амонію при експозиції 72 год, за винятком ікри (32 год)

Примітка: 1 — ікра; 2 — 1-добові личинки; 3 — 30-добові мальки

середовище, або в менш значимі ділянки самої ікринки (перивітелінову рідину та жовток) [8]. Важливу роль у створенні такої високої опірності ембріонів до надходження екзогенного амонію відіграє їх здатність до переходу на уреотелічний шлях детоксикації та екскреції сполук азоту [8].

У міру розвитку тканини, органи личинок і молоді риб набувають дедалі більшої здатності активно протидіяти токсичному впливу іонів амонію. Але діапазон концентрацій токсиканта від нешкідливих до тих, що зумовлюють 100%-ву смертність риб не настільки широкий, як для ембріонів, що містяться у середині ікринки. Незважаючи на те, що ступінь розвитку органів і систем детоксикації та екскреції надлишкового амонію у різних видів риб істотно відрізняються, процеси, які відбуваються в організмах досліджуваних риб, виявляють одну і ту саму спрямованість. У даному разі важливе значення мають розвиток кровоносної системи риб, перехід від ембріональних систем дихання до зябрового, наявність лускового покриття шкіри риб та слизових її виділень, які перешкоджають проникненню амонію із зовнішнього середовища [16]. Тобто спостерігається зниження площі ділянок тіла риб, через які можуть дифузно проникати іони з води. Безперечно розвиваються і системи активного транспорту через мембрани клітин іонів амонію з внутрішнього середовища у воду [13].

Дослідження на старших вікових групах коропа в природних водоймах з підвищеним вмістом сполук алохтонного азоту показали, що високі концентрації амонію до 45 мг N/дм^3 вже не впливають на життєздатність риб у вегетаційний період. Загибель риб спостерігається лише в зимовий період при льодоставі та зниженні вмісту розчиненого у воді кис-

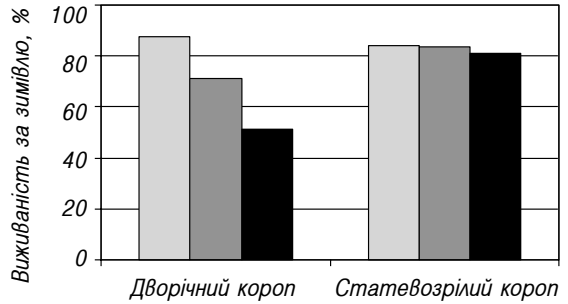


Рис. 3. Вплив високих концентрацій алохтонного азоту (за амонійним азотом) на життєздатність різновікових груп коропа в умовах їх зимівлі: □ — $0,01\text{--}0,19 \text{ мг N/дм}^3$; ■ — $9,1\text{--}42,5 \text{ мг N/дм}^3$; ■ — $26,3\text{--}62,5 \text{ мг N/дм}^3$

ню до концентрації нижче $3,2 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$. Так, під дією іонів амонію вище 35 мг N/дм^3 відмічається збільшення чисельності дворічок коропа, що загинули, на $18,9\%$ порівняно з контролем, а при концентрації амонію вище 45 мг N/дм^3 — на $41,8\%$ (рис. 3). Водночас у риб, які пройшли тривалу адаптацію до діючих чинників, після досягнення ними статеві зрілості, а також завдяки елімінації найбільш вразливої частини вибірки риб на більш ранніх стадіях розвитку, загибелі коропа при низьких температурах та вмісту кисню у воді нами не спостерігалось. Життєздатність піддослідних риб не відрізнялася від контрольних.

ВИСНОВКИ

Таким чином, у міру проходження онтогенезу риб від ембріональних стадій розвитку до статевозрілого віку посилюється їх толерантність до дії надмірного надходження амонійного азоту в навколишнє середовище. При чому істотне значення мають як стан розвитку органів та систем дихання, кровотворення та виведення, так і поступове адаптування риб та змін їх норм реакцій на дію токсичних чинників середовища.

ЛІТЕРАТУРА

1. Макеєва А.П. Эмбриология рыб. — М.: МГУ, 1992. — 216 с.
2. Потрохов А.С., Зинковский О.Г., Кириций Т.Я., Худияш Ю.Н. Изменение ряда морфо-физиологических показателей карпа под действием повышенной концентрации минерального азота в воде // Гидробиол. журн. — 2006, 42, 6. — С. 71–90.
3. Соин С.Г. Морфо-экологические особенности развития белого амура и толстолобика // Проблемы рыбохозяйственного использования растительоядных рыб в водоемах СССР. — Ашхабад: Изд-во АН ТССР, 1963. — С. 100–119.
4. СОУ 05.01–37–385:2006. Код УКНД 13.060.25. Стандарт організацій України. Вода рибогосподарських підприємств. Загальні вимоги та норми. — 15 с.

5. Шерман І.М., Гринжевський М.В., Грициняк І.І. Розведення і селекція риб. — К.: БМТ, 1999. — 238 с.
6. Camargo J.A., Alonso A. Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment // *Environ. Int.* — 2006, 32(6). — P. 831–849.
7. Čitek J., Svobodova Z., Tesarič J. Nemoci sladkovodních a akvarijských ryb. — Praha: Informatorium, 1998. — 218 p.
8. Chadwick T.D., Wright P.A. Nitrogen excretion and expression of urea cycle enzymes in the Atlantic cod (*Gadus morhua* L.): a comparison of early life stages with adults // *J. Exp. Biol.* — 1999, 202. — P. 2653–2662.
9. Downing, K.M., Merckens J.C. The influence of dissolved-oxygen concentration on the toxicity of un-ionized ammonia to rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson) // *Ann. Appl. Biol.* — 1955, 42. — P. 243–246.
10. Maitree Duangsawasdi M., Sripoonun Ch. Acute toxicities of ammonia and nitrite to *Clarias batrachus* and their interaction to chlorides // National Inland Fisheries Institute. — Bangkok, Thailand. — 1981. — 18 p.
11. Merckens J.C., Downing K.M. The effect of tension of dissolved oxygen on the toxicity of un-ionized ammonia to several species of fish // *Ann. appl. Biol.* — 1959, 45. — P. 521–527.
12. Miller D. Poucher C., S., Cardin J.A., Hansen D. The acute and chronic toxicity of ammonia to marine fish and a mysid // *Archives of Environmental Contamination and Toxicology.* — 1990, Vol. 19, № 1. — P. 40–48.
13. Randall D.J., Wilson J., Barzagli C., Chew S.F., Ip Y.K. Ammonia excretion in the mudskipper, *Periophthalmos schlosseri* // *Fish Toxicology Symposium proceedings. International Congress on the Biology of Fish University of Aberdeen, Scotland, July 23–27.* — 2000. — P. 57–59.
14. Smart G. The effect of ammonia on gill structure of the rainbow trout (*Salmo gairdneri*) // *J. Fish Biol.* — 1976, 8. — P. 471–475.
15. Svobodova Z., Faina R., Groch L., Machova J. Study on the etiology of the necrosis of carp gills // *Bul. VURH Vodnany.* — 1986, 22. — P. 3–13.
16. Tsui K.N.T., Jin Y., Lee K.H., Chew S.F., Randall D.J., Ip Y.K. The loach *Miagurnus anguillicaudatus* reduces amino acid catabolism and volatilizes NH₃ during aerial exposure // *Fish Toxicology. Symposium proceedings. International Congress on the Biology of Fish University of Aberdeen, Scotland, July 23–27.* — 2000. — P. 29–31.
17. Wang S.C., Huang F.L. Carp Ovarian Cystatin Binds and Agglutinates Spermatozoa via Electrostatic Interaction // *Biology of reproduction.* — 2002, 66. — P. 1318–1327.

ВЛИЯНИЕ СОЕДИНЕНИЙ МИНЕРАЛЬНОГО АЗОТА НА ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТЬ КАРПОВЫХ РЫБ НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ ОНТОГЕНЕЗА

А.С. Потрохов, О.Г. Зиньковский, Ю.Н. Худияш

Исследован характер влияния соединений минерального азота на жизнестойкость эмбрионов, личинок и разновозрастных групп карпа и белого амура. Отмечается, что основной отрицательный эффект имеет аммоний в его молекулярной и ионной форме, нитриты проявляют значительно меньшую токсичность и являются гемотоксичным ядом, а нитраты не токсичны для рыб. Установлено, что по мере прохождения онтогенеза усиливается толерантность рыб к действию аммонийного азота.

IMPACT OF MINERAL NITROGEN COMBINATION ON VIABILITY OF CARP FISHES ON DIFFERENT STAGES OF ONTOGENESIS

O. Potrokhov, O. Zinkovskiy, Yu. Hudiayash

Character of influence of mineral nitrogen compounds on survival of embryos, larvae and uneven-age groups of a carp and a grass carp is investigated. It is marked, that the basic negative effect has ammonium in its molecular and ionic form, nitrites evince considerably smaller toxicity and are hemotoxic poison, and nitrates do not influence on fishes. It fixed, that on a measure of passing of an ontogenesis tolerance of fishes to action of ammonium nitrogen strengthens. Change of norms of reactions to action of toxic factors of environment essentially depends on a degree of development of organs and systems of respiration, a circulation of the blood and an excretion. An apparent role plays gradual and long adaptation of fishes to influence of toxins.