

ЗАГАЛЬНА ГІДРОБІОЛОГІЯ

УДК [574.587+597][556.53+553.497](479.22)

С.О. АФАНАСЬЄВ, д. б. н., проф., чл.-кор. НАНУ, директор,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Героїв Сталінграда, 12, Київ, 04210, Україна
e-mail: safanasyev@ukr.net
ORCID 0000-0002-5247-3542

О.М. ЛЕТИЦЬКА, к. б. н., ст. наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Героїв Сталінграда, 12, Київ, 04210, Україна
e-mail: lietytska@ukr.net
ORCID 0000-0001-7026-4093

О.Є. ЯРОШЕВИЧ, к. г. н., Блу Ріверз Консалтинг
вул. Пушкінська, 12в, Київ, 01001, Україна
e-mail: iaralex@ukr.net

А.М. РОМАНЬ, к. б. н., наук. співроб.,
Університет «Метінвестполітехніка»
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Героїв Сталінграда, 12, Київ, 04210, Україна
e-mail: aroman.fish@gmail.com
ORCID 0000-0001-6270-8141

О.С. КОНОВАЛЕНКО, к. г. н., ст. наук. співроб.,
Український гідрометеорологічний інститут НАН України, ДСНС України,
просп. Науки, 37, Київ, 03280, Україна
e-mail: oks_konovalenko@ukr.net

К.В. МУДРА, к. г. н., Блу Ріверз Консалтинг,
вул. Пушкінська, 12в, Київ, 01001, Україна
e-mail: kmudra@ukr.net

О.О. ГОЛУБ, пров. інж.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Героїв Сталінграда, 12, Київ, 04210, Україна
e-mail: oleggolub@ukr.net

О.Г. МАРУШЕВСЬКА, Блу Ріверз Консалтинг
вул. Пушкінська, 12в, Київ, 01001, Україна
e-mail: olena.marushevska@gmail.com

ГІДРОМОРФОЛОГІЯ, ДОННІ МАКРОБЕЗХРЕБЕТНІ ТА ІХТІОФАУНА ГІРСЬКОЇ РІЧКИ У РАЙОНІ РОДОВИЩ АРСЕНУ (ЗАХІДНА ГРУЗІЯ)

Ц и т у в а н н я: Афанасьєв С.О., Летицька О.М., Ярошевич О.Є., Романь А.М., Коноваленко О.С., Мудра К.В., Голуб О.О., Марушевська О.Г. Гідроморфологія, донні макробезхребетні та іхтіофауна гірської річки у районі родовищ арсену (Західна Грузія). *Гідробіол. журн.* 2021. Т. 57. № 6. С. 3—20.

В роботі розглянуті результати гідроморфологічних досліджень, особливості розподілу донних безхребетних та риб р. Лухуні (басейн р. Ріоні) у районі родовищ арсену. Показано, що структура угруповань та інтенсивність дрейфу макробезхребетних не залежали від концентрації арсену у воді, а визначалися типом русла і гранулометричним складом наносів. Розподіл риб визначався висотою протікання над рівнем моря і приуроченістю до певного типу місцемешкання та не залежав від відстані до скиду арсеновмістних вод. У той же час у найбільш масового виду риб — *Alburnoides fasciatus* виявлено морфологічні зміни, які можна вважати спричиненими забрудненням арсеном. Також не виключається, що підвищені природні концентрації арсену могли спровокувати мутації, що призвели до утворення нового виду з роду *Saroea*.

Ключові слова: гідроморфологія, донні макробезхребетні, іхтіофауна, арсен, Західна Грузія.

Проблема забруднення природних вод арсеном носить глобальний характер, на сьогоднішній день у природі налічується більше 300 видів арсенорганічних сполук [37]. Здебільшого ці сполуки досить токсичні, а оскільки поблизу гірничорудних підприємств і виробництв вміст арсену може сягати десятків, сотень і навіть тисяч мікрограмів на літр, вони являють собою суттєву загрозу гідробіонтам. Арсен має генотоксичні, мутагенні та канцерогенні властивості [28]. Незважаючи на значну кількість робіт, присвячених токсичному впливу арсену на різні види гідробіонтів, його біоаккумуляції і трансформаціям його сполук у водних екосистемах, відомості про їх екологічні ефекти, вплив на структуру угруповань тварин і рослин, їх кількісну представленість і біорізноманіття у річках, що потерпають від забруднення цим елементом, практично відсутні.

У басейні р. Лухуні (Західна Грузія, басейн Ріоні) розташовані найбільші у європейській частині колишнього СРСР поклади арсену (Лухумське, Уравське і Сакурське родовища) [5]. В Уравській ущелині функціонувала гірничо-хімічна фабрика, де впродовж майже 60 років добували і переробляли арсен. Робота фабрики була припинена після розпаду СРСР, виробничий комплекс був повністю закритий у 1993 р. Наразі відходи фабрики розміщені у трьох різних відвалах-похованнях, всі вони розташовані у водозборі р. Лухуні. Після зупинки підприємства було висловлено припущення про поступове зменшення вмісту арсену у воді, але це не підтвердилося виконаними у 2001—2003 та 2008—2012 рр. дослідженнями. Навпаки, було встановлено зростання ступеню забруднення арсеном [11]. За словами міністра захисту природи Грузії Георгія Хачидзе (2009—2012 рр.), у крові жителів с. Ураві рівень арсену у 20—30 раз перевищує допустиму норму [40]. У дітей відзначаються достовірно підвищення рівня захворюваності, значною мірою знижується загальна кількість лімфоцитів і фракції Т-акт, також наявна тенденція до зниження рівня імуноглобулінів IgA [7].

У той же час вплив на біорізноманіття і екологічні ефекти від забруднення арсеном басейну р. Лухуні невідомі і досі не вивчалися. Немає жодних відомостей про структуру угруповань гідробіонтів, не з'ясовано кількісний розподіл і видовий склад риб, не проводились гідрохімічні дос-

лідження, вся гідрологічна характеристика річки базується лише на відновлених даних, оскільки тут немає діючої гідрологічної станції.

Матеріали та методика досліджень

Річка Лухуні — притока р. Ріоні, яка впадає в Чорне море. Витоки річки знаходяться у Західній Грузії біля гори Лухуні на висоті 2650 метрів над рівнем моря. Річка протікає в Уравській ущелині та має загальну довжину 39 км. Комплексні гідроморфологічні, гідробіологічні та іхтіологічні дослідження р. Лухуні проводили у липні — серпні 2015 р. і серпні — жовтні 2016 р. Уточнюючі фауністичні збори (донні безхребетні і риби) і відбір гідрохімічних проб здійснені також у серпні 2018 р.

Дослідження проводили від доступної верхньої ділянки русла 1400 м над рівнем моря (н. р. м.) до її впадіння у Ріоні. На висоті 1165 н. р. м. біля берега річки облаштований витік шахтних вод збагачених арсеном — Mine Water Drainage (MWD), у потоці, що впадає у русло, донні відклади мають червоно-жовте забарвлення, зумовлене сполуками арсену, будь які угруповання гідробіонтів відсутні.

Спираючись на моделювання розподілу арсену, виконане для подібної р. Цхенісцкалі, розташованої в цьому ж регіоні [1], з урахуванням водності обох річок, ми визначили, що зона найбільшого впливу матиме протяжність близько 6 км від MWD, тобто майже до верхньої околиці с. Ураві. На цій ділянці була детально досліджена гідроморфологія. Нижче зони впливу гідроморфологічні дослідження проводили лише безпосередньо в місцях відбору гідробіологічних проб. Всього по руслу та притоках було визначено 34 оглядові одиниці різної довжини, для кожної заповнювали Протокол гідроморфологічного обстеження згідно «Методики визначення масивів поверхневих та підземних вод» [8]

Тимчасова станція вимірювання рівня води була створена у серпні 2015 і 2016 рр. одразу нижче впадіння останньої притоки (4815 м від MWD) на ділянці найбільшого впливу. Зміни рівня реєстрували вранці щодня впродовж шести днів. Для характеристики біотопів макробезхребетних на більшості ділянок встановлено гранулометричний склад донних відкладів, з яких виділяли: валуни (256—2048 мм), каміння (64—255 мм), гальку (17—63 мм), гравій (2—16 мм), пісок (0,06—2 мм).

Гідробіологічні та іхтіологічні дослідження проводили на 12 станціях розташованих як по руслу річки, так і в гірлових ділянках її основних приток (рис. 1). Додаткові іхтіологічні лови здійснювали також на трьох руслових станціях (на карті позначені буквами). На кожній станції досліджень заповнено «Польовий протокол оцінки біологічних елементів якості», що містить ландшафтно-біотопічний і біоценотичний описи [13].

Відбір проб безхребетних проводили за стандартними методами ЄС (EN ISO 5667-3, ISO 7828, EN ISO 8689), розробленими для гірських річок, методом «kick and sweep» [34] з урахуванням вимог системи оцінки AQEM [24, 27]. Також, за допомогою дрифтових пасток-уловлювачів [6, 18] відібрані проби дрейфуючих макробезхребетних у межах с. Ураві.

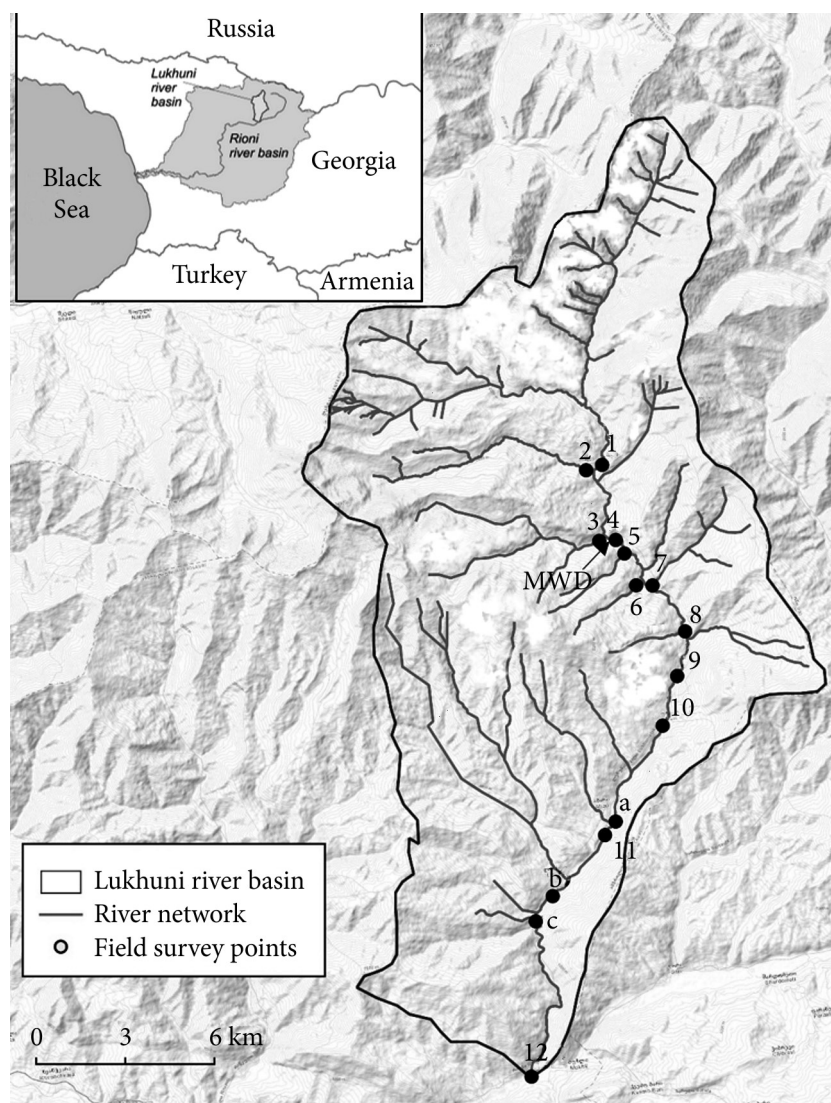


Рис. 1. Карта-схема станцій відбору проб

Уловлювачі встановлювали на течії на висоті від 1 до 5 см над ґрунтом кожні 2 години протягом 24 годин.

Оскільки для більшості видів безхребетних, що мешкають у р. Лухуні, немає визначених сапробних показників, для біоіндикації якості вод і екологічного стану за донним безхребетними ми використовували принципи біоіндикації, закладені в обрахунки біотичних індексів [3] та спирались на сучасні підходи моніторингу вод [15]. Крім того, враховували індикаторні види за базою даних ASTERIX [27].

Іхтіологічні лови виконувалися за допомогою кастингової сітки з діаметром розкриття 4,5 м, іхтіологічним сачком, пастками ятірного типу

і гачковими снастями. Визначали видовий склад риб та їхні основні морфометричні характеристики. Всього було виловлено 124 екз. дорослих риб та 487 екз. молоді і личинок. Усі особини *Salmo trutta* Linnaeus, 1758 були виміряні і випущені назад у річку. Представники інших видів також були випущені, за винятком 30 екз. бистрянки, 11 екз. азіатських храмуль, 2 екз. марени і 1 екз. гольця, які були зафіксовані для їх подальшої видової ідентифікації.

Кластерний аналіз подібності гранулометричного складу донних відкладів на станціях і подібності видового складу угруповань макробезхребетних проводили за допомогою індексу Чекановського-Серенсена = Bray-Curtis з використанням програми PAST-3 [23].

Результати досліджень

Річка Лухуні тече у вузькій V-подібній долині. Схили долини та береги вкриті листяними деревами. Верхня зона басейну утворена кристалічними породами, середня — піщаником, сланцями і конгломератом, а нижня — вапняком. Мінералізація води р. Лухуні у період досліджень становила від 116,1 мг/л у верхній ділянці до 215,2 мг/дм² нижче с. Ураві. У йонному складі р. Лухуні та її притоку Цхенісцкалі домінували Ca₂⁺ і HCO₃⁻. Насичення киснем коливалося у межах 120—160 %, рН — від 6,5 до 7,9 (у притоці Латашіцкалі). Температура води збільшувалася від найвищих точок (9,0 °C) до гирла річки (19,1 °C). Значення БСК₅ і вмісту амонійного азоту також зростали від верхніх ділянок річки до її гирла (відповідно від 0,7 до 1,97 мг O₂/дм² і від 0,08 до 1,1 мг N/дм²). Загалом склад води р. Лухуні у цілому характерний для річок гірського регіону Південного Кавказу.

Під час гідроморфологічних досліджень витрати води становили 3,40 м³/с у 2015 р. та 3,86 м³/с у 2016 р. Незалежно від дощової погоди (три дощі під час обстеження) коливання рівня води були незначними ± 1 см. На ділянці найбільшого впливу річка приймає шість приток, по три з кожного берега. Найвища за течією впадає у річку на відстані 1105 м від MWD. Для того, щоб уявити можливості розбавлення забруднення, нами було виміряно загальні витрати всіх приток, які складають близько 15 % від витрат основної річки.

Річка характеризується високим потенціалом транспортування наносів і порівняно низькою ємністю для накопичення відкладів у руслі. Наявність валунів, скельних порід і значного ухилу створює біотопи з різними гідралічними умовами, сприятливі для міграції водних організмів. Швидкість потоку на порожисто-водоспадних ділянках була максимальною з зареєстрованих під час зйомки (1,1—1,4 м/с).

Ділянка можливого впливу від MWD до с. Ураві характеризується значним ухилом — 50 ‰, ширина русла становить 6—21 м. Глибини змінюються обернено до ширини русла — у найбільш широких (15—21 м) ділянках вони становлять 0,17—0,47 м, на вузьких (6—15 м) вони досягають 1,1—1,5 м. Основними елементами русла є переكاتи, що чергуються із заглибинами, є також пороги і скелі. Переважаючий біотоп — валуни,

які домінували на 57 % ділянок і мали діаметр до 800 см, інші відкладення включали каміння, гальку та гравій.

Нижче с. Ураві зменшення ухилу річки призвело до виникнення великих островів, сформованих піском, гравієм, галькою і частково вкритих заростями чагарників. Серед елементів багатурукавного русла домінували гряди, також зустрічались коси і переكاتи. Донні субстрати представлені переважно різнорозмірним камінням, іноді валунами.

Близько 2,5 км перед впадінням у р. Ріоні Лухуні знову протікає переважно в однорукавному руслі, розгалужуючись лише безпосередньо біля гирла, яке сформоване переважно галькою. Розподіл типів донних відкладів по станціях дослідження представлений у таблиці 1.

Аналіз схожості гранулометричного складу відкладів по руслу р. Лухуні і в її притоках показує, що у басейні виділяються три типи донних біотопів: валунні на станціях 2, 3, 4 і 7, кам'янисто-галечникові на станціях 5, 6, 9, 10, 11 і 12, гравійні на станціях 1 і 8 (рис. 2).

Населення донних біотопів р. Лухуні та її приток представлено 126 видами макробезхребетних з 17 таксономічних груп вищого рангу. Серед них безумовно домінують комахи, які склали до 98,2 % загальної чисельності, у тому числі німфи одноденок (38,3 %), німфи веснянок (15,3 %), личинки волохокрильців (9,4 %), мошок (18 %); комарів-дзвінців (14 %), інших двокрилих комах (3 %); на частку Oligochaeta, Gammaridae, Arachnida та інших припадало близько 2 % загальної чисельності. Найбільш багатими видами були личинки волохокрильців, німфи веснянок та одноденок.

Волохокрильці представлені 32 видами з 11 родин, з яких ендеміками і субендеміками Кавказу є *Agapetus oblongatus* Martynov, 1913 і *A. comatus* Pictet, 1834, *Apatania subtilis* Martynov 1909, *Diplectrona juliarum* Grigorenko & Ivanov, 1991, *D. robusta* Martynov, 1934, *Goera batumicus* (Martynov, 1913), *Glossosoma capitatum* Martynov, 1913 і *G. unguiculatum* Martynov, 1925, *Hydropsyche sciligra* Malicky, 1977, *Leptocerus tineiformis* Curtis, 1834, *Micrasema bifoliatum* Mart., 1925, *Philocrena trialetica* Lepneva, 1956, *Ptilocolepus colchicus* Martynov, 1913, *Plectrocnemia latissima* Martynov, 1913, *Polycentropus mazdacus* Schmid, 1959, *Stenophylax clavatus* (Martynov, 1916),

Таблиця 1

Розподіл типів донних субстратів (%) на станціях досліджень

Типи субстрату	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Валуни	3	9	8	6	1	41	19	14	51	71	73	3
Каміння	35	52	65	42	10	32	57	69	10	12	10	12
Галька	42	24	15	34	23	12	15	10	28	9	8	29
Гравій	10	7	10	13	52	9	6	5	4	4	4	47
Пісок	10	8	2	5	15	6	3	2	7	4	5	9

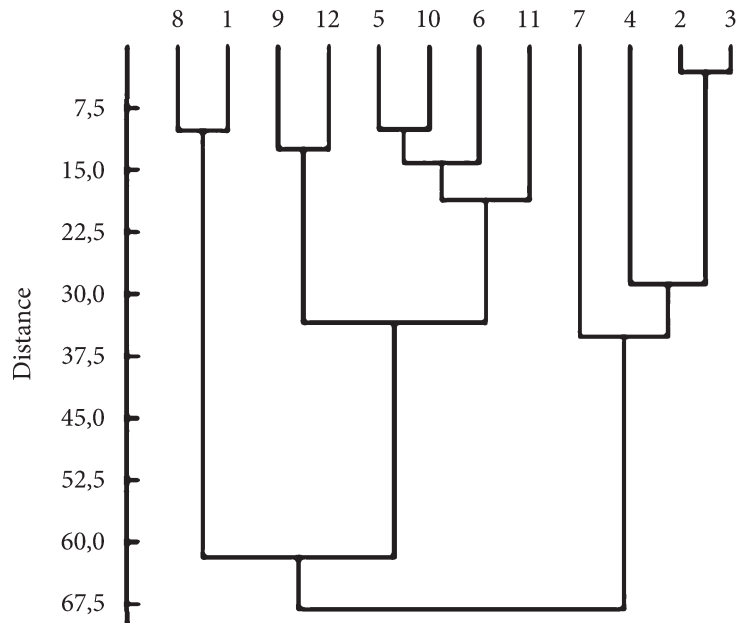


Рис. 2. Подібність гранулометричного складу донних відкладів на станціях досліджень

Rhyacophila cupressorum і *R. subovata* Martynov, 1913, *R. vicaria* Martynov, 1927, *R. subnubila* Martynov, 1913, *Silo proximus* Martynov, 1913 і *Trianodes internus* McL, 1877.

Виявлено 13 видів німф веснянок з 7 родин, з яких ендеміками і субендеміками Кавказу є *Perla caucasica* Guérin-Méneville, 1838 і *P. pallida* Guérin-Méneville, 1838, *Isoperla caucasica* Balinsky, 1950, *Pontoperla teberdinica* (Balinsky, 1950), *Protonemura bifida* Martynov, 1928 і *P. bacurianica* Zhiltzova, 1957, *Taeniopteryx caucasica* Zhiltzova, 1981.

Одноденки представлені 13 видами з трьох родин. Достовірно ідентифіковані вісім видів, з яких є ендеміки Кавказу: *Rhithrogena caucasica* Braasch, 1979, *Epeorus caucasica* Tshernova, 1938 і *Baetis baksan* Soldán, 1977.

Також важливо відмітити, що нами знайдено два види бабок, занесених до Червоного списку Грузії [9]: *Cordulegaster mzymtae* (Barteneff, 1929), що занечений також і до Червоного списку МСОП, і *Calopteryx mingrelica* (Selys 1869) зі статусом «вразливий». Німфи *Cordulegaster mzymtae* знайдені у другій правій притоці від MWD (ст. 5, див. рис. 1), крім того ми спостерігали літ дорослих особин над порогами у верхній течії р. Лухуні. Літ імаго *Calopteryx mingrelica* спостерігали у гирлі річки, на жаль, німфи цього виду не виявлені.

Кількісний розподіл безхребетних по руслу і у притоках був нерівномірним (рис. 3). Найбільша чисельність відмічена у притоці RT1 на кам'янистому біотопі (ст. 3) — 3147 екз/м², найменша — на найбільш

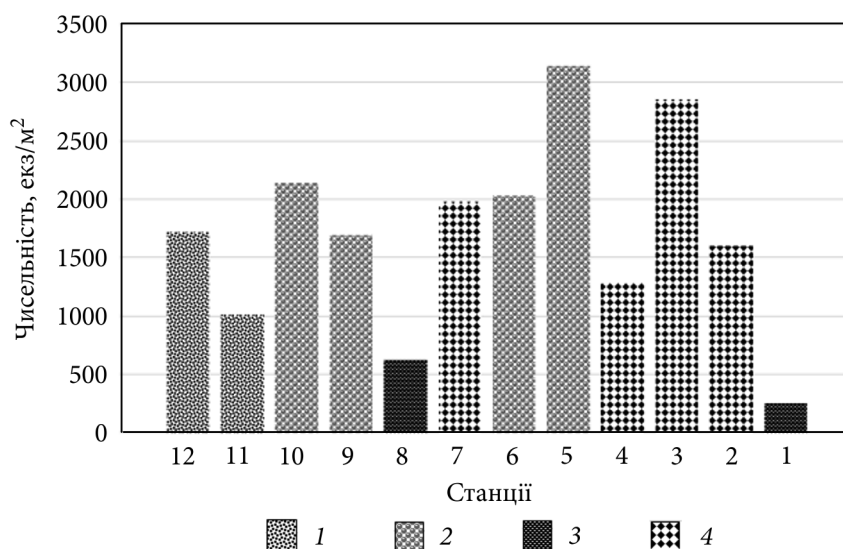


Рис. 3. Чисельність донних безхребетних на станціях дослідження, заливка стовпчиків відповідає різному складу донних відкладів та типу русла. 1 — багаторукавне русло + галька; 2 — однорукавне русло + каміння; 3 — однорукавне русло + гравій; 4 — порожисто-водоспадне русло + валуни

верхній обстеженій ділянці, яка характеризується гравійним дном. У притоках загалом відзначається більша кількість безхребетних, ніж в основному руслі, крім притоку RT5 (ст. 5), який також має переважно гравійне дно. Кількісний розподіл донних безхребетних не залежав від відстані точок дослідження до MWD. У той же час слід відмітити найменші кількісні показники безхребетних на порожисто-водоспадній ділянці з валунами, саме у точці MWD, що швидше за все було зумовлено періодичним скаламучуванням донних відкладів.

Кластерний аналіз кількісної представленості видів донних безхребетних на станціях спостереження також показав схожість структури угруповань у подібних біотопах (рис. 4). При цьому залежності від висоти над рівнем моря або відстані до MWD не відмічено. Встановлено три типи донних угруповань: з домінуванням Chironomidae і Simuliidae, які формуються у порожисто-водоспадному типі русла з валунами (ст. 2, 3 і 7), з домінуванням Baetidae, що населяють однорукавні русла з кам'янистим субстратом (ст. 5, 6, 9 і 10), з домінуванням Baetidae і Chironomidae, що віддають перевагу гравійним руслам (ст. 1 і 8).

Результати біоіндикації якості води за безхребетним тваринам не виявили явного впливу на структуру та склад угруповань донних безхребетних надходження вод збагачених арсеном. На ділянці між MWD та с. Ураві індекс Вудівісса дорівнював 10 балів, що відповідає відмінній якості води та першому класу екологічного стану.

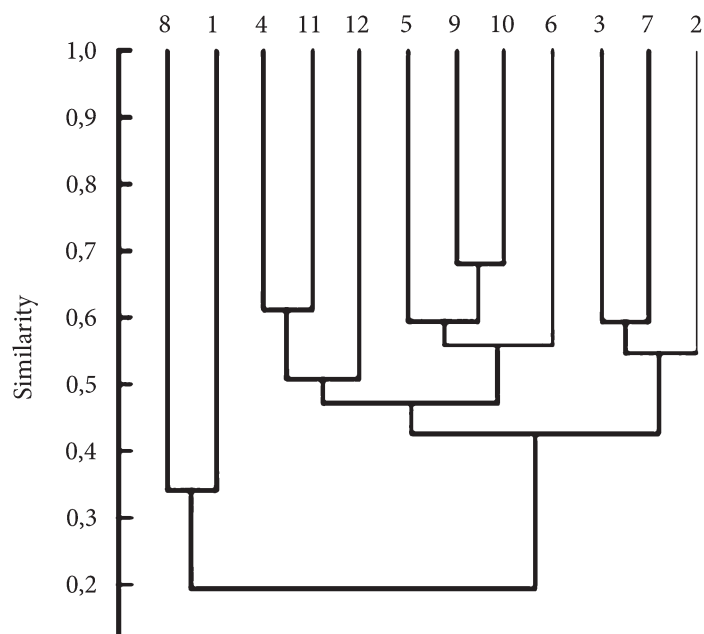


Рис. 4. Подібність кількісної представленості видів донних безхребетних на станціях дослідження

Від с. Ураві до с. Абарі і 1 км нижче за течією якість води знижується до «доброї» і навіть «задовільної», а екологічний стан відповідає другому — третьому класу. Вочевидь, таке погіршення викликано органічним забрудненням, що надходить із населених пунктів.

Через 2 км нижче с. Абарі і аж до місця впадіння річки в Ріоні, загальний стан річки дещо покращується, досягаючи «доброї — відмінної» якості води та першого класу екологічного стану. Всі притоки також мали «відмінну» якість води та перший клас екологічного стану.

Оцінка інтенсивності дрейфу безхребетних також може слугувати індикатором стану річки, а його добова динаміка має характерні риси у річках різних типів і може сигналізувати як про залпові, так і хронічні забруднення та/або впливи [6, 14, 15]. Отримані результати показують, що впродовж дня інтенсивність дрейфу істотно змінюється (рис. 5).

Загальна кількість дрейфуючих безхребетних у поперечному перерізі річки становила 161 000 екз., біомаса — 5,7 кг за добу, що співставно з нашими результатами, отриманими на подібних за типом та водністю річках Карпат (неопубліковані дані).

У басейні р. Лухуні за час досліджень було виявлено вісім видів риб (табл. 2), при цьому *Oxynocheilus merga* зареєстрований у басейні р. Ріоні вперше. Крім того, нами тут був описаний новий для науки вид азіатських храмуль *Carpoeta svaneticus* [31]. Найбільш поширеним видом у річці була форель струмкова *Salmo trutta*, яка зустрічалася на всіх точках

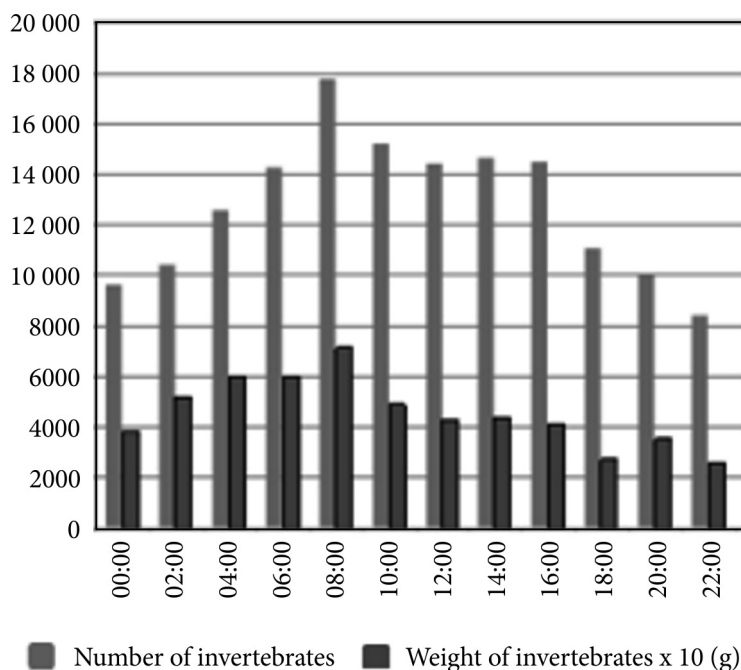


Рис. 5. Добова інтенсивність дрефту безхребетних по руслу р. Лухуні (для кращої візуалізації результатів біомасу безхребетних збільшено у 10 раз).

досліджень у руслі річки та подекуди у притоках. Це типовий для гірських річок Кавказу вид, який занесено до Червоного списку Грузії як вразливий.

Найбільша кількість особин форелі у р. Лухуні концентрується нижче багаточисельних порогів за великим камінням чи завалами деревини, де швидкість потоку невисока і наявна деяка турбулентність. На ділянці між MWD і с. Ураві таких місць проживання досить багато. Всі особини форелі, зловлені у р. Лухуні, як за кольором, так і за основними морфометричними показниками відповідали характеристикам виду. Найбільший вилонений екземпляр форелі мав довжину тіла 18 см і висоту 4,5 см.

Другий за поширеністю у басейні, але перший за чисельністю вид — *Alburnoides fasciatus* — бистрянка південна. Зазвичай, вона не підіймається вище 1000 м н. р. м. У наших уловах дорослі особини масово траплялись аж до ст. 4, а також поодинокі на ст. 6, яка знаходиться на висоті 1035 н. м. р. м. Молодь бистрянки зосереджена станціях 10, 11 та «а», на ділянках з невеликою швидкістю течії у відгалуженнях русла, що добре прогріваються.

Слід відмітити, що всі морфологічні ознаки вилонених екземплярів переважно відповідали *Alburnoides fasciatus*, але мали і деякі відмінності. Для виявлення особливостей морфологічних змін у риб, що поширені у місцях підвищеної концентрації іонів арсену, нами було проаналізовано меристичні і пластичні ознаки бистрянок з Кавказу. За основу було взято

вибірки з р. Лухуні (зона впливу) і сусідніх водойм: Губаніскалі (бас. р. Ріоні), Кінтріши, Чорох, Хоста і Шепсі. У порівнянні було використано також вибірку *Alburnoides eichwaldi* з р. Мармарік (Вірменія).

За результатами порівняння меристичних ознак шести вибірок бистрянки Кавказу (рис. 6), помітним є певне відособлення вибірки з р. Лухуні. Основна ознака, за якою відбулось розділення, — кількість розгалужених променів у анальному плавці. Відмінність по цьому признаку практично досягла рівня достовірності ($p < 0,05$).

Аналіз, проведений на основі пластичних ознак, показав аналогічну картину, причому бистрянки з р. Лухуні продемонстрували більшу подібність до *A. eichwaldi*, ніж до популяції свого виду. Основна пластична ознака, за якою відбулось розділення, це довжина риля ($p < 0,05$).

Крім того, встановлено, що 25 % особин мають формулу глоткових зубів 1,4—3,1, 1,5—3,1, що не відповідає систематичним ознакам *A. fasciatus*, при цьому вона також не відповідає опису близьких видів *A. bipunctatus* і *A. rossicus*.

Ще один поширений у басейні р. Лухуні вид це *Capoeta tinca*. Через відсутність даних про життєвий цикл та розповсюдження важко визначити його основні місця проживання. Зокрема, IUCN Read List вказує цей вид лише для Туреччини, однак наша знахідка однозначно підтверджує відомості про його існування і у басейні р. Ріоні [21]. Більшість дорослих екземплярів зловлено на кам'янистих порогах вище с. Ураві, крім того личинки і мальки ловились вище MWD. Дорослі особини також поодинокі зустрічалися на порожистих ділянках нижче с. Абарі та у гирлі річки.

Разом з *Capoeta tinca* у басейні р. Лухуні мешкає ще один вид азійських храмуль, який був описан нами як новий для науки *Capoeta svaneticus* sp. nov. [31]. *Capoeta svaneticus* відрізняється від *C. sieboldii*, *C. oguzelii* і *C. ekmekciae* двома парами вусиків, крім того *C. sieboldii* та *C. ekmekciae* характеризуються меншою кількістю лусок на бічній лінії (відповідно 53—59 і 57—60 проти 70—74 у *C. svaneticus*) і кількістю рядів луски вище

Таблиця 2

Розподіл видів риб по станціях досліджень

Види	Станції
1. <i>Salmo trutta</i> (Linnaeus, 1758)	1—12 a, b, c
2. <i>Barbus escherichii</i> Steindachner, 1897	8, 9, b
3. <i>Capoeta tinca</i> (Heckel, 1843)	8, 9, 10, 11 a, b
4. <i>Capoeta svaneticus</i> sp. nov.	9, a, b
5. <i>Alburnoides fasciatus</i> (Nordmann, 1840)	8, 9, 10, 11, a, b
6. <i>Squalius cephalus</i> (Linnaeus, 1758)	8, 10, a
7. <i>Cobitis satunini</i> Gladkov, 1935,	8, 9, 10, a
8. <i>Oxynoemacheilus merga</i> (Krynicky, 1840)	10, a, b

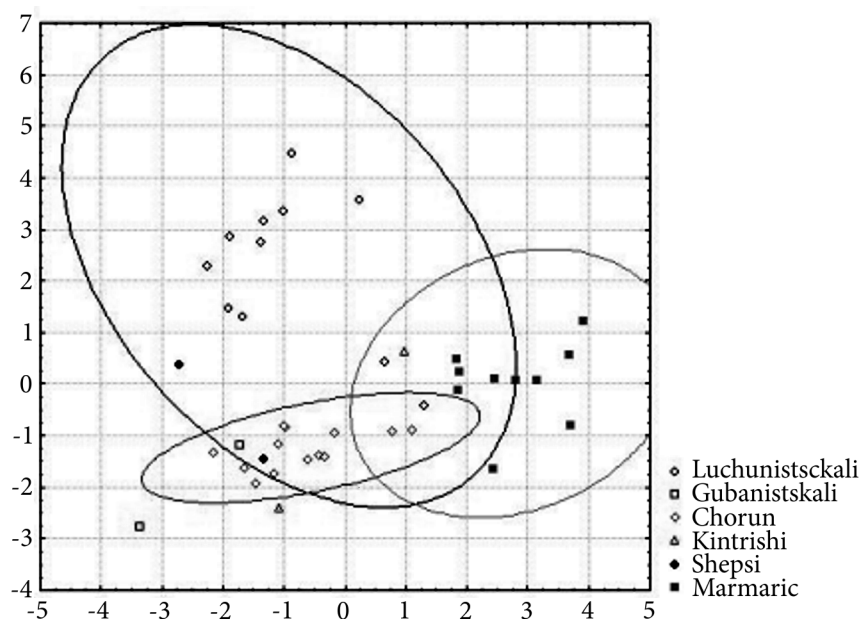


Рис. 6. Порівняння шести вибірок бистрянок з водойм Кавказу

бічної лінії (відповідно 9—11 і 9—10 проти 10—12). Від *C. baliki* та *C. banarescui*, які також мають по дві пари вусиків, *C. svaneticus* відрізняється меншою кількістю розгалужених променів спинного плавця ($8\frac{1}{2}$ — $9\frac{1}{2}$ (середнє 8,1) і $7\frac{1}{2}$ — $9\frac{1}{2}$ (середнє 8,0) проти зазвичай $7\frac{1}{2}$ (середнє 7,1)), кількістю зубців на останньому нерозгалуженому промені спинного плавця (17—23, 12—20 проти 6—9 у *C. svaneticus*), кількістю лусок вище бічної лінії (відповідно 14—17 і 12—14 проти 10—12 у *C. svaneticus*) і під нею (відповідно 10—11 і 8—9 проти 7—8). Всього було зловлено шість особин на ст. «а», дві особини на ст. 11 і одну на ст. «б» на кам'янистих порогах. Довжина тіла найбільшого виловленого екземпляра становить 11 см, висота тіла 3,6 см.

Вусач (*Barbus escherichii*) був відмічений лише нижче с. Абарі. Одна доросла особина довжиною 15 см була виловлена на ст. «б» і три однорічні особини біля впадіння р. Лухуні у р. Ріоні. За морфометричними ознаками спійманий дорослий вусач дуже близький до *Barbus tauricus escherichii* із колекції Національного природознавчого музею Національної академії наук України.

Головень (*Squalus cephalus*) був відмічений трохи вище гирла р. Лухуні в р. Ріоні. Кілька мальків і дорослу особину довжиною 18 см було зловлено на ст. 12. Оскільки цей вид не є мігруючим, малоімовірно, що він досягне зони можливого впливу збагачених арсеном вод.

Кавказький голець, або голець Криницького (*Oxynoemacheilus merga*) був відмічений на ст. «а» та «в». У прогрітих рукавах виловлена молодь і 12 дорослих особин. Варто зазначити, що цей ендемічний вид Північного

Кавказу поширений у басейні Каспійського моря. Ареал охоплює басейни річок Тергі, Сулак, Куна, Кубань, Самур [2]. У басейні Чорного моря до проведення наших досліджень його було знайдено лише у р. Кубань, де він дуже рідкісний [4]. Наша знахідка цього виду у притоці р. Ріоні підтверджує його присутність у Чорноморському басейні. Крім того, нижче за течією с. Ураві виловлена молодь і дві дорослі особини колхідського гольця *Cobitis satunini*. Оскільки гольці є дрібними осілими рибами, то мало ймовірно, що обидва ці види вони можуть піднятися через порожисті валунні ділянки до зони значного впливу MWD.

Обговорення результатів

За даними дослідження стану полігонів промислових відходів арсену та оцінки його розповсюдження у басейні р. Лухуні, наразі у безпосередній близькості від річки зберігається 100—110 тис. тон арсеновмісних речовин із загальним вмістом арсену 4—5 тис. тон. Вміст арсену у воді р. Лухуні коливається у межах $\sim 0,006$ — $0,011$ мг/дм³ [1], що формально нижче або на межі рівня, допустимого у країнах Європейського Союзу ($0,01$ мг/дм³) [12]. Наведена концентрація виглядає заниженою, особливо на фоні результатів того ж самого дослідження, де автор вказує, що у донних відкладах його вміст коливається у межах 18—200 мг/кг, помітно знижуючись вниз за течією річки [1], та наявних даних, що у крові жителів с. Ураві рівень арсену у 20—30 раз перевищує допустиму норму [40]. Крім того, відомо, що вміст арсену у ґрунтах у зоні переробки сульфідних руд у 10—100 раз перевищує межу допустимих концентрацій, а у результаті окислення сульфідних форм арсен переходить у рухому форму і вимивається із ґрунтів. Річний винос арсену р. Лухуні з басейну становить 4,2—4,5 т [10].

Така значна кількість арсену, що викликає видимі наслідки у населення прилеглих сіл [7], не може не впливати на біоту річки. На противагу значній кількості досліджень, спрямованих на вивчення біоаккумуляції арсену різними водними організмами, робіт з екологічних ефектів, зокрема зміни структури угруповань гідробіонтів внаслідок забруднення водних екосистем цим елементом вкрай мало. Зокрема, проводяться дослідження тенденцій зміни різноманіття бентосних бактерій у морських водах [39]. Нещодавне дослідження субфосильних залишків *Cladocera* у донних відкладах 22 забруднених арсеном озер у покинутому гірничодобувному районі Канади показало, що рівень забруднення може відігравати певну роль у формуванні і сучасного складу *Cladocera* [35]. У дослідженні впливу забруднення мікроелементами на структуру угруповань молюсків у Танзанії встановлено, що 68 % змін у структурі угруповань зумовлені забрудненням металами. Найпомітніший внесок у варіацію видового складу черевоногих і деяких двостулкових молюсків вносить арсен [33].

Для риб з оз. Тексома (Оклахома, Техас), де вміст арсену у донних відкладах складає від 47 до 209 мкг/г (що співставно з вмістом у бас. Лухуні), показано, що всі досліджені особини містили арсен у кількості від

0,1 до 34,0 мкг/г, сирій маси, але при цьому його концентрація у тканинах планктоноїдних риб парадоксально була значно вищою, ніж у всеїдних і хижих риб [25]. Цікаво, що є наявні дані про зниження концентрації арсену в тканинах з підвищенням трофічного рівня, накопичення у *Salmo trutta* було нижче ніж у донних безхребетних [19]. Також відомо, що арсен навіть за дуже низької концентрації імунотоксичний для риб і відтак може знизити їх стійкість до захворювань [20] і спричинити зміни у структурі угруповань. З іншого боку, багато робіт вказують на відсутність прямого впливу забруднення арсеном на структуру угруповань гідробіонтів різних трофічних рівнів. Зокрема про відсутність ефекту впливу арсену на угрупованнях фітопланктону за різного вмісту біогенних сполук зазначено у роботі [30]. Незважаючи на відмінності у рівнях біоаккумуляції важких металів, зокрема арсену, безхребетними у зливових ставках-відстійниках і невеликих мілководних озерах в Данії, донні угруповання у цих двох типах водойм мали подібне видове багатство і структуру [36].

На жаль, типовість чи дефектність угруповань донних безхребетних у р. Лухуні неможливо порівняти з такими інших річок регіону. Аналіз довідкових баз даних показав, що впродовж останніх 30 років у Грузії не проводилося детальних досліджень угруповань водних безхребетних. Є дані лише про окремі групи на деяких ділянках басейну р. Кури і річок Аджарії [22]. І хоча в огляді всіх літературних джерел по донним безхребетним Грузії вказується, що басейни Ріоні і Кури є найбільш вивченими [26], з'ясувалось, що у всіх цитованих роботах, що були опубліковані у середині 1950-х років, аналізується виключно кормова база риб, але ніяк не повний видовий склад і розподіл донних безхребетних.

Результати наших досліджень показують, що кількісний розподіл, склад і структура угруповань донних безхребетних у р. Лухуні ніяк не залежали від відстані від MWD і, відповідно, від концентрації арсену у воді і донних відкладах, а відповідали закономірностям залежно від висоти над рівнем моря [16, 17] і визначалися типом русла і гранулометричним складом донних наносів. Динаміка інтенсивності дрейфу безхребетних також не залежала від забруднення арсеном і була характерною для річок, що мають льодовикове живлення, коли збільшення стоку за рахунок зростання інтенсивності сніготанення у горах після сходу сонця призводить до посилення дрейфу безхребетних у ранковий час і впродовж дня.

Аналізуючи видовий склад і розподіл іхтіофауни можна відзначити що іхтіофауна басейну р. Ріоні налічує 28 видів риб [29], при цьому у р. Лухуні поширення і кількісна представленість звичайних для регіону видів цілком типові для подібного типу річок. По всьому руслу зустрічається форель, у середній і нижній течії домінує бистрянкка і з'являються марена і храмулі, нижче порогів у рукавах, що прогріваються, відзначаються *Sobitoidea*, а перед впадінням у Ріоні до них додається головень. Знахідки нового для басейну р. Ріоні *Oxynoemacheilus merga* можна пояснити малою кількістю досліджень іхтіофауни цього регіону та рідкістю цього виду у чорноморському басейні.

Досліджені морфологічні зміни у наймасовішого у басейні виду риб — бистрянки, на наш погляд, можна вважати показником забруднення річки арсеном, оскільки відомо, що біоаккумуляція арсену планктоноідними рибами, якими є бистрянки, йде швидше, ніж у інших трофічних груп [25]. Що стосується опису нового виду храмулі *Capoeta svaneticus*, то ми не виключаємо того, що підвищені природні фонові концентрації арсену, сполуки якого є сильним мутагеном для риб [32], в тому числі і для представників р. *Capoeta* [38], цілком могли спровокувати мутації і призвести до утворення нового виду, однак це не більше, ніж припущення.

Висновки

Проведене дослідження гідроморфології, структури угруповань донних безхребетних і іхтіофауни р. Лухуні, що протікає у районі родовищ арсену у Західній Грузії, показало, що у річці виділяються кілька типів біотопів, що відрізняються будовою русла і гранулометричним складом донних відкладів. Всього у басейні р. Лухуні виявлено 126 видів макробезхребетних, що належать до 17 таксономічних груп. Серед них домінують комахи, чисельність яких досягала 98,2 % загальної. Було виділено три типи угруповань донних безхребетних, які відповідали певним типам русла з характерним складом донних відкладів. Структура донних угруповань не залежала від вмісту сполук арсену у воді і в донних відкладах річки. Біоіндикація якості води та екологічного стану за показниками донних безхребетних свідчить виключно про наявність органічних забруднень у районі населених пунктів. Добова динаміка дрейфу безхребетних характерна для річок із льодовиковим типом живлення і також не вказувала на забруднення річки арсеном.

Іхтіофауна р. Лухуні включала вісім видів риб, з яких один — *Capoeta svaneticus* sp. nov. описаний вперше, а *Oxynoemacheilus merga* вперше відзначений для басейну р. Ріоні. Розподіл видів риб визначався висотою протікання над рівнем моря і видовою приуроченістю до певного типу місцеперебування, та не залежав від відстані до скиду арсеновмістних вод.

У найбільш масового виду риб у басейні — бистрянки виявлено морфологічні зміни, які, на наш погляд, можна вважати спричиненими забрудненням річки арсеном. Також ми не виключаємо того, що підвищені природні фонові концентрації арсену, сполуки якого є сильним мутагеном для риб, могли спровокувати мутації, що врешті-решт призвели до утворення нового виду храмуль.

Список використаної літератури

1. Багратиони Н. Исследование состояния полигонов промышленных отходов мышьяка и экологическая оценка ареала их распространения : автореф. дис. ... канд. хим. наук. Тбилиси, 2016. 36 с.
2. Веселов Е.А. Определитель пресноводных рыб фауны СССР. Москва : Просвещение, 1977. 238 с.
3. Вудивисс Ф. Биотический индекс реки Трент. Макробеспозвоночные и биологическое обследование. Научные основы контроля качества поверхностных вод

по гидробиологическим показателям: тр. совет.-англ. семинара. Ленинград : Гидрометеоздат, 1977. С. 132—161.

4. Ихтиофауна бассейна Кубани. Краснодар, 2017. 195 с.

5. Константинов М.М. Мышьяковые руды СССР. М., Гос. науч.- техн. геолого-развед. изд-во, 1932. 39 с.

6. Летицька О.М. Угруповання донних макробезхребетних гірських річкових систем (на прикладі басейну р. Тиса) : автореф. дис. ... канд. біол. наук. Київ, 2014. 24 с.

7. Манджавидзе Н.Ш., Зедгинидзе А.Г., Гагошидзе М.В. и др. Некоторые показатели гомеостаза у детей, проживающих в условиях загрязнения окружающей среды мышьяком. *Georgian Med. News*. 2015. № 4. С. 56—59.

8. Методика визначення масивів поверхневих та підземних вод. Затверджена Міністерством екології та природних ресурсів України від 14.01.2019 N 4.

9. Постанова Уряду Грузії № 190 від 20 лютого 2014 р. «Про «Червоний список» Грузії».

10. Супаташвили Г. Д., Лабарткава Н.А., Лория Н.В., Дугашвили Д.Т. Мышьяк в почвах и растительных пищевых продуктах районов добычи и переработки сульфидных руд в Грузии. *Изв. агр. науки*. 2010. Т. 8, № 4. С. 31—35.

11. Тодрадзе Г.А., Квиникадзе М.П., Лория Н.В., Ахалбедашвили Л.Г. К возможности применения композитов на основе природных материалов в очистке вод от отходов мышьякового производства. *Сучасні тенденції*. Тези доп. Київської конф. з аналіт. хімії, присв. 100-річчю від народження А.Т. Пилипенка. Київ, 2014. С. 41—42.

12. Arsenic and arsenic compounds (Environmental Health Criteria 224), 2nd ed. Geneva : World Health Organization, 2001. 521 p.

13. Afanasyev S.A. Development of European approaches to biological assessment of the state of hydroecosystems and their application to the monitoring of Ukrainian Rivers. *Hydrobiol. J.* 2002. Vol. 38, N 4. P. 130—148.

14. Afanasyev S.A. Reaction of the biota of mountain rivers to volley pollution releases. *Ibid.* 2003. Vol. 39, N 2. P. 3—11.

15. Afanasyev S.O. Problems and progress of investigations of hydroecosystems' ecological state in view of implementation of EU environmental directives in Ukraine. *Ibid.* 2019. Vol. 55, N 2. P. 3—17.

16. Afanasyev S.A., Lietitskaya Ye.N., Manturova O.V. Altitude distribution and structural organization of hydrobionts' communities in the rivers of the mountainous part of the tisa river basin. *Ibid.* 2013. Vol. 49, N 4. P. 16—25

17. Afanasyev S.A., Lietytska Ye.N. Structure of dominance/diversity of benthic macroinvertebrate communities in the Carpathian rivers. *Ibid.* 2019. Vol. 55, N 4. P. 3—15.

18. Afanasyev S.A., Filipova Ye.Ye., Lietitskaya Ye.N. Diurnal dynamics of zoo-drift in the mouth section of the Desna River. *Ibid.* 2018. Vol. 54, N 4. P. 42—49.

19. Culioli J., Fouquoire A., Calendini S. et al. Trophic transfer of arsenic and antimony in a freshwater ecosystem: A field study. *Aquatic Toxicol.* 2009. Vol. 94, N 4. P. 286—2934.

20. Datta S., Ghosh D., Saha D.R. et al. Chronic exposure to low concentration of arsenic is immunotoxic to fish: Role of head kidney macrophages as biomarkers of arsenic toxicity to *Clarias batrachus*. *Ibid.* 2009. Vol 92, N 2. P. 86—949.

21. Elanidze R.P. Ichthyofauna of Riv. Rioni. *Proceed. of Institute of Zoology, Georgian Academy of Sciences*. 1956. Vol. XV.

22. Godunko R.J., Palatov D.M., Martynov A.V. Mayflies of the Caucasus Mountains. A new representative of the subgenus *Rhodobaetis* Jacob, 2003 (Baetidae: Baetis) from the South-Western Caucasus. *Zootaxa*. 2015. Vol. 3948, N 2. P. 182—202.

23. Hammer O., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 2001. Vol. 4, N 1. 9 p.

24. Hering D., Moog O., Sandin L., Verdonschot Piet F.M. Overview and application of the AQEM assessment system. *Hydrobiologia*. 2004. Vol. 516. P.1—20.

25. Hunter R.G., Carroll J.H., Butler J.S. The relationship of trophic level to arsenic burden in fish of a southern great plains lake. *J. Freshwater Ecol.* 1981. Vol. 1, N 1. P. 121—127.
26. Japoshvili B., Bozhadze M., Gioshvili M. A review of benthic fauna biodiversity in Georgia. *Ann. Agrar. Sci.* 2016. Vol. 14, Iss. 1. P. 7—10.
27. Manual for the application of the AQEM system. A comprehensive method to assess european streams using benthic macroinvertebrates, developed for the purpose of the water framework directive. Version 1.0, 2002, Key Action 1: Sustainable Management and Quality of Water Contract N: EVK1-CT1999-00027. 198 p.
28. Linnik P.N. Arsenic in natural waters: forms of occurrence, peculiarities of migration, and toxicity (a review). *Hydrobiol. J.* 2015. Vol. 51, N 6. P. 84—106
29. Ninua N. Sh., Japoshvili B.O. Check list of fishes of Georgia. *Proc. of the Institute of Zoology.* 2008. Vol. XXIII. P. 163—176
30. Planas D., Lamarche A. Lack of effect of arsenic on phytoplankton communities in different nutrient conditions. *Can. J. Fish. Aquatic Sci.* 1983. Vol. 40, N 2. P. 156 — 161.
31. Roman A., Afanasyev S., Golub O., Lietytska O. *Capoeta svaneticus* a new species from the Luchunis River (Rioni River drainage) in Georgia (Teleostei: Cyprinidae). *Zoodiversity.* in press.
32. Ramírez O.A.B., García F.P. Genotoxic damage in zebra fish (*Danio rerio*) by arsenic in waters from Zimapán, Hidalgo, Mexico. *Mutagenesis.* 2005. Vol. 20, N 4. P. 291—295.
33. Rumisha C., Elskens M., Leermakers M., Kochzius M. Trace metal pollution and its influence on the community structure of soft bottom molluscs in intertidal areas of the Dar es Salaam coast, Tanzania. *Mar. Pollut. Bull.* 2012. Vol. 64, N 3. P. 521—531.
34. Schmidt-Kloiber A., Graf W., Lorenz A. et al. The AQEM/STAR taxalist — a pan-European macro-invertebrate ecological database and taxa inventory. *Hydrobiologia.* 2006. Vol. 566, N. 1. P. 325—342.
35. Sivarajah B., Vermaire J.C., Smol J.P. Assessing the potential environmental factors affecting cladoceran assemblage composition in arsenic-contaminated lakes near abandoned silver mines. *J. Limnol.* 2004. Vol. 80, iss. 22021.
36. Stephansen D.A., Nielsen A.H., Hvitved-Jacobsen T. et al. Invertebrates in storm-water wet detention ponds — Sediment accumulation and bioaccumulation of heavy metals have no effect on biodiversity and community structure. *Sci. Tot. Environ.* 2016. Vol. 566—567. P. 1579—15871.
37. Xi-Mei Xue, Chan Xiong, Masafumi Yoshinaga et al. The enigma of environmental organoarsenicals: Insights and implications. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 2021. DOI: 10.1080/10643389.2021.1947678.
38. Zehra Y., Turgay S. Genotoxic effects of water pollution on two fish species living in Karasu River, Erzurum, Turkey. *Environ. Monitor. Assess.* 2014. Vol. 186, N 11. P. 8007—80163.
39. Zárate A., Dorador C., Valdés J. et al. Benthic microbial diversity trends in response to heavy metals in an oxygen-deficient eutrophic bay of the Humboldt current system offshore the Atacama Desert. *Environ. Pollut.* 2021. DOI: 10.1016/j.envpol.2021.117281.
40. <http://www.georgiatimes.info/analysis/83568.html>

Надійшла 19.11.2021

S.O. *Afanasyev*, NAS Corresponding Member, Dr. Sci. (Biol.), Prof., Director,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
12 Geroyiv Stalingrada prosp., Kyiv, 04210, Ukraine,
e-mail: safanasyev@ukr.net
ORCID 0000-0002-5247-3542

O.M. *Lietytska*, PhD (Biol.), Senior Researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
12 Geroyiv Stalingrada prosp., Kyiv, 04210, Ukraine,
e-mail: lietytska@ukr.net
ORCID 0000-0001-7026-4093

A.M. *Roman*, PhD (Biol.), Researcher,
Technical University Metinvest Polytekhnik,
71a Sechenova str., Mariupol' 87524, Ukraine,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
12 Geroyiv Stalingrada prosp., Kyiv, 04210, Ukraine,
e-mail: aroman.fish@gmail.com
ORCID 0000-0001-6270-8141

O.Ye. *Iaroshevitch*, PhD (Geogr.), Blue Rivers Consulting
12b Pushkinska str., Kyiv, 01001, Ukraine
e-mail: iaralex@ukr.net

O.S. *Konovalenko*, PhD (Geogr.), Senior Researcher,
Ukrainian hydrometeorological institute NAS of Ukraine
37 Prospekt Nauky, Kyiv, 03280, Ukraine
e-mail: oks_konovalenko@ukr.net

K.V. *Mudra*, PhD (Geogr.), Blue Rivers Consulting
12b Pushkinska str., Kyiv, 01001, Ukraine
e-mail: kmudra@ukr.net

O.O. *Golub*, leading engineer,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
12 Geroyiv Stalingrada prosp., Kyiv, 04210, Ukraine,
e-mail: oleggolub@ukr.net

O.G. *Marushevska*, Blue Rivers Consulting
12b Pushkinska str., Kyiv, 01001, Ukraine

HYDROMORPHOLOGY, BOTTOM MACROINVERTEBRATES AND ICHTHYOFAUNA OF THE MOUNTAIN RIVER IN THE AREA OF ARSENIC DEPOSITS (WESTERN GEORGIA)

The paper considers the peculiarities of the distribution of benthic invertebrates and ichthyofauna, as well as the results of hydromorphological studies of the Luhuni River (the Rioni River Basin) in the area of the largest arsenic deposits in the European part of the former USSR. It was shown that the quantitative indicators of the composition and drift intensity of macroinvertebrates did not depend on the arsenic concentration of in water, but were determined by the type of channel and the particle size distribution of sediments. The distribution of fish was determined by the height of the flow above sea level and the species confined to a certain type of habitat, and did not depend on the distance to the discharge of arsenic-containing waters. At the same time, morphological changes, which can be considered to be caused by arsenic contamination, were found in the most common species of fish. It is also possible that elevated natural concentrations of arsenic could provoke mutations that led to the formation of a new species of the genus *Capoeta*.

Key words: *hydromorphology, bottom invertebrates, ichthyofauna, arsenic, Western Georgia.*