



АГРАРЕН УНИВЕРСИТЕТ – ПЛОВДИВ
ФАКУЛТЕТ РАСТИТЕЛНА ЗАЩИТА И
АГРОЕКОЛОГИЯ

Катедра Агроекология и опазване на околната среда

Петя Георгиева Захариева

**СЪДЪРЖАНИЕ НА ТЕЖКИ МЕТАЛИ В РИБИ И
ТЕХНИ ПАРАЗИТИ ОТ РЕКА ДУНАВ –
ЕКОЛОГИЯ И БИОИНДИКАЦИЯ**

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертация за присъждане на образователна и
научна степен
”Доктор”

Научна специалност:

Екология и опазване на екосистемите

Научен ръководител:

Проф. д-р Диана Кирин

Пловдив, 2022

АГРАРЕН УНИВЕРСИТЕТ – ПЛОВДИВ
ФАКУЛТЕТ РАСТИТЕЛНА ЗАЩИТА И АГРОЕКОЛОГИЯ

Катедра Агроекология и опазване на околната среда

Петя Георгиева Захариева

СЪДЪРЖАНИЕ НА ТЕЖКИ МЕТАЛИ В РИБИ И ТЕХНИ ПАРАЗИТИ ОТ
РЕКА ДУНАВ – ЕКОЛОГИЯ И БИОИНДИКАЦИЯ

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертация за присъждане на образователна и научна степен
”Доктор”

Научна специалност:

Екология и опазване на екосистемите

Научен ръководител:

Проф. д-р Диана Кирин

Пловдив, 2022

Дисертационният труд е написан в 250 страници и съдържа 42 таблици и 106 фигури. Използвани са 349 литературни източника, от които 28 на кирилица и 285 на латиница, 6 нормативни документа, 10 стандартизирани метода (БДС) и 20 online бази данни.

Изследванията по дисертационната работа са извършвани в Лаборатория към катедра Екология и опазване на околната среда, Аграрен университет – Пловдив.

Дисертационния труд е обсъден и предложен за защита на заседание на разширен катедрен съвет на катедра Екология и опазване на околната среда при Аграрен университет – Пловдив с Протокол № 2/12.10.2022г.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 21.12.2022 г. от 11:00 часа в 8 аудитория на факултета по Растителна защита и агроекология при Аграрен университет – Пловдив на заседание на Специализираното научно жури, утвърдено с решение на ФС на факултета по РЗА с Протокол № 26/25.10.2022г. и назначено от Ректора на Аграрен университет със Заповед № РД-16-1117/31.10.2022г. в състав:

Вътрешни членове:

1. Доц. д-р Пенка Станчева Запрянова-Алексиева – Председател; Рецензент
2. Проф. д-р Владислав Харалампиев Попов

Външни членове:

3. Проф. дн Васил Костадинов Атанасов – Рецензент
4. Проф. д-р Диян Михаилов Георгиев
5. Доц. д-р Гана Минкова Гечева

Настоящите изследвания са извършени с финансовата подкрепа на:

- 1) Аграрен университет – Пловдив в рамките на докторска дисертация № Д-75;
- 2) Центъра за научни изследвания, трансфер на технологии и защита на интелектуалната собственост към Аграрен университет – Пловдив във връзка с проекти № 02-19, № 04-20, № 09-21 „Съдържание на тежки метали в риби и техни паразити от река Дунав – екология и биоиндикация” в направление „Подкрепа на докторски програми“.
- 3) Три статии са публикувани с финансовата подкрепа по проект № 17-12 в направление „Подкрепа на публикационната дейност“ към ЦНИТТЗИС при Аграрен университет – Пловдив.

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в библиотеката на Аграрен университет – Пловдив, бул. „Менделеев” № 12.

I. УВОД

Река Дунав със своята дължина от 2857 км се нарежда сред трите най-дълги реки в Европа (заедно с р. Волга и р. Урал) (Ilie и др., 2016). Река Дунав пресича континента в посока запад-изток, преминава през четири столици и свързва редица държави до вливането ѝ в Черно море (Baltălungă, Dumitrescu, 2008; Danalache и др., 2020). Човекът със своята дейност (селскостопанска, промишлена и добивна, изграждане на мостове, язовири, електрически централи, прекомерен улов и т.н.) оказва силно влияние върху качеството на водите, местообитанията, видовото разнообразие на организмите и други (Schiemer и др., 2004; Juhásová и др., 2019; Pavlović и др., 2019; Frincu и др., 2020; Lenhardt и др., 2020).

Живеейки и хранейки се във водна среда, **рибите** не са защитени и са изложени на вредното въздействие на различни замърсители. Те могат да приемат замърсители (в т.ч. тежки метали) непосредствено от заобикалящата ги среда или косвено от други водни организми (по-малки риби, безгръбначни организми, водна растителност) (Authman и др. 2015). Рибите се намират на върха на хранителната верига във водна среда (Javed, Usmani, 2017; Jovanović и др., 2017; Jovičić и др., 2018), имат дълъг живот, акумулират големи количества замърсители, удобни са за пробонабиране и всичко това ги прави подходящи биоиндикатори (Brázová и др., 2012; Petkovšek и др., 2012). Рибите и рибните продукти са препоръчителна и съществена част от храната на човека (Andreji и др., 2012; Afshan и др., 2014).

Тежките метали се акумулират във всички жизненоважни органи и тъкани на рибите. Най-високи концентрации на тежки метали се откриват в черния дроб, бъбреците и хрилете на рибите, а при някои и в червата (Javed, Usmani, 2017). От всички рибни тъкани и органи, най-често обект на изследване е мускулатурата на рибите, тъй като тя се консумира от човека. На второ място, на изследване се подлага черният дроб на рибите. Той се отличава с по-висок потенциал за натрупване на тежки метали спрямо мускулите (Jovičić и др., 2018). Тежките метали могат да увредят и да нарушат нормалната работа на мозъка, белите дробове, бъбреците, черния дроб и други важни органи (Jaishankar и др., 2014). Токсичните тежки метали оказват негативно въздействие върху рибите, като могат да повлияят на техния растеж, репродукция, смъртност (Simionov и др., 2016). Влияние върху концентрациите на токсични елементи в различните тъкани и органи на риби оказват фактори като: местообитание, физико-химични свойства на водата, възраст, пол, физиологично състояние на рибите и други (Andreji и др., 2012). Начинът на хранене на рибите също влияе върху натрупването на тежки метали в организма им (Petkovšek и др., 2012; Jovanović и др., 2017).

Изследванията показват, че освен в тъкани и органи на риби, високи концентрации на тежки метали се акумулират и от **паразити на риби** (Sures и др., 1997a). Приемът и натрупването на тежки метали и металоиди в паразити на риби зависи от различни фактори като: вида на паразитите, стадия на развитие на паразитите (ларви или възрастни), локализацията на паразитите в гостоприемника и т.н. (Nachev и др., 2013). При някои паразити се наблюдава натрупване на тежки метали и металоиди до концентрации, които надминават тези, установени в техните гостоприемници – различни видове риби (Sures и др., 1997a; Marcogliese, 2005; Sures и др., 2017). По този начин паразитите могат да намалят нивата на тежки метали в техните гостоприемници (Nachev и др., 2010).

Малко автори изследват концентрациите на тежки метали и металоиди в тъкани и органи на риби и техни паразити от българския участък на р. Дунав. Повечето от тези изследвания са насочени за долния участък на реката на българска територия. Липсват изследвания върху концентрациите на тежки метали в риби, както и върху циркулацията на тежки метали в системата риби – паразити – води – седименти в участъка непосредствено след навлизането на р. Дунав в България (при с. Куделин). Всичко това мотивира интереса и необходимостта от извършването на настоящото изследване.

II. ЛИТЕРАТУРЕН ПРЕГЛЕД

Литературната справка се основава на 193 научни публикации, които предоставят данни за концентрациите на тежки метали и металоиди във води и седименти, сладководни риби и техни паразити от р. Дунав и Дунавския басейн. Литературния преглед е за периода от 1975 до 2022 година.

В автореферата са посочени основни обобщения и изводи.

1. Проучванията на тежки метали в тъкани и органи на сладководни видове риби от българския участък на р. Дунав се отнасят основно за долния участък на реката (село Ветрен и град Силистра). Има данни и за концентрации на тежки метали в риби от горния участък на р. Дунав в района на градовете Козлодуй и Видин, като тези изследвания са малко.
2. Изследванията върху нивата на тежки метали във води и седименти от българския участък на р. Дунав са насочени отново за долния участък на реката – в района на с. Ветрен и малко данни за района на гр. Силистра. Има и единични проучвания за тежки метали във води и седименти от горния участък на р. Дунав – в района на с. Ново село.
3. Малко са изследванията върху *Abr. brama* и *Alb. alburnus* от българския участък на р. Дунав, като тези изследвания са за долния участък на реката в България – в района на с. Ветрен. Няма данни за концентрации на тежки метали/ металоиди в тъкани и органи на *Ch. nasus* от българския участък на р. Дунав.
4. Литературната справка показва, че изследванията върху концентрациите на тежки метали и металоиди в паразити на риби от българския участък на реката са малко. Тези изследвания са основно за паразити в риби от долния участък на р. Дунав (с. Ветрен и гр. Силистра), докато за по-горните участъци на реката в България има единични данни (за района на гр. Козлодуй, с. Арчар и гр. Видин).
5. Най-често изследваните хелминти за натрупване на тежки метали от тъкани и органи на риби, води и седименти са акантоцефалите *P. laevis* (за р. Дунав в други държави и в България) и *Ac. lucii* (за р. Дунав в България и басейна на р. Дунав в други държави), както и нематодът *E. excisus* (за р. Дунав и басейна ѝ в България).

III. ЦЕЛ И ЗАДАЧИ

Цел на настоящата работа е да се извършат научни изследвания върху съдържанието на тежки метали в риби и техни паразити от сладководната екосистема на р. Дунав.

За реализиране на поставената цел е необходимо да бъде извършена научноизследователска работа по следните **задачи**:

1. Определяне съдържанието на мед (Cu), кадмий (Cd) и арсен (As) в тъкани, органи и хелминти на *Alburnus alburnus* (Linnaeus, 1758), *Abramis brama* (Linnaeus, 1758) и *Chondrostoma nasus* (Linnaeus, 1758), води и седименти от р. Дунав, биотоп Куделин (област Видин) за периода 2019-2021 г. Сравнително разглеждане на съдържанието на Cu, Cd и As в тъкани, органи и хелминти на *Alburnus alburnus*, *Abramis brama*, *Chondrostoma nasus*, във води и седименти.
2. Определяне на сезонните изменения в съдържанието на Cu, Cd и As в тъкани и органи на *Alburnus alburnus*, *Abramis brama* и *Chondrostoma nasus*, води и седименти.
3. Определяне на годишните изменения в съдържанието на Cu, Cd и As в тъкани и органи на *Alburnus alburnus*, *Abramis brama* и *Chondrostoma nasus*, води и седименти.
4. Проследяване на циркулацията на Cu, Cd и As в системите води – седименти – риби – доминиращи видове хелминти.
 - 4.1. Проследяване на циркулацията на Cu, Cd и As в системата води – седименти – *Abramis brama* – *Pomphorhynchus laevis*.
 - 4.2. Проследяване на циркулацията на Cu, Cd и As в системата води – седименти – *Alburnus alburnus* – *Pomphorhynchus laevis*.

- 4.3. Проследяване на циркулацията на Cu, Cd и As в системата води – седименти – *Chondrostoma nasus* – *Pomphorhynchus laevis* – *Contracaecum* sp.
5. Сезонни и годишни изменения в циркулацията на Cu, Cd и As в системите води – седименти – риби.

IV. МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

IV.1. КРАТКА ПРИРОДНО-ГЕОГРАФСКА ХАРАКТЕРИСТИКА НА РЕКА ДУНАВ, ДУНАВСКИЯ БАСЕЙН И ИЗСЛЕДВАНИЯ БИОТОП

IV.1.1. Кратка природно-географска характеристика на река Дунав и Дунавския басейн

Река Дунав преминава през територията на 10 държави – Германия, Австрия, Словакия, Унгария, Хърватия, Сърбия, Румъния, България, Молдова и Украйна (https://danube-region.eu/wp-content/uploads/2019/08/eusdr_success_stories_bg.pdf), докато басейнът на реката се простира върху територията на още повече държави – 19, включвайки и Швейцария, Италия, Словения, Чехия, Полша, Босна и Херцеговина, Албания, Северна Македония, Черна гора (<http://www.icpdr.org/>). Река Дунав със своята дължина от 2857 км се нарежда на второ място по дължина в Европа след Волга (Yigitlerhan, Murray, 2008). Повече от 300 реки се вливат в р. Дунав по цялото ѝ течение (Gasparotti, 2014). По-големи притоци на р. Дунав са: р. Лех (при 2 497 речен км), р. Ин (при 2 225 речен км), р. Морава (при 1 880 речен км), р. Драва (при 1 384 речен км), р. Тиса (при 1 215 речен км), р. Сава (при 1 171 речен км), р. Велика Морава (1 103 речен км), р. Тимок (при 846 речен километър), р. Жиу (692 речен км), р. Искър (при 637 речен км), р. Олт (при 604 речен км) и други (Hock, Kovács, 1987).

IV.1.2. Кратка природно-географска характеристика на изследвания биотоп от река Дунав

Село Куделин се намира в северозападната част на България, по поречието на р. Дунав и е част от Бреговско-Новоселската низина. Селото попада в границите на община Брегово, която е разположена в област Видин (<https://www.strategy.bg/StrategicDocuments/View.aspx?lang=bg-BG&Id=316>). Село Куделин (44°11'30" N, 22°40'5" E; 844 речен км) се намира на около 2 км от границата със Сърбия, малко след вливането на р. Тимок в р. Дунав. Землището на Куделин е разположено на десния бряг на р. Дунав (<https://bregovo.net>).

IV.1.3. Кратка характеристика на изследваните тежки метали и металоид (Cu, Cd и As)

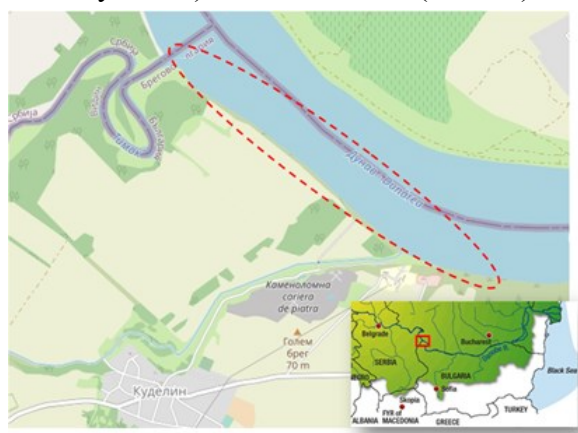
Тежките метали представляват група химични елементи в периодичната таблица, които имат относителна атомна маса по-голяма от 40 и плътност над 5 g.cm⁻³. Тежките метали се разделят на 3 основни групи според степента им на опасност за здравето на човека. Към първата група се отнасят кадмият (Cd) и арсенът (As), а към втората група – медта (Cu). Първата група обхваща най-опасните сред тежките метали (Георгиев и др., 2011). **Кадмий (Cd)**. Кадмият може да бъде открит естествено в околната среда (въздух, води, почви, седименти) (Morais и др., 2012). Освен от природни източници (като вулканичните изригвания, изветрянето и други), кадмият попада в околната среда и чрез различни антропогенни дейности като рудодобив, изгаряне на битови отпадъци, производство на торове и други (Jaishankar и др., 2014). Този елемент може да бъде открит в по-високи концентрации в близост до рудни находища (Блажева, Богоева, 2013). За основен източник на кадмий в околната среда се счита изгарянето на изкопаеми горива (въглища, нефт), както и изгарянето на битови отпадъци (Afshan и др., 2014; Levit, 2010). **Мед (Cu)**. В реки, езера, морета и други водоеми, медта присъства в незначителни количества – приблизително 5 µg.l⁻¹, докато във водите, намиращи се в близост до места, в които се извършва рудодобивна дейност, медта може да бъде открита в по-големи концентрации (Яблански, Петков, 2011). Медта постъпва в околната среда от различни източници (например добив и топене на мед; предприятия, произвеждащи медни продукти като тел, тръби и

ламарина; изгаряне на изкопаеми горива и други) (Mahurpawar, 2015). **Арсен (As)**. Арсенът е маталоид, който се среща в различни форми (органични и неорганични). С по-голяма токсичност се отличават неорганичните му форми (Богоева, Блажева, 2014). Арсенът попада в околната среда както от природни източници, така и от антропогенни. Към природните източници се отнасят вулканичните изригвания, почвената ерозия (Tchounwou и др., 2012), докато към антропогенните спадат добивът и преработка на руди (Jaishankar и др., 2014), електроцентралите (Динева, 2016).

IV.2. ТЕРЕННИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

IV.2.1. Вземане на проби от води, седименти и риби от река Дунав, биотоп Куделин

През сезоните пролет (22.03 – 22.06), лято (22.06 – 22.09) и есен (22.09 – 22.11) на трите изследователски години са събрани проби от води, седименти и риби за определяне съдържанието на тежки метали и маталоид от р. Дунав в околностите на с. Куделин (наречено биотоп Куделин), област Видин (**Фиг. 1**).



Фиг. 1. Разположение на биотоп Куделин от р. Дунав, от който са улавяни рибите (Саунах Sports Tracker GPS; <http://www.icpdr.org/>; с изменения и допълнения)

Пробите от води от р. Дунав са събрани с помощта на уред за вземане на проби от повърхностни води съгласно стандарт БДС EN ISO 5667-6:2016 Качество на водата. Вземане на проби. Част 6: Ръководство за вземане на проби от реки и потоци; БДС EN ISO 5667-6:2016/A11:2020 Качество на водата. Вземане на проби. Част 6: Ръководство за вземане на проби от реки и потоци. Пробите от седименти са събрани с помощта на дъночерпател на Екман (обхват 225 см²). Пробовземането е извършено съгласно изискванията на стандарт БДС ISO 5667-12:2017 Качество на водата. Вземане на проби. Част 12: Ръководство за вземане на проби от дънни седименти от реки, езера и естуарни зони. През периода на изследване 2019-2021 г. са взети общо по 27 проби от води и седименти (по 3 проби от води и седименти на сезон) от три места по течението на р. Дунав от устието на р. Тимок до покрайните на с. Куделин (**Фиг. 2**).



Фиг. 2. Координати на местата за вземане на проби от води и седименти по течението на р. Дунав (<https://maps.google.com>)

Рибите са уловени с различни риболовни уреди в съответствие с изискванията на Министерство на земеделието и Изпълнителна агенция по рибарство и аквакултури за улов на риба за научноизследователски цели (БДС EN 14757:2015 Качество на водата. Вземане на проби от риба с многобримкови мрежи). Видът на уловените екземпляри риби е определен по определител „Рибите в България“ на Карапеткова и Живков (2006) и Fröse, Pauly (2022). Доминиращи видове риби за трите сезона на изследване през трите година са скобар, *Chondrostoma nasus* (Linnaeus, 1758); платика, *Abramis brama* (Linnaeus, 1758) и уклей, *Alburnus alburnus* (Linnaeus, 1758).

Вътрешните органи на всеки екземпляр от изследваните видове риби са фиксирани в 70% етилов алкохол за последващо изследване в лабораторни условия за хелминти. Общо са подготвени за изследване 810 проби от риби за хелминти.

IV.3. ЛАБОРАТОРНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

Пробите от води (по 1 l) веднага след вземането им са фиксирани в лабораторни условия с азотна киселина (5 ml). Пробите от седименти (по 1 kg) в лабораторни условия са изсушавани до въздушно сухо тегло, след което са подготвени в полиетиленови пликове с цип. В лабораторни условия са подготвени проби от черен дроб, кожа и мускули в свежо и въздушно сухо състояние (по 5 броя средни проби от всеки сезон и всеки вид риба). Пробите от тъкани и органи (черен дроб, кожа и мускули) са изсушавани (при 60 °C) до въздушно сухо тегло. Рибите са подложени и на екологопаразитологични изследвания (Зашев, Маргаритов, 1966). За моделни таксони са избрани хелминтите *P. laevis* и *Contracaecum* sp. Изготвените проби от води и седименти, органи и тъкани на сладководни риби, проби от хелминти са анализирани за съдържание на Cu, Cd и As чрез използване на атомен абсорбционен спектрофотометър ICP “ОПТИМА 7000” Perkin-Elmer в акредитирана лаборатория на Института по биоразнообразие и екосистемни изследвания (ИБЕИ) при Българска академия на науките (БАН), София.

IV.4. СТАТИСТИЧЕСКА ОБРАБОТКА НА ДАННИТЕ

Статистическата обработка на данните е извършена чрез използване на програмните продукти MS Excel (Microsoft, 2010), BioDiversity Pro (McAleese и др.1997) и Statistica 10 (StatSoft Inc., 2011).

V. РЕЗУЛТАТИ

V.1. СЪДЪРЖАНИЕ НА CU, CD И AS В ТЪКАНИ И ОРГАНИ НА *ALBURNUS ALBURNUS*, *ABRAMIS BRAMA* И *CHONDROSTOMA NASUS* ОТ РЕКА ДУНАВ, БИОТОП КУДЕЛИН

В настоящият раздел са представени резултатите от изследванията за съдържание на Cu, Cd и As в черен дроб, кожа и мускули на доминиращи видове риби от семейство Cyprinidae (*Alb. alburnus*, *Abr. brama* и *Ch. nasus*) от сладководната екосистема на р. Дунав (биотоп Куделин), които се различават по начина си на живот и хранене. Представени са: 1) кратка характеристика на трите доминиращи вида сладководни риби (по Карапеткова, Живков, 2006; Богоев, 2007; Янков и др., 2015; Маргаритова, 2019; Kottelat, 1997; Kottelat, Freyhof, 2007; Lepič и др., 2020); 2) съдържание на Cu, Cd и As в черен дроб, кожа и мускули на изследваните риби за периода 2019-2021 г. и 3) превишения на мед, кадмий и арсен в тъкани и органи на трите вида риби спрямо норми в национални и международни документи.

Начинът на разработката е представен на примера на съдържанието на Cu, Cd и As в тъкани и органи на *Chondrostoma nasus*.

V.1.3. Съдържание на Cu, Cd и As в тъкани и органи на *Chondrostoma nasus*

На територията на България *Chondrostoma nasus* (Linnaeus, 1758) (Cyprinidae) се среща в р. Дунав и притоците му. Видът достига дължина до 50 см и тегло до 1 кг. Скобарът живее до 20 години. Тялото на скобара е странично сплеснато и удължено. Отличителен белег на този вид е разположението и формата на устата. Тя е долна, във вид на права цепнатица, разположена по цялата ширината на долната страна на

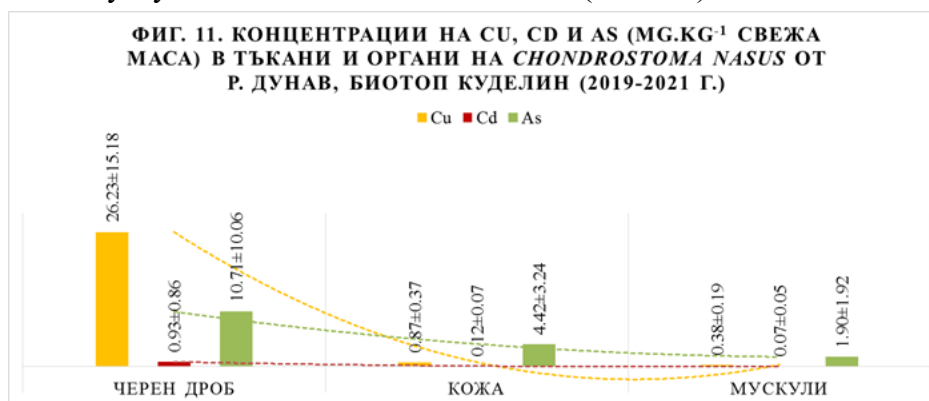
главата. Скобарът е сладководна, дънна, стадна риба. Предпочита тези участъци на реките, в които течението на водата е умерено. Видът използва за храна основно водорасли. Скобарът е обект на спортен и любителски риболов.

През периода 2019-2021 г. са събрани и изследвани за съдържание на тежки метали и металоид (Cu, Cd и As) 270 екземпляра (по 90 екземпляра на година) *Ch. nasus* от р. Дунав, Куделин. Концентрациите на трите изследвани елемента са по-високи в черен дроб на скобар (за свежа маса съответно, $C_{Cu}=26.23\pm 15.18 \text{ mg.kg}^{-1}$; $C_{Cd}=0.93\pm 0.86 \text{ mg.kg}^{-1}$; $C_{As}=10.71\pm 10.06 \text{ mg.kg}^{-1}$), спрямо тези в кожа (за свежа маса съответно, $C_{Cu}=0.87\pm 0.37 \text{ mg.kg}^{-1}$; $C_{Cd}=0.12\pm 0.07 \text{ mg.kg}^{-1}$; $C_{As}=4.42\pm 3.24 \text{ mg.kg}^{-1}$) и мускули (за свежа маса съответно, $C_{Cu}=0.38\pm 0.19 \text{ mg.kg}^{-1}$; $C_{Cd}=0.07\pm 0.05 \text{ mg.kg}^{-1}$; $C_{As}=1.90\pm 1.92 \text{ mg.kg}^{-1}$). Установена е достоверна функционална (детерминирана) зависимост по отношение на всеки от трите изследвани елемента (Cu, Cd, As) и съдържанието им в съответните проби от черен дроб, кожа и мускули (коэффициент на Spearman $r_s=1.0$, $n=3-9$). Естеството на изследваните проби от тъкани и органи на скобар са от съществено значение за съдържанието на анализирания елементи (тест на Friedman $F=6.0$; $p=0.049 < 0.05$). **Съдържанието на мед, кадмий и арсен в тъкани и органи на скобар намалява в реда: черен дроб > кожа > мускули. Концентрациите на изследваните елементи в черен дроб на скобар намаляват в следния ред: Cu > As > Cd, докато концентрациите им в кожа и мускули намаляват в реда: As > Cu > Cd** (Таблица 12).

Таблица 12. Съдържание на Cu, Cd и As (mg.kg^{-1} свежа маса; mg.kg^{-1} въздушно сухо тегло) в тъкани и органи на *Chondrostoma nasus*

р. Дунав (Куделин)		Cu		Cd		As	
		Ранг	Средна±SD	Ранг	Средна±SD	Ранг	Средна±SD
Черен дроб	mg.kg^{-1} свежа маса	3.03-55.65	26.23±15.18	0.03-4.09	0.93±0.86	2.43-48.70	10.71±10.06
	mg.kg^{-1} въздушно сухо тегло	7.39-426.60	85.61±78.87	0.09-15.91	2.67±3.11	5.09-146.25	30.17±30.02
Кожа	mg.kg^{-1} свежа маса	0.28-1.95	0.87±0.37	0.03-0.28	0.12±0.07	0.95-14.90	4.42±3.24
	mg.kg^{-1} въздушно сухо тегло	0.64-5.64	2.34±1.07	0.08-2.26	0.50±0.45	2.39-41.62	12.08±9.41
Мускули	mg.kg^{-1} свежа маса	0.09-0.82	0.38±0.19	0.01-0.23	0.07±0.05	0.37-9.30	1.90±1.92
	mg.kg^{-1} въздушно сухо тегло	0.42-3.31	1.55±0.73	0.04-0.69	0.24±0.16	1.34-41.19	7.42±8.10

Концентрациите на Cu са много по-високи в проби от черен дроб спрямо тези в проби от кожа (30.15 пъти) и мускули (69.03 пъти). Нивата на Cd в черен дроб са най-високи и са съответно 7.75 и 13.29 пъти по-високи от тези в кожа и мускули. Стойностите на As са по-високи в черен дроб, като превишават концентрациите на арсен в кожа и мускули съответно 2.42 и 5.64 пъти (Фиг. 11).



Концентрациите на изследваните елементи в тъкани и органи на скобар от р. Дунав са сравнени с МДК посочени в Наредба № 31 от 2004 г. и с нормите дадени от FAO и WHO. Концентрациите на Cd в черен дроб, кожа и мускули превишават 18.6, 2.4 и 1.4 пъти МДК в Наредба № 31, а тези в черен дроб превишават 4.65 пъти нормата посочена от FAO. Концентрациите на As в черен дроб, кожа и мускули превишават

единствено МДК в Наредба № 31, съответно 10.71, 4.42 и 1.9 пъти. Съдържанието на Cu в черен дроб превишава 2.62 пъти МДК в Наредба № 31, както и 1.31 пъти нормата дадена от WHO. *За периода 2019-2021 г., по-високи превишения на Cd са установени в черен дроб на скобар, докато по-високи превишения на As са установени в кожа и мускули. Отчетени са и превишения на Cu, но те са по-ниски от тези на другите два изследвани елемента в черен дроб (Фиг. 12).*



Легенда: Биологични проби: 1) Наредба № 31 от 29 юли 2004 г. за максимално допустимите количества замърсители в храните – МДК (mg/kg свежа маса) – 10 mg/kg за Cu, 0.05 mg/kg за Cd, 1 mg/kg за As; 2) FAO – 30 mg/kg за Cu, 0.2 mg/kg за Cd; 3) WHO – 20 mg/kg за Cu.

Дискусия

Изследвания върху съдържанието на тежки метали/металоиди в тъкани и органи на скобар от р. Дунав и басейна ѝ са малко (Таблица 13).

Таблица 13. Изследвания върху съдържанието на тежки метали в тъкани и органи на *Chondrostoma nasus* от р. Дунав и басейна на реката в други държави

Chondrostoma nasus от река Дунав в други държави				
Автор	Място	Тъкани / органи	Елементи	Стойности за Cu/ Cd/ As
Jirsa и др. (2008)	реки в Австрия, включително р. Дунав	черен дроб, черва, мускули, хриле	Cd, Pb, Cu и Zn	за Cu в черен дроб: 25-333 µg сухо тегло за Cd в черен дроб: 1.57 µg сухо тегло (незамърсени места); 5.58 µg сухо тегло (замърсени места)
Zrnčić и др. (2013)	р. Дунав в Хърватия	мускули	Hg, Pb, Cd и As	за Cd в мускули: 0.005-0.018 µg ⁻¹ сухо тегло; 0.008±0.005 µg ⁻¹ сухо тегло за As в мускули: 0.011-0.045 µg ⁻¹ сухо тегло; 0.022±0.098 µg ⁻¹ сухо тегло
Chondrostoma nasus от басейна на река Дунав в други държави				
Stranai, Andreji (2007)	р. Нитра, Словакия	мускули, черен дроб и бъбреци	Co, Ni, Cr, Pb и Cd	за Cd в черен дроб: 0.05-0.34 mg.kg ⁻¹ ; 0.21±0.14 mg.kg ⁻¹ за Cd в мускули: 0.06-0.10 mg.kg ⁻¹ ; 0.08±0.01 mg.kg ⁻¹
Andreji и др. (2012)	р. Нитра, Словакия	мускули	Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb и Cd	за Cu: 15.39-25.97mg/kg свежа маса; 21.95±0.84 mg/kg свежа маса за Cd: 0.00-0.11mg/kg свежа маса; 0.01±0.01 mg/kg свежа маса
Đikanović и др. (2016a)	язовир Međuvršje (басейна на р. Западна Морава), Сърбия	черен дроб, мускули и хриле	As, B, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Sr и Zn	за Cu в черен дроб: 269.36±128.37 µg.g ⁻¹ сухо тегло за Cu в мускули: 2.29±1.16 µg.g ⁻¹ сухо тегло за Cd в черен дроб: 0.36±0.22 µg.g ⁻¹ сухо тегло за Cd в мускули: 0.03±0.05 µg.g ⁻¹ сухо тегло за As в черен дроб: 4.26±0.95 µg.g ⁻¹ сухо тегло за As в мускули: 3.50±0.66 µg.g ⁻¹ сухо тегло

Stranai, Andreji (2007) изследват мускули и черен дроб на *Ch. nasus* от р. Нитра в Словакия и съобщават концентрации на кадмий в черен дроб ($C_{Cd}=0.21 \text{ mg.kg}^{-1}$), които са 4.43 пъти по-ниски от установените в настоящото изследване ($C_{Cd}=0.93 \text{ mg.kg}^{-1}$), както и концентрации на Cd в мускули ($C_{Cd}=0.08 \text{ mg.kg}^{-1}$), които са 1.14 пъти по-високи от установените за биотоп Куделин ($C_{Cd}=0.07 \text{ mg.kg}^{-1}$). Andreji и др. (2012) проучват мускули на скобар от р. Нитра в Словакия за тежки метали и съобщават следните концентрации за мед и кадмий: $C_{Cu}=21.95 \text{ mg/kg}$ свежа маса и $C_{Cd}=0.01 \text{ mg/kg}$ свежа маса, като посочените концентрации на Cu превишават 57.76 пъти установените за биотоп Куделин ($C_{Cu}=0.38 \text{ mg.kg}^{-1}$ свежа маса), докато концентрациите за Cd в мускули на скобар от р. Нитра са 7 пъти по-ниски от откритите в настоящото изследване ($C_{Cd}=0.07 \text{ mg.kg}^{-1}$ свежа маса).

Няма проучвания върху съдържанието на тежки метали в тъкани и органи на скобар от българския участък на р. Дунав, както и от басейна на реката в България. Настоящото изследване дава първи данни за съдържание на Cu, Cd и As в черен дроб, кожа и мускули на *Ch. nasus* от р. Дунав в България.

Получените резултати извяват черния дроб на *Ch. nasus* като добър биоиндикатор за Cd.

V.2. СЪДЪРЖАНИЕ НА CU, CD И AS В ХЕЛМИНТИ НА *ALBURNUS*, *ABRAMIS BRAMA* И *CHONDROSTOMA NASUS* ОТ Р. ДУНАВ, БИОТОП КУДЕЛИН

В резултат на екологопаразитологичното изследване като моделен вид общ за *Alb. alburnus*, *Abr. brama* и *Ch. nasus* от р. Дунав (Куделин) е избран акантоцефалът *P. laevis*. Отделно е избран *Contracaecum* sp. като единствен доминиращ вид в съобществата на *Ch. nasus*. Този вид е доминиращ през трите години и през всички сезони при скобара, поради което отделно е изследван за наличие на тежки метали и металоид. В дисертацията е представена кратка характеристика на *P. laevis* и *Contracaecum* sp. по отношение на таксономия, разпространение, цикъл на развитие, локализация и др. Разработката е представена на примера на *Contracaecum* sp. и *P. laevis* от скобар.

Определено е съдържанието на Cu, Cd и As (mg.kg^{-1} свежа маса) в *P. laevis* и *Contracaecum* sp. от *Ch. nasus*. И в двата паразита е установено най-високо съдържание на As – $C_{As}=370.07\pm 229.35$ (в *P. laevis*) и $C_{As}=79.10\pm 28.58$ (в *Contracaecum* sp.); следвано от това на Cu – $C_{Cu}=9.25\pm 5.73$ (в *P. laevis*) и $C_{Cu}=15.07\pm 19$ (в *Contracaecum* sp.) и Cd – $C_{Cd}=2.31\pm 1.43$ (в *P. laevis*) и $C_{Cd}=3.51\pm 3.36$ (в *Contracaecum* sp.). Концентрациите на As в *P. laevis* от скобар са 40.01 и 160.2 пъти по-високи от тези на Cu и Cd, съответно. Нивата на As в *Contracaecum* sp. от скобар са 5.25 и 22.54 пъти по-високи от тези на Cu и Cd, съответно. Концентрациите на As в *P. laevis* са 4.68 пъти по-високи от тези в *Contracaecum* sp., докато концентрациите на Cu и Cd в *P. laevis* са съответно 1.63 и 1.52 пъти по-ниски от тези в *Contracaecum* sp. (Таблица 16).

Таблица 16. Съдържание на Cu, Cd и As (mg.kg^{-1} свежа маса) в *Pomphorhynchus laevis* и в *Contracaecum* sp. от *Chondrostoma nasus*

Река Дунав (биотоп Куделин)	Cu		Cd		As	
	Ранг	Средна \pm SD	Ранг	Средна \pm SD	Ранг	Средна \pm SD
<i>Pomphorhynchus laevis</i> от <i>Chondrostoma nasus</i>	3.27-14.69	9.25 \pm 5.73	0.82-3.67	2.31 \pm 1.43	130.61-587.76	370.07 \pm 229.35
<i>Contracaecum</i> sp. от <i>Chondrostoma nasus</i>	0.25-51.56	15.07 \pm 19	0.43-9.29	3.51 \pm 3.36	27.96-111.54	79.10 \pm 28.58

Съдържанието на изследваните елементи в *P. laevis* и *Contracaecum* sp. от *Ch. nasus* намалява в реда: As > Cu > Cd. Концентрациите на трите елемента в кожата и мускули на скобар намаляват в същия ред, докато концентрациите им в черен дроб на скобар следват реда: Cu > As > Cd.

Значими различия са установени между концентрациите на As в *P. laevis* и *Contracaecum* sp., паразити на *Ch. nasus* ($t_{As}=29.45$, $p=0.03<0.05$) и Cu ($t_{Cu}=21.37$, $p=0.04<0.05$). Видът на хелминта е от значение за съдържанието на As и Cu в пробите.

Превишение на Cu е отчетено единствено в *Contracaecum* sp. от скобар (1.51 пъти спрямо Наредба № 31). По отношение на съдържанието на Cd, най-високо превишение отново е отчетено в *Contracaecum* sp. от скобар (70.2 пъти спрямо Наредба № 31 / 17.55 пъти спрямо нормата посочена от FAO), следван от *P. laevis* от скобар (46.2 пъти спрямо Наредба № 31 / 11.55 пъти спрямо FAO). Превишенията на As са най-високи в *P. laevis* от скобар (370.07 пъти спрямо Наредба № 31).

Няма изследвания върху концентрациите на Cu, Cd и As в паразити на скобар от р. Дунав в България.

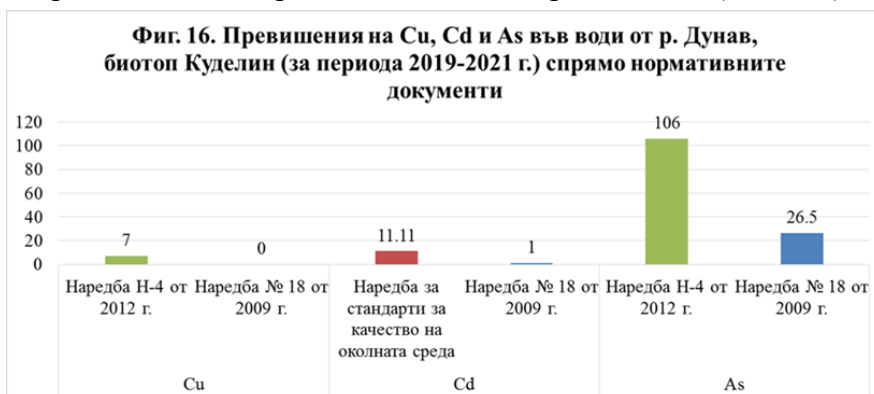
Получените резултати извяват *Contracaecum* sp. като добър биоиндикатор за съдържание на Cd, а *P. laevis* - на As.

V.3. СЪДЪРЖАНИЕ НА CU, CD И AS ВЪВ ВОДИ И СЕДИМЕНТИ ОТ Р. ДУНАВ, БИОТОП КУДЕЛИН

Разгледано е съдържанието на Cu, Cd и As във води (mg.l^{-1}) и седименти (mg.kg^{-1} въздушно сухо тегло) от р. Дунав (биотоп Куделин) за периода 2019-2021 г. Посочени са превишенията на трите елемента във води и седименти спрямо национални и международни законодателни документи.

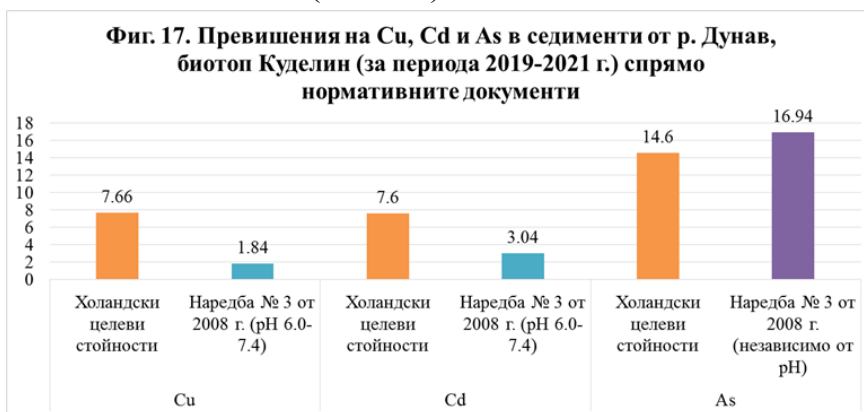
Средните стойности на изследваните елементи във води от р. Дунав (Куделин) са: $C_{CuВоди}=0.07\pm 0.07 \text{ mg.l}^{-1}$; $C_{CdВоди}=0.01\pm 0.02 \text{ mg.l}^{-1}$ и $C_{AsВоди}=2.65\pm 2.21 \text{ mg.l}^{-1}$. Концентрациите на трите елемента във води за периода 2019-2021 г. намаляват, както следва: $As > Cu > Cd$. Концентрациите на мед, кадмий и арсен в седименти от р. Дунав са съответно: $C_{CuСедименти}=275.65\pm 184.80 \text{ mg.kg}^{-1}$ въздушно сухо тегло; $C_{CdСедименти}=6.08\pm 18.73 \text{ mg.kg}^{-1}$ въздушно сухо тегло и $C_{AsСедименти}=423.41\pm 270.48 \text{ mg.kg}^{-1}$ въздушно сухо тегло. Съдържанието на изследваните тежки метали и металоид в седименти за 2019-2021 г. намалява отново в реда: $As > Cu > Cd$.

Концентрациите на Cu във води от р. Дунав, биотоп Куделин са съпоставени със средногодишната стойност (СГС) в Наредба Н-4 от 2012 г. и с ПДК посочена в Наредба № 18 от 2009 г.; концентрациите на Cd – със стойностите посочени в Наредба за стандарти за качество на околната среда и Наредба № 18; а концентрациите за As – с нормите посочени в Наредба Н-4 и Наредба № 18. Най-високи превишения са установени за As във води спрямо Наредба Н-4 и Наредба № 18, съответно 106 и 26.5 пъти. Съдържанието на Cd във води превишава 11.11 пъти МДК в Наредба за стандарти за качество на околната среда. Съдържанието на Cu във води превишава 7 пъти СГС в Наредба Н-4 и не превишава ПДК в Наредба № 18 (Фиг. 16).



Легенда: Повърхностни води: 1) Наредба Н-4 от 2012 г. за характеризирание на повърхностните води – СГС (mg/l), CaCO_3 100-250 – 0.01 mg/l за Cu, МДК (mg/l) – 0.025 mg/l за As; 2) Наредба за стандарти за качество на околната среда за приоритетни вещества и някои други замърсители – МДК (mg/l), клас 4 – 0.0009 mg/l за Cd; 3) Наредба № 18 от 2009 г. за качество на водите за напояване на земеделските култури – ПДК (mg/dm³) – 0.2 mg/dm³ за Cu; 0.01 mg/dm³ за Cd; 0.1 mg/dm³ за As

Съдържанието на мед, кадмий и арсен в седименти от р. Дунав, Куделин е съпоставено с Холандските целеви стойности и МДК посочени в Наредба № 3 от 2008 г. Превишения са установени и за трите изследвани елемента. Превишението в съдържанието на As в седименти е най-високо спрямо Наредба № 3 – 16.94 пъти. По отношение на Холандските целеви стойности, отново най-високо е превишението на As – 14.6 пъти. Превишенията на Cu и Cd спрямо Холандските целеви стойности са близки, съответно 7.66 и 7.6 пъти (Фиг. 17).

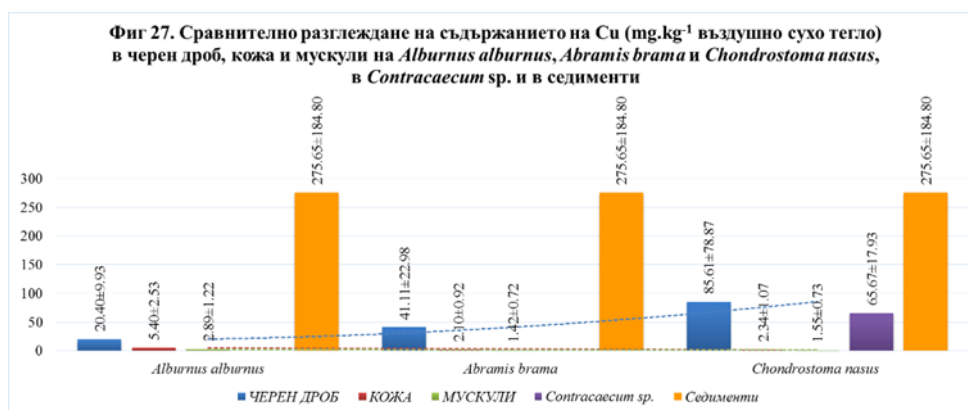
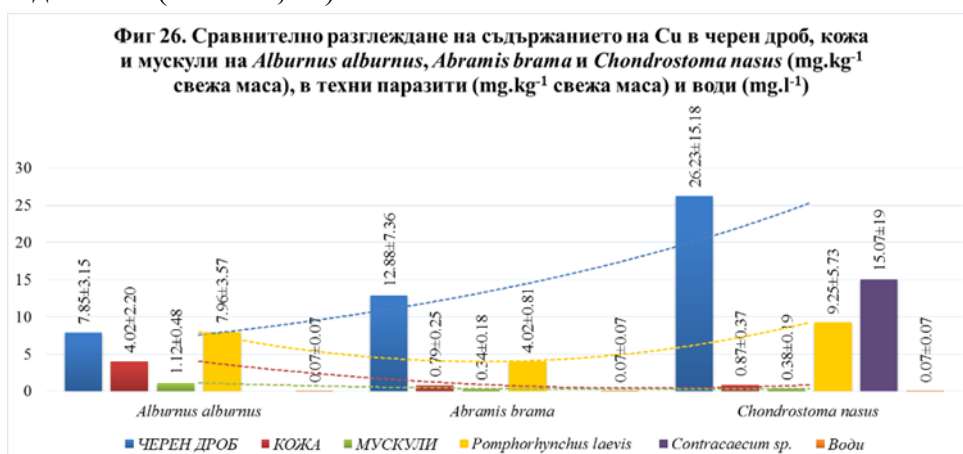


Легенда: Седименти: 1) Холандски целеви стойности (mg/kg въздушно сухо тегло) – 36 mg/kg за Cu; 0.8 mg/kg за Cd; 29 mg/kg за As; 2) Наредба № 3 от 2008 г. за нормите за допустимо съдържание на вредни вещества в почвите: МДК (mg/kg) за обработваеми земи (pH 6.00-7.4) – 150 mg/kg за Cu; 2 mg/kg за Cd; МДК (mg/kg) за обработваеми земи, независимо от pH – 25 mg/kg за As.

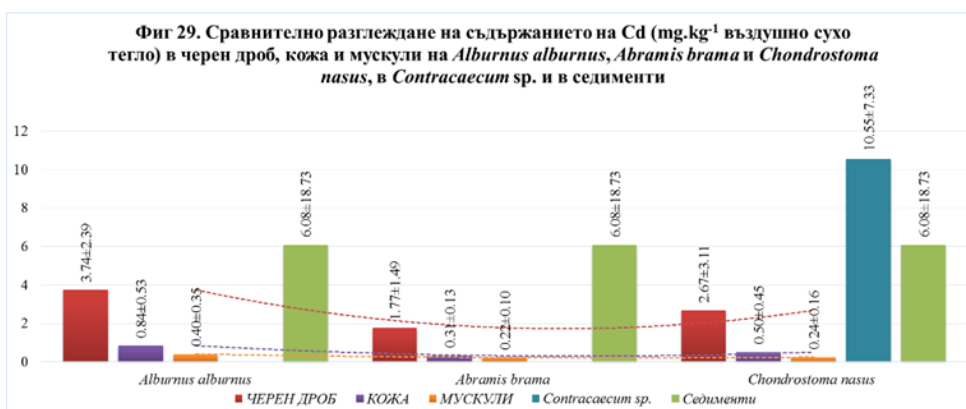
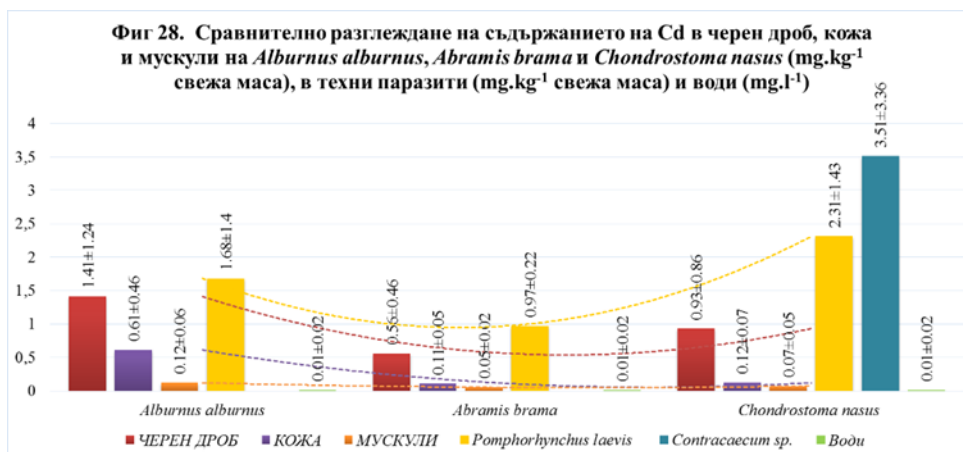
V.4. СРАВНИТЕЛНО РАЗГЛЕЖДАНЕ НА СЪДЪРЖАНИЕТО НА CU, CD И AS В ТЪКАНИ И ОРГАНИ НА РИБИ, ХЕЛМИНТИ, ВОДИ И СЕДИМЕНТИ

Средните концентрации на Cu, Cd и As за периода 2019-2021 г. са разгледани и сравнени по видове риби, техни паразити, води и седименти от р. Дунав, Куделин. Сравнителното разглеждане в дисертацията е представено по елементи. В автореферата са представени обобщения на получените резултати.

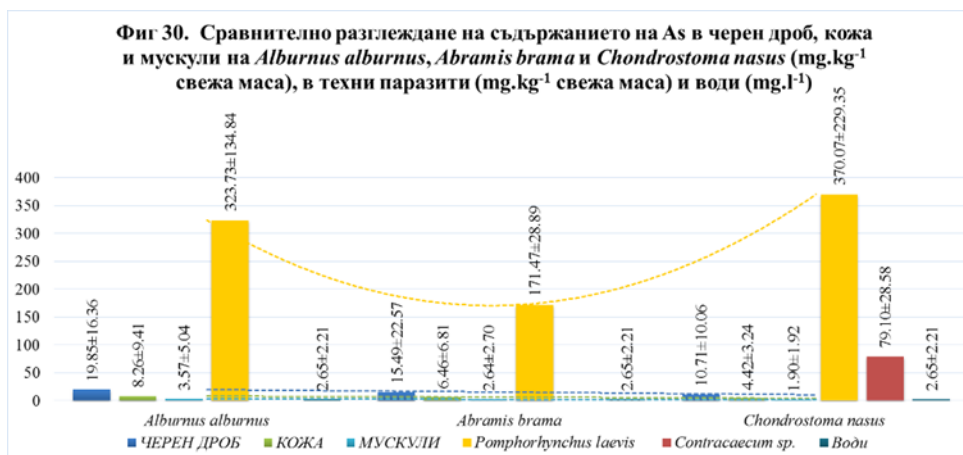
Най-високи концентрации на Cu в черен дроб са установени при *Ch. nasus* ($C_{Cu}=26.23\pm 15.18 \text{ mg.kg}^{-1}$ свежа маса), а в кожа и мускули – при *Alb. alburnus* ($C_{Cu}=4.02\pm 2.20 \text{ mg.kg}^{-1}$ свежа маса и $C_{Cu}=1.12\pm 0.48 \text{ mg.kg}^{-1}$ свежа маса). Концентрациите на Cu в черен дроб на трите вида риби, намаляват в реда: *Ch. nasus* > *Abr. brama* > *Alb. alburnus*, а в кожа и мускули следват реда: *Alb. alburnus* > *Ch. nasus* > *Abr. brama*. Съдържанието на Cu в тъкани и органи на трите вида риби (от 4.86 до 374.71 пъти), както и в паразити (от 57.43 до 215.29 пъти) е по-високо от това във води. Концентрациите на Cu в тъканите и органите на уклей, платика и скобар (от 3.22 до 194.12 пъти), както и в *Contracaecum* sp. от *Ch. nasus* (4.2 пъти) са по-ниски от тези в седименти (Фиг. 26, 27).

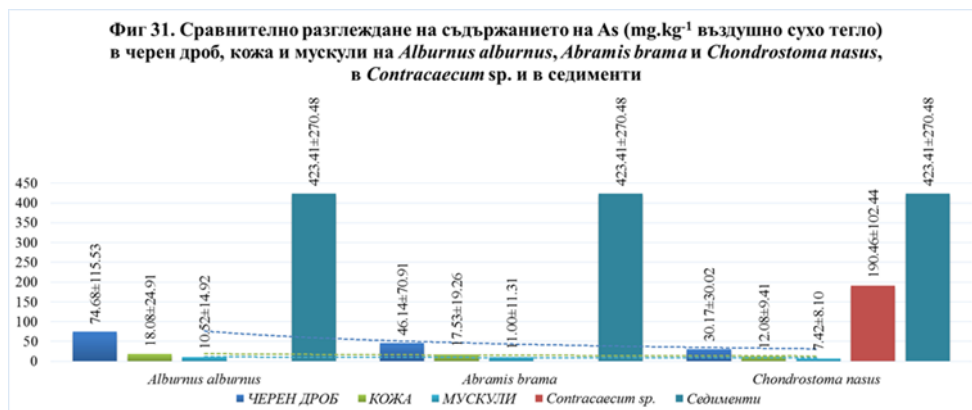


Най-високи концентрации на Cd в черен дроб, кожа и мускули са установени при *Alb. alburnus* ($C_{Cd}=1.41\pm 1.24 \text{ mg.kg}^{-1}$ свежа маса, $C_{Cd}=0.61\pm 0.46 \text{ mg.kg}^{-1}$ свежа маса и $C_{Cd}=0.12\pm 0.06 \text{ mg.kg}^{-1}$ свежа маса, съответно). Концентрациите на Cd в черен дроб, кожа и мускули намаляват в реда: *Alb. alburnus* > *Ch. nasus* > *Abr. brama*. Съдържанието на Cd в тъкани и органи на уклей, платика и скобар (от 5 до 141 пъти), както и в паразити (от 97 до 351 пъти) е по-високо спрямо това във води. Съдържанието на Cd в тъкани и органи на уклей, платика и скобар (от 1.63 до 27.64 пъти) е по-ниско, докато съдържанието на Cd в *Contracaecum* sp. от *Ch. nasus* (1.74 пъти) е по-високо от това в седименти (Фиг. 28, 29).



Най-високи концентрации на As в изследваните тъкани и органи са установени отново при *Alb. alburnus* ($C_{As}=19.85\pm 16.36$ mg.kg⁻¹ свежа маса, $C_{As}=8.26\pm 9.41$ mg.kg⁻¹ свежа маса и $C_{As}=3.57\pm 5.04$ mg.kg⁻¹ свежа маса). Концентрациите на As в черен дроб, кожа и мускули намаляват в реда: *Alb. alburnus* > *Abr. brama* > *Ch. nasus*. Нивата на As в черен дроб, кожа и мускули на *Alb. alburnus* (7.49, 3.12 и 1.35 пъти, съответно); в черен дроб и кожа на *Abr. brama* (5.85 и 2.44 пъти, съответно); в черен дроб и кожа на *Ch. nasus* (4.04 и 1.67 пъти, съответно); в паразити (от 29.85 до 139.65 пъти) са по-високи от тези във води, докато концентрациите на As в мускули на платика (1.004 пъти) и в мускули на скобар (1.39 пъти) са по-ниски. Съдържанието на As в тъкани и органи на уклей, платика и скобар (от 5.67 до 57.06 пъти), както и в *Contracaecum* sp. от *Ch. nasus* (2.22 пъти) е по-ниско от това в седименти (Фиг. 30, 31).

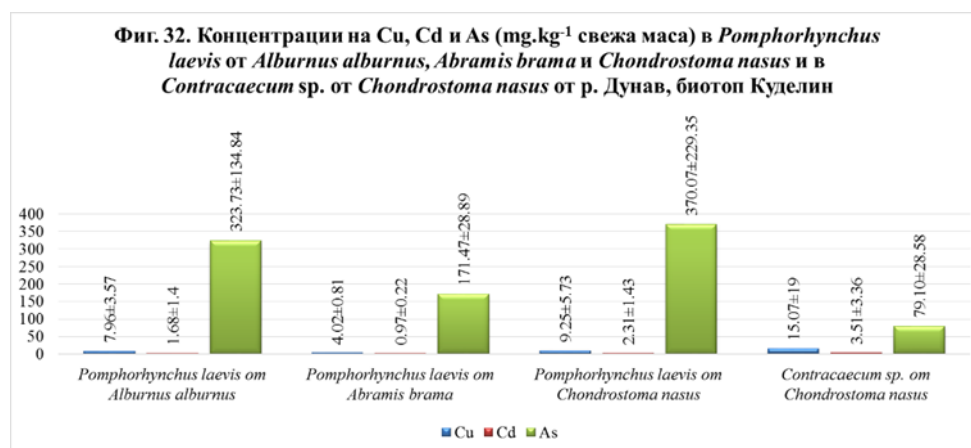




Съдържанието на Cu е най-високо в черния дроб на *Ch. nasus*, а на Cd и As – в черния дроб на *Alb. alburnus*.

V.4.4. Сравнително разглеждане на съдържанието на Cu, Cd и As в *Pomphorhynchus laevis* и *Contracaecum* sp.

Съдържанието на изследваните елементи в *P. laevis* и *Contracaecum* sp. намалява в реда: As > Cu > Cd. Най-висока концентрация на As (370.07±229.35 mg.kg⁻¹ свежа маса) е отчетена в *P. laevis* от *Ch. nasus*, а най-високи концентрации на Cu и Cd – в *Contracaecum* sp. от *Ch. nasus* (съответно 15.07±19 и 3.51±3.36 mg.kg⁻¹ свежа маса). Съдържанието на Cu и Cd в паразити намалява в реда: *Contracaecum* sp. от *Ch. nasus* > *P. laevis* от *Ch. nasus* > *P. laevis* от *Alb. alburnus* > *P. laevis* от *Abr. brama*. Докато съдържанието на As следва реда: *P. laevis* от *Ch. nasus* > *P. laevis* от *Alb. alburnus* > *P. laevis* от *Abr. brama* > *Contracaecum* sp. от *Ch. nasus* (Фиг. 32).



Съдържанието на Cu и Cd е най-високо в *Contracaecum* sp., а на As – в *P. laevis*.

V.5. СЕЗОННИ ИЗМЕНЕНИЯ В СЪДЪРЖАНИЕТО НА CU, CD И AS В ТЪКАНИ И ОРГАНИ НА *ALBURNUS ALBURNUS*, *ABRAMIS BRAMA* И *CHONDROSTOMA NASUS*, ВЪВ ВОДИ И СЕДИМЕНТИ ОТ РЕКА ДУНАВ, БИОТОП КУДЕЛИН

Разгледани са сезонните изменения в съдържанието на Cu, Cd и As в тъкани и органи на *Alb. alburnus*, *Abr brama* и *Ch. nasus*, във води и седименти. Представени и дискутирани са минималните и максимални концентрации, както и средните стойности за концентрациите на мед, кадмий и арсен (mg.kg⁻¹ свежа маса; mg.kg⁻¹ въздушно сухо тегло) в *Alb. alburnus*, *Abr. brama* и *Ch. nasus*; във води (mg.l⁻¹) и седименти (mg.kg⁻¹ въздушно сухо тегло) по сезони (пролет, лято, есен). Посочени са превишенията на трите изследвани елемента в черен дроб, кожа и мускули, във води и седименти спрямо документи от националното и международното законодателство по сезони.

Начинът на разработката е представен за сезонните изменения в съдържанието на Cu, Cd и As в тъкани и органи на *Chondrostoma nasus*.

Концентрациите на **Cu** в **черен дроб** на скобар са най-високи през лятото ($C_{Cu}=29.01\pm 17.30$ mg.kg⁻¹ свежа маса; $C_{Cu}=75.92\pm 47.95$ mg.kg⁻¹ въздушно сухо тегло), следвани от тези през пролетта ($C_{Cu}=28.78\pm 10.76$ mg.kg⁻¹ свежа маса; $C_{Cu}=78.27\pm 26.97$ mg.kg⁻¹ въздушно сухо тегло). Съдържанието на Cu в **кожа** и **мускули** е най-високо през пролетния сезон ($C_{Cu}=1.09\pm 0.38$ mg.kg⁻¹ свежа маса, $C_{Cu}=2.87\pm 1.24$ mg.kg⁻¹ въздушно сухо тегло и $C_{Cu}=0.47\pm 0.17$ mg.kg⁻¹ свежа маса, $C_{Cu}=2.00\pm 0.68$ mg.kg⁻¹ въздушно сухо тегло, съответно) и най-ниско – през летния сезон ($C_{Cu}=0.67\pm 0.28$ mg.kg⁻¹ свежа маса, $C_{Cu}=1.76\pm 0.65$ mg.kg⁻¹ въздушно сухо тегло и $C_{Cu}=0.29\pm 0.16$ mg.kg⁻¹ свежа маса, $C_{Cu}=1.22\pm 0.62$ mg.kg⁻¹ въздушно сухо тегло, съответно).

Концентрациите на Cu в проби от черен дроб на скобар през лятото превишават 1.01 и 1.43 пъти тези, установени през пролетта и есента, съответно. Нивата на Cu в пробите от кожа през пролетта превишават нивата през есента (1.38 пъти) и лятото (1.63 пъти). Стойностите на Cu в мускули отново през пролетта превишават тези, установени през есента и лятото – 1.31 и 1.62 пъти, съответно (Фиг. 45).



Концентрациите на Cu в тъкани и органи на скобар са съпоставени с нормите в Наредба № 31 и тези от FAO и WHO. Превишения на Cu са установени и през трите сезона на изследване, но само в пробите от черен дроб. Най-високи са превишенията през сезон лято, следвани от тези през сезон пролет – съответно 2.9 и 2.88 пъти над МДК в Наредба № 31, и съответно 1.45 и 1.44 пъти над стойността дадена от WHO. Не са установени превишения на Cu спрямо нормата дадена от FAO (Фиг. 46).

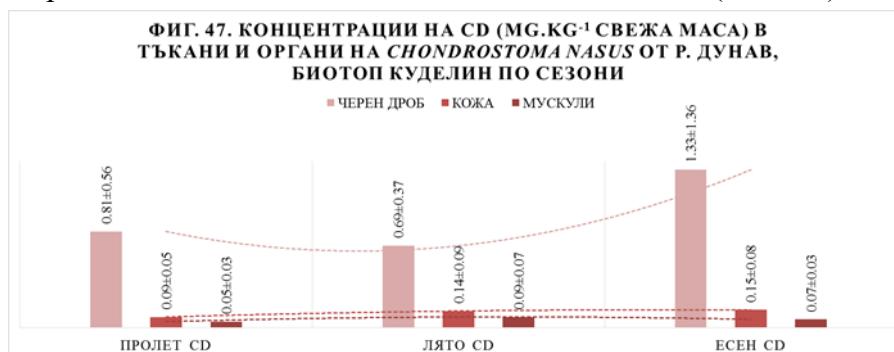


Легенда: Биологични проби: 1) Наредба № 31 от 29 юли 2004 г. за максимално допустимите количества замърсители в храните – МДК (mg/kg свежа маса) – 10 mg/kg за Cu; 2) FAO – 30 mg/kg за Cu; 3) WHO – 20 mg/kg за Cu.

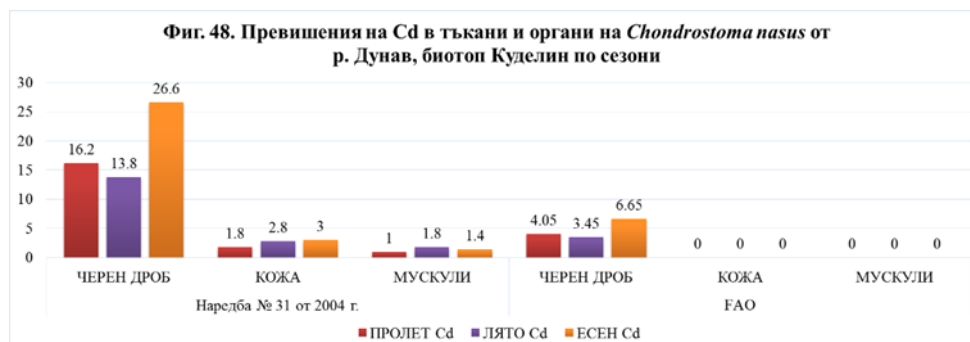
Концентрациите на **Cd** в пробите от **черен дроб** на скобар са най-високи през есенния сезон ($C_{Cd}=1.33\pm 1.36$ mg.kg⁻¹ свежа маса; $C_{Cd}=4.37\pm 5.15$ mg.kg⁻¹ въздушно сухо тегло) и най-ниски през летния сезон ($C_{Cd}=0.69\pm 0.37$ mg.kg⁻¹ свежа маса; $C_{Cd}=1.60\pm 0.66$ mg.kg⁻¹ въздушно сухо тегло). Съдържанието на Cd в пробите от **кожа** е най-високо през есента ($C_{Cd}=0.15\pm 0.08$ mg.kg⁻¹ свежа маса; $C_{Cd}=0.71\pm 0.64$ mg.kg⁻¹ въздушно сухо тегло) и най-ниско през пролетта ($C_{Cd}=0.09\pm 0.05$ mg.kg⁻¹ свежа маса; $C_{Cd}=0.30\pm 0.18$ mg.kg⁻¹ въздушно сухо тегло). Концентрациите на Cd в пробите от **мускули** са най-високи през сезон лято ($C_{Cd}=0.09\pm 0.07$ mg.kg⁻¹ свежа маса; $C_{Cd}=0.29\pm 0.19$ mg.kg⁻¹

въздушно сухо тегло) и най-ниски през сезон пролет ($C_{Cd}=0.05\pm 0.03 \text{ mg.kg}^{-1}$ свежа маса; $C_{Cd}=0.21\pm 0.17 \text{ mg.kg}^{-1}$ въздушно сухо тегло).

Стойностите на Cd в проби от черен дроб на скобар през сезон есен превишават 1.64 пъти тези, установени през сезон пролет и 1.93 пъти тези, установени през сезон лято. Нивата на Cd в пробите от кожа през есента са 1.67 пъти над пролетните и 1.07 пъти над летните нива. Концентрациите на Cd в проби от мускули през лятото превишават пролетните и есенните, съответно 1.8 и 1.29 пъти (Фиг. 47).



Нивата на Cd в изследваните тъкани и органи на скобар са съпоставени с нормите от Наредба № 31 и от FAO. Най-високи превишения на Cd са открити в черен дроб през сезон есен – 26.6 пъти над МДК в Наредба № 31 и 6.65 пъти спрямо нормата дадена от FAO. Най-високи превишения на Cd в кожа са установени през есента (3 пъти) и лятото (2.8 пъти) спрямо Наредба № 31. Докато в мускули най-високи са превишенията през летния сезон – 1.8 пъти над МДК в Наредба № 31 (Фиг. 48).



Легенда: Биологични проби: 1) Наредба № 31 от 29 юли 2004 г. за максимално допустимите количества замърсители в храните – МДК (mg/kg свежа маса) – 0.05 mg/kg за Cd; 2) FAO – 0.2 mg/kg за Cd.

Най-високи нива на As в черен дроб са отчетени през сезон пролет ($C_{As}=14.65\pm 13.83 \text{ mg.kg}^{-1}$ свежа маса; $C_{As}=41.98\pm 42.14 \text{ mg.kg}^{-1}$ въздушно сухо тегло), а най-ниски – през сезон есен ($C_{As}=7.40\pm 5.95 \text{ mg.kg}^{-1}$ свежа маса; $C_{As}=24.02\pm 20.38 \text{ mg.kg}^{-1}$ въздушно сухо тегло). В кожа и мускули на скобар най-високи концентрации на As също са установени през пролетния сезон ($C_{As}=6.27\pm 3.94 \text{ mg.kg}^{-1}$ свежа маса, $C_{As}=16.51\pm 10.92 \text{ mg.kg}^{-1}$ въздушно сухо тегло и $C_{As}=2.41\pm 2.61 \text{ mg.kg}^{-1}$ свежа маса, $C_{As}=9.75\pm 11.50 \text{ mg.kg}^{-1}$ въздушно сухо тегло, съответно), а най-ниски – през есенния сезон ($C_{As}=3.06\pm 1.41 \text{ mg.kg}^{-1}$ свежа маса, $C_{As}=9.71\pm 8.36 \text{ mg.kg}^{-1}$ въздушно сухо тегло и $C_{As}=1.31\pm 0.73 \text{ mg.kg}^{-1}$ свежа маса, $C_{As}=4.75\pm 2.01 \text{ mg.kg}^{-1}$ въздушно сухо тегло, съответно).

Съдържанието на As в проби от черен дроб на скобар през сезон пролет превишава 1.61 и 1.98 пъти съдържанието на елемента през сезоните лято и есен, съответно. Нивата на As в пробите от кожа отново през пролетта са 1.81 и 2.05 пъти по-високи от тези, установени през лятото и есента, съответно. В пробите от мускули нивата на As през пролетта също превишават тези отчетени през другите два сезона – лято (1.30 пъти) и есен (1.84 пъти) (Фиг. 49).



Превишенията на As в тъкани и органи за скобар са сравнени с нормата в Наредба № 31 от 2004 г. Превишения на As има в черен дроб, кожа и мускули на скобар и през трите сезона. Най-високи са превишенията на As в черен дроб, кожа и мускули на скобар през пролетта – 14.65, 6.27 и 2.41 пъти над МДК в Наредба № 31 (Фиг. 50).



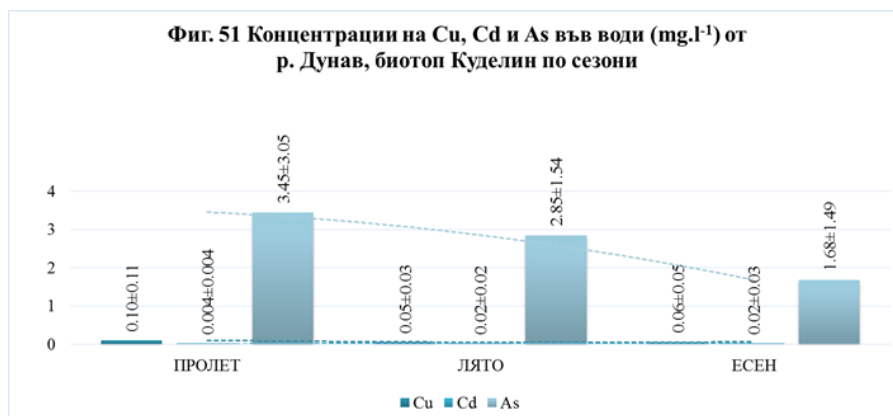
Легенда: Биологични проби: 1) Наредба № 31 от 29 юли 2004 г. за максимално допустимите количества замърсители в храните – МДК (mg/kg свежа маса) – 1 mg/kg за As.

Сезонът е определящ фактор за съдържанието на Cu в пробите от мускули на скобар ($F=6.0$, $p=0.049 < 0.05$).

V.5.4. Сезонни изменения в съдържанието на Cu, Cd и As във води и седименти

Най-високи нива на Cu и As във води от р. Дунав (Куделин) са отчетени през сезон пролет, съответно $C_{Cu\text{Води}}=0.10 \pm 0.11 \text{ mg.l}^{-1}$ и $C_{As\text{Води}}=3.45 \pm 3.05 \text{ mg.l}^{-1}$, докато най-високи и равни концентрации на Cd са установени през два от сезоните – лято ($C_{Cd\text{Води}}=0.02 \pm 0.02 \text{ mg.l}^{-1}$) и есен ($C_{Cd\text{Води}}=0.02 \pm 0.03 \text{ mg.l}^{-1}$). Значими сезонни различия са установено единствено за съдържанието на Cd в пробите от води през сезоните пролет и лято ($t=29.61$, $p=0.03 < 0.05$), пролет и есен ($t=132.57$, $p=0.007 < 0.05$).

Концентрациите на Cu във води през пролетта превишават тези през лятото и есента 2 и 1.67 пъти, съответно. Нивата на Cd във води през лятото и есента превишават 5 пъти отчетените през пролетта. Нивата на As през пролетта са 1.21 пъти по-високи от тези през лятото и 2.05 пъти по-високи от тези през есента (Фиг. 51).



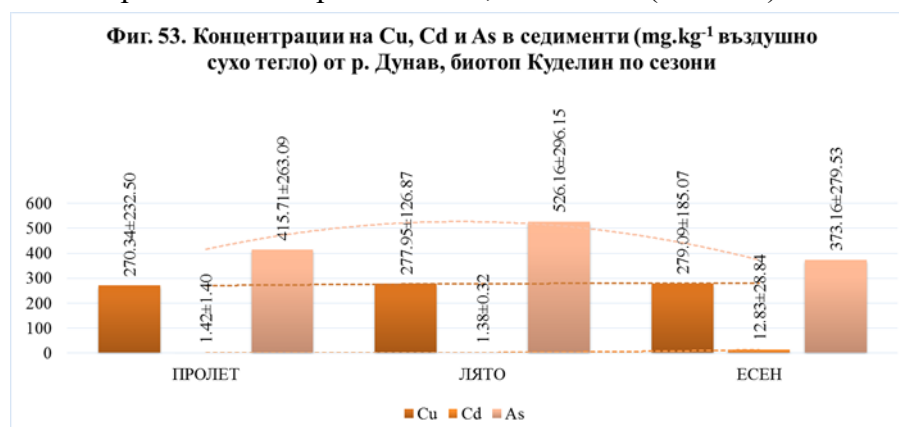
Във води от Куделин най-високи превишения са установени за As. Превишенията на арсен през сезон пролет са най-високи – 138 и 34.5 пъти над нормите дадени в Наредба Н-4 от 2010 г. и Наредба № 18 от 2009 г., съответно. Най-високи превишения на Cd във води са установени спрямо Наредба за стандарти за качество на околната среда за приоритетни вещества и някои други замърсители през сезоните лято и есен (22.22 пъти). Най-високи превишения на Cu във води са установени през пролетта – 10 пъти над СГС в Наредба Н-4. Съдържанието на Cu във води не превишава нормата в Наредба № 18 (Фиг. 52).



Легенда: Повърхностни води: 1) Наредба Н-4 от 2012 г. за характеризирание на повърхностните води – СГС (mg/l), CaCO₃ 100-250 – 0.01 mg/l за Cu, МДК (mg/l) – 0.025 mg/l за As; 2) Наредба за стандарти за качество на околната среда за приоритетни вещества и някои други замърсители – МДК (mg/l), клас 4 – 0.0009 mg/l за Cd; 3) Наредба № 18 от 2009 г. за качество на водите за напояване на земеделските култури – ПДК (mg/dm³) – 0.2 mg/dm³ за Cu; 0.01 mg/dm³ за Cd; 0.1 mg/dm³ за As

Най-високи стойности за мед и кадмий в седименти от биотоп Куделин са открити през сезон есен – $C_{Cu\text{Седименти}}=279.09\pm 185.07 \text{ mg.kg}^{-1}$ въздушно сухо тегло и $C_{Cd\text{Седименти}}=12.83\pm 28.84 \text{ mg.kg}^{-1}$ въздушно сухо тегло, а най-високи нива на арсен в седименти са открити през сезон лято – $C_{As\text{Седименти}}=526.16\pm 296.15 \text{ mg.kg}^{-1}$ въздушно сухо тегло. Значими сезонни различия са установени по отношение съдържанието на Cd за пробите от седименти през пролет и лято ($t=26.15$, $p=0.03<0.05$), пролет и есен ($t=516.02$, $p=0.001<0.05$), лято и есен ($t=13493.98$, $p=0.0001<0.05$).

Нивата на Cu в седименти от р. Дунав през сезон есен превишават 1.03 и 1.004 пъти установените през сезоните пролет и лято, съответно. Концентрациите на Cd през есента превишават установените концентрации в седименти през пролетта (9.04 пъти) и лятото (9.3 пъти). Съдържанието на As през сезон лято е 1.27 и 1.41 пъти по-високо от това през сезоните пролет и есен, съответно (Фиг. 53).



В седименти, през трите сезона на изследване, са установени най-високи превишения на арсен. Концентрациите на As в седименти имат най-високи превишения през лятото – 21.05 и 18.14 пъти над МДК в Наредба № 3 от 2008 г. и Холандските целеви стойности, съответно. Най-високи превишения за Cd са установени през есента – 16.04 и 6.42 пъти над Холандските целеви стойности и Наредба № 3, съответно. Концентрациите на кадмий в седименти от р. Дунав през сезоните пролет и лято не превишават МДК в Наредба № 3. Превишенията на Cu и през трите сезона на изследване (пролет, лято и есен) са близки (Фиг. 54).



Легенда: Седименти: 1) Холандски целеви стойности (mg/kg въздушно сухо тегло) – 36 mg/kg за Cu; 0.8 mg/kg за Cd; 29 mg/kg за As; 2) Наредба № 3 от 2008 г. за нормите за допустимо съдържание на вредни вещества в почвите: МДК (mg/kg) за обработваеми земи (рН 6.00-7.4) – 150 mg/kg за Cu; 2 mg/kg за Cd; МДК (mg/kg) за обработваеми земи, независимо от рН – 25 mg/kg за As.

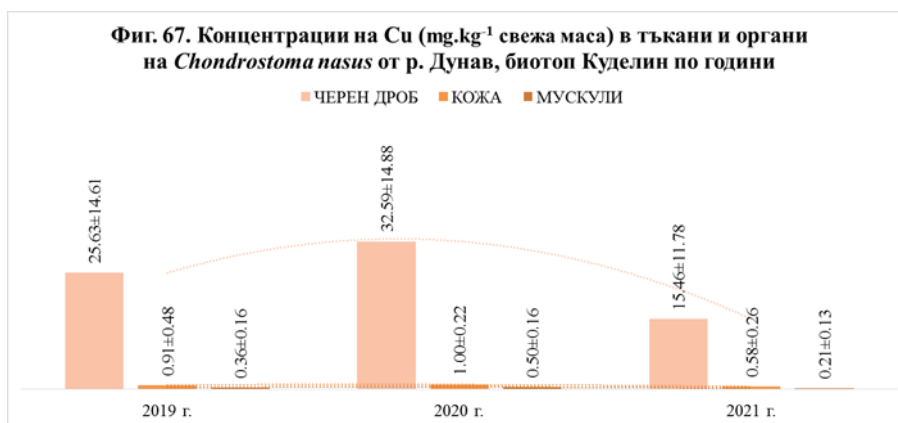
V.6. ГОДИШНИ ИЗМЕНЕНИЯ В СЪДЪРЖАНИЕТО НА CU, CD И AS В ТЪКАНИ И ОРГАНИ НА *ALBURNUS ALBURNUS*, *ABRAMIS BRAMA* И *CHONDROSTOMA NASUS*, ВЪВ ВОДИ И СЕДИМЕНТИ ОТ РЕКА ДУНАВ, БИОТОП КУДЕЛИН

Представени са измененията в нивата на Cu, Cd и As в черен дроб, кожа и мускули на трите изследвани вида риби, във води и седименти по години. Показани са и превिшенията на трите елемента спрямо стойности посочени както в българското, така и в международното законодателство.

Разработката е представена за годишните изменения в съдържанието на Cu, Cd и As в тъкани и органи на *Chondrostoma nasus*.

В проби от **черен дроб** ($C_{Cd}=32.59\pm 14.88$ mg.kg⁻¹ свежа маса; $C_{Cd}=79.69\pm 30.03$ mg.kg⁻¹ въздушно сухо тегло), **кожа** ($C_{Cd}=1.00\pm 0.22$ mg.kg⁻¹ свежа маса; $C_{Cd}=2.53\pm 0.55$ mg.kg⁻¹ въздушно сухо тегло) и **мускули** ($C_{Cd}=0.50\pm 0.16$ mg.kg⁻¹ свежа маса; $C_{Cd}=2.01\pm 0.58$ mg.kg⁻¹ въздушно сухо тегло) най-високи концентрации на Cu са открити през 2020 г.

Концентрациите на Cu в проби от тъкани и органи на скобар през 2020 г. превишават концентрациите на елемента в пробите от 2019 и 2021 г., съответно 1.27 и 2.11 пъти (за черен дроб), 1.1 и 1.72 пъти (за кожа) и 1.39 и 2.38 пъти (за мускули) (Фиг. 67).



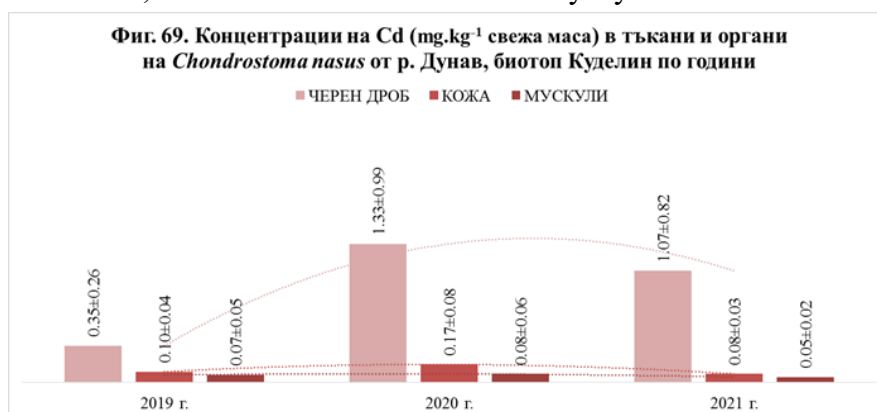
Съдържанието на Cu в черен дроб, кожа и мускули на скобар е съпоставено с нормите от Наредба № 31 от 2004 г., FAO и WHO. Превишения на мед са установени и през трите години на изследване спрямо МДК в Наредба № 31, като най-високо е превишението в проби от черен дроб на скобар през 2020 г. – 3.26 пъти. Спрямо стойността дадена от FAO, превишения са установени единствено в проби от черен дроб през 2020 г., а спрямо стойността дадена от WHO – в проби от черен дроб през 2019 г. (1.28 пъти) и 2020 г. (1.63 пъти) (Фиг. 68).



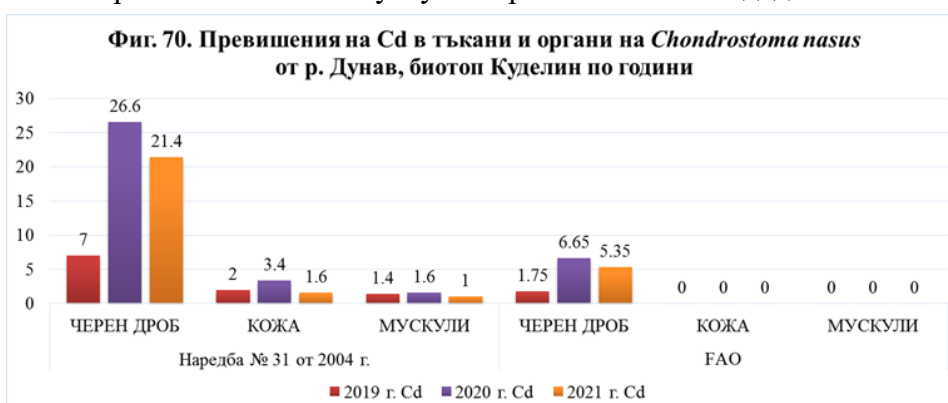
Легенда: Биологични проби: 1) Наредба № 31 от 29 юли 2004 г. за максимално допустимите количества замърсители в храните – МДК (mg/kg свежа маса) – 10 mg/kg за Cu, 0.05 mg/kg за Cd, 1 mg/kg за As; 2) FAO – 30 mg/kg за Cu, 0.2 mg/kg за Cd; 3) WHO – 20 mg/kg за Cu.

В изследваните тъкани и органи, най-високи нива на **Cd** са открити през 2020 г., а именно: $C_{Cd}=1.33\pm 0.99$ mg.kg⁻¹ свежа маса; $C_{Cd}=3.81\pm 4.13$ mg.kg⁻¹ въздушно сухо тегло (за **черен дроб**); $C_{Cd}=0.17\pm 0.08$ mg.kg⁻¹ свежа маса; $C_{Cd}=0.53\pm 0.35$ mg.kg⁻¹ въздушно сухо тегло (за **кожа**) и $C_{Cd}=0.08\pm 0.06$ mg.kg⁻¹ свежа маса; $C_{Cd}=0.26\pm 0.18$ mg.kg⁻¹ въздушно сухо тегло (за **мускули**).

Нивата на Cd в проби от изследваните тъкани и органи на *Ch. nasus* през 2020 г. превишават нивата на Cd в изследваните пробите от 2019 и 2021 г., а именно за черен дроб: 3.8 и 1.24 пъти, за кожа: 1.7 и 2.13 пъти и за мускули: 1.14 и 1.6 пъти (Фиг. 69).



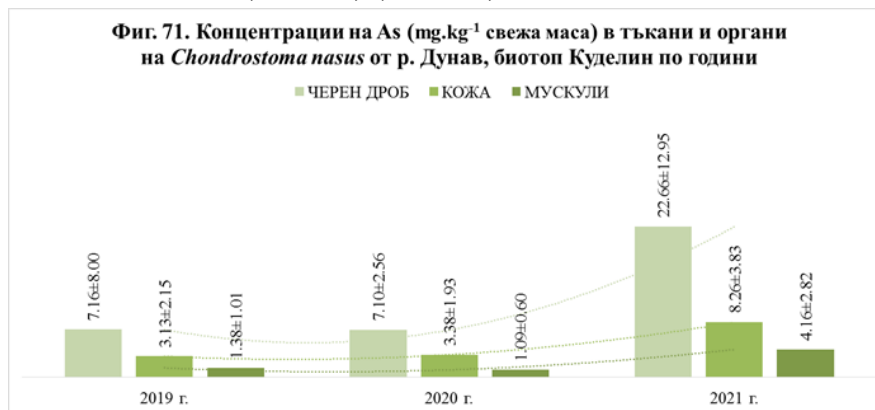
Концентрациите на кадмий в тъкани и органи на скобар са съпоставени със стойностите посочени в Наредба № 31 и FAO. И през трите години на изследване са установени превишения в черен дроб, кожа и мускули на скобар спрямо Наредба № 31. Най-високи са превишенията на Cd в черен дроб през 2020 г. и 2021 г. – съответно 26.6 и 21.4 пъти над стойността в Наредба № 31, и съответно 6.65 и 5.35 пъти над стойността дадена от FAO. В кожа и мускули най-високи превишения са открити през 2020 г. – 3.4 и 1.6 пъти над МДК в Наредба № 31, съответно. Не са установени превишения в пробите от кожа и мускули спрямо стойността дадена от FAO (Фиг. 70).



Легенда: Биологични проби: 1) Наредба № 31 от 29 юли 2004 г. за максимално допустимите количества замърсители в храните – МДК (mg/kg свежа маса) – 0.05 mg/kg за Cd; 2) FAO – 0.2 mg/kg за Cd.

Най-високо съдържание на As е открито през 2021 г., а именно: за **черен дроб**: $C_{As}=22.66\pm 12.95 \text{ mg.kg}^{-1}$ свежа маса и $C_{As}=65.08\pm 40.31 \text{ mg.kg}^{-1}$ въздушно сухо тегло; за **кожа**: $C_{As}=8.26\pm 3.83 \text{ mg.kg}^{-1}$ свежа маса и $C_{As}=24.39\pm 11.12 \text{ mg.kg}^{-1}$ въздушно сухо тегло и за **мускули**: $C_{As}=4.16\pm 2.82 \text{ mg.kg}^{-1}$ свежа маса и $C_{As}=16.39\pm 13.29 \text{ mg.kg}^{-1}$ въздушно сухо тегло.

Съдържанието на As в тъкани и органи на скобар през 2021 г. превишава това от 2019 и 2020 г., съответно 3.17 и 3.19 пъти (за черен дроб), 2.64 и 2.44 пъти (за мускули) и 3.02 и 3.82 пъти (за кожа) (Фиг. 71).



Превишения на As са открити в черен дроб, кожа и мускули на скобар и през трите години. Най-високи са превишенията на As в черен дроб, кожа и мускули през 2021 г., съответно 22.66, 8.26 и 4.16 пъти над МДК в Наредба № 31 (Фиг. 72).



Легенда: Биологични проби: 1) Наредба № 31 от 29 юли 2004 г. за максимално допустимите количества замърсители в храните – МДК (mg/kg свежа маса) – 1 mg/kg за As.

Различията в условията на местообитанията през трите години от периода на изследване са определящ фактор за съдържанието на Cu ($F=6.0$, $p=0.049<0.05$), Cd ($F=6.0$, $p=0.049<0.05$) и As ($F=6.0$, $p=0.049<0.05$) в пробите от черен дроб на *Ch. nasus*. Значими различия са установени за съдържанието на Cd в черен дроб за пробите от 2019 и 2020 г. ($t=26.6$, $p=0.04<0.05$) и в мускули за пробите от 2020 и 2021 г. ($t=18.47$, $p=0.05$). Значими са и различията в съдържанието на As между пробите от черен дроб и мускули за 2020 и 2021 г. ($t=21.84$, $p=0.044<0.05$; $t=16.06$, $p=0.05$, съответно).

V.6.4. Годишни изменения в съдържанието на Cu, Cd и As във води и седименти

Най-високи концентрации на мед, кадмий и арсен във води от биотоп Куделин, са установени през 2020 г. – $C_{Cu\text{Води}}=0.10\pm 0.10 \text{ mg.l}^{-1}$; $C_{Cd\text{Води}}=0.03\pm 0.03 \text{ mg.l}^{-1}$ и $C_{As\text{Води}}=4.30\pm 2.15 \text{ mg.l}^{-1}$. Значими годишни различия са установени за съдържанието на Cu между пробите във води от 2020 и 2021 г. ($t=25.86$, $p=0.03<0.05$); за съдържанието на Cd между пробите от 2019 и 2020 г. ($t=23.80$, $p=0.04<0.05$), 2020 и 2021 г. ($t=115.99$, $p=0.008<0.05$), както и за съдържанието на As между пробите от 2019 и 2020 г. ($t=2512.75$, $p=0.0004<0.05$), 2019 и 2021 г. ($t=328.94$, $p=0.003<0.05$).

Установените концентрации на Cu във води от биотоп Куделин през 2020 г. превишават 2 и 1.67 пъти отчетените през 2019 г. и 2021 г., съответно. Нивата на Cd

във води през 2020 г. са по-високи от тези през 2019 г. (7.5 пъти) и 2021 г. (10 пъти). Концентрациите на As във води през 2020 г. превишават установените през 2019 г. (86 пъти) и по-малко тези през 2021 г. (1.56 пъти) (Фиг. 73).



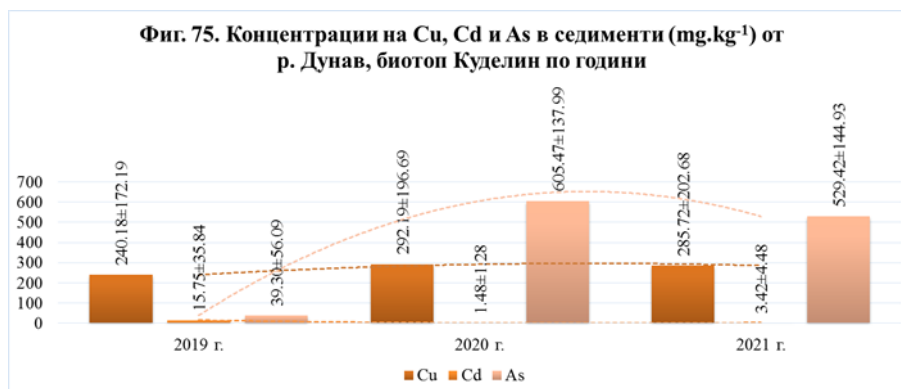
Най-високи превишения във води от биотоп Куделин са установени за As през 2020 г. – 172 пъти над МДК в Наредба Н-4 и 43 пъти над ПДК в Наредба № 18, следвани от тези през 2021 г. Единствено през 2019 г. концентрациите на As във води не превишават нормата в Наредба № 18. Най-високи превишения на Cd във води са установени през 2020 г. – 33.33 пъти над МДК в Наредба за стандарти за качество на околната среда и 3 пъти ПДК в Наредба № 18. Не са установени превишения на кадмий през 2019 г. и 2021 г. спрямо Наредба № 18. Най-високи превишения на Cu във води са отчетени през 2020 г. – 10 пъти над СГС в Наредба Н-4. Концентрациите на Cu във води не превишават нормата в Наредба № 18 (Фиг. 74).



Легенда: Повърхностни води: 1) Наредба Н-4 от 2012 г. за характеризирание на повърхностните води – СГС (mg/l), CaCO₃ 100-250 – 0.01 mg/l за Cu, МДК (mg/l) – 0.025 mg/l за As; 2) Наредба за стандарти за качество на околната среда за приоритетни вещества и някои други замърсители – МДК (mg/l), клас 4 – 0.0009 mg/l за Cd; 3) Наредба № 18 от 2009 г. за качество на водите за напояване на земеделските култури – ПДК (mg/dm³) – 0.2 mg/dm³ за Cu; 0.01 mg/dm³ за Cd; 0.1 mg/dm³ за As

Най-високи концентрации на мед и арсен в седименти са установени през 2020 г. – $C_{Cu\text{Седименти}}=292.19\pm 196.69 \text{ mg.kg}^{-1}$ въздушно сухо тегло и $C_{As\text{Седименти}}=605.47\pm 137.99 \text{ mg.kg}^{-1}$ въздушно сухо тегло. Най-високи стойности за кадмий в седименти са установени през 2019 г. – $C_{Cd\text{Седименти}}=15.75\pm 35.84 \text{ mg.kg}^{-1}$ въздушно сухо тегло. Значими годишни превишения са установени за съдържанието на Cd между пробите от седименти от 2019 и 2020 г ($t=508.85$, $p=0.002<0.05$), пробите от 2019 и 2021 г. ($t=47.21$, $p=0.02<0.05$) и между пробите от 2020 и 2021 г ($t=10.78$, $p=0.05$).

Съдържанието на Cu в седименти от р. Дунав (биотоп Куделин) през 2020 г. превишават 1.22 и 1.02 пъти това през 2019 г. и 2021 г., съответно. Концентрациите на Cd в седименти през 2019 г. са 10.64 пъти по-високи от тези през 2020 г. и 4.61 пъти по-високи от тези през 2021 г. Нивата на As през 2020 г. са много по-високи от тези през 2019 г. (15.41 пъти) и малко по-високи от тези през 2021 г. (1.14 пъти) (Фиг. 75).



В седименти от биотоп Куделин превишения са установени и за трите изследвани елемента и през трите години. Най-високи са превишенията на As в седименти през 2020 г. – 24.22 и 20.88 пъти спрямо МДК в Наредба № 3 и Холандските целеви стойности, съответно, следвани от тези през 2021 г. Съдържанието на Cd е най-високо през 2019 г. като превишава 19.69 и 7.88 пъти Холандските целеви стойности и Наредба № 3, съответно. Превишенията на Cu в седименти през трите години на изследване са близки, но най-високи през 2020 г. – 8.12 пъти над Холандските целеви стойности и 1.95 пъти над МДК в Наредба № 3 (Фиг. 76).



Легенда: Седименти: 1) Холандски целеви стойности (mg/kg въздушно сухо тегло) – 36 mg/kg за Cu; 0.8 mg/kg за Cd; 29 mg/kg за As; 2) Наредба № 3 от 2008 г. за нормите за допустимо съдържание на вредни вещества в почвите: МДК (mg/kg) за обработваеми земи (pH 6.0-7.4) – 150 mg/kg за Cu; 2 mg/kg за Cd; МДК (mg/kg) за обработваеми земи, независимо от pH – 25 mg/kg за As.

V.7. ЦИРКУЛАЦИЯ НА CU, CD И AS ВЪВ ВОДИ И СЕДИМЕНТИ, ТЪКАНИ И ОРГАНИ НА РИБИ И ТЕХНИ ХЕЛМИНТИ ОТ СЛАДКОВОДНАТА ЕКОСИСТЕМА НА Р. ДУНАВ, БИОТОП КУДЕЛИН

Представени са стойностите на фактора на биоконцентрация за Cu, Cd и As в тъкани и органи на трите вида риби спрямо води и седименти от р. Дунав, биотоп Куделин за периода 2019-2021 г. Изчислени са факторите на биоконцентрация за Cu, Cd и As в паразити спрямо води и седименти, както и факторите на биоакумулация в паразити спрямо тъкани и органи на трите вида риби.

Начинът на представяне на факторите на биоконцентрация за Cu, Cd и As в тъкани и органи на трите вида риби спрямо води и седименти е представен на примера на *Ch. nasus* и нейните паразити *P. laevis* и *Contracaecum* sp., а факторите на биоакумулация – на *Contracaecum* sp.

Най-висока стойност на фактора на биоконцентрация е установена за Cu в черен дроб на скобар ($BCF_{Cu}=374.71$). Черният дроб на *Ch. nasus* биоакумулира 92.75 пъти повече мед от води отколкото арсен и 4.03 пъти повече мед в сравнение със степента на акумулиране на кадмий. Най-ниска стойност на фактора е отчетена за арсен в мускули ($BCF_{As}=0.72$). **Стойностите на факторите на биоконцентрация за мед, кадмий и арсен в черен дроб и кожа на скобар спрямо води намаляват в реда: $BCF_{Cu} > BCF_{Cd} > BCF_{As}$, докато в мускули намаляват, както следва: $BCF_{Cd} > BCF_{Cu} > BCF_{As}$.** Факторите на биоконцентрация в *P. laevis* от *Ch. nasus* спрямо води са

най-високи за Cd ($BCF_{Cd}=231$), а най-ниски за Cu ($BCF_{Cu}=132.14$). *P. laevis* биоакумулира 10.63 пъти повече Cu от водите спрямо кожата и 24.34 пъти повече Cu от водите спрямо мускулите, но 2.84 пъти по-малко Cu от водите спрямо черния дроб на неговия гостоприемник *Ch. nasus*. *P. laevis* биоакумулира от 2.48 до 33 пъти повече Cd от водите и от 34.57 до 193.96 пъти повече As от водите спрямо акумулирането им от тъканите и органите на неговия гостоприемник. **Стойностите на фактора на биоконцентрация за Cu, Cd и As в *P. laevis* от *Ch. nasus* спрямо води намаляват в реда: $BCF_{Cd} > BCF_{As} > BCF_{Cu}$.** *Contracaecum* sp. биоакумулира 17.32 пъти повече Cu от водите спрямо кожата и 39.65 пъти повече Cu от водите спрямо мускулите, но 1.74 пъти по-малко Cu от водите спрямо черния дроб на неговия гостоприемник *Ch. nasus*. *Contracaecum* sp. биоакумулира от 3.77 до 50.14 пъти повече Cd от водите и от 7.39 до 41.46 пъти повече As от водите спрямо акумулирането им от тъканите и органите на неговия гостоприемник. **Стойностите на фактора на биоконцентрация за Cu, Cd и As в *Contracaecum* sp. от *Ch. nasus* спрямо води намаляват в реда: $BCF_{Cd} > BCF_{Cu} > BCF_{As}$** (Таблица 38).

Таблица 38. Фактори на биоконцентрация (BCF) за Cu, Cd и As в тъкани и органи/ паразити на *Chondrostoma nasus* спрямо води ($BCF = \frac{C_{\text{тъкани и органи/паразити}}}{C_{\text{Води}}}$)

<i>Chondrostoma nasus</i> / Води	BCF_{Cu}	BCF_{Cd}	BCF_{As}
C ЧЕРЕН ДРОБ / C ВОДИ	374.71	93	4.04
C КОЖА / C ВОДИ	12.43	12	1.67
C МУСКУЛИ / C ВОДИ	5.43	7	0.72
C <i>P. LAEVIS</i> / C ВОДИ	132.14	231	139.65
C <i>CONTRACAEUM</i> SP. / C ВОДИ	215.29	351	29.85

Стойността на фактора на биоконцентрация в черен дроб на *Ch. nasus* спрямо седименти е най-висока за Cd ($BCF_{Cd}=0.44$), следвана от Cu ($BCF_{Cu}=0.31$) и As ($BCF_{As}=0.07$). В кожата и мускулите най-високи стойности на фактора на биоконцентрация са установени отново за Cd, но следвани от As и Cu. Черният дроб биоакумулира 6.29 пъти повече Cd от седиментите в сравнение с акумулирането на As и 1.42 пъти повече спрямо степента на акумулиране на Cu. Факторът на биоконцентрация има най-ниска стойност за мед ($BCF_{Cu}=0.01$) в кожа и мускули. **Стойностите на фактора на биоконцентрация за Cu, Cd и As в черен дроб на скобар спрямо седименти намаляват, както следва: $BCF_{Cd} > BCF_{Cu} > BCF_{As}$, а в кожа и мускули – в реда: $BCF_{Cd} > BCF_{As} > BCF_{Cu}$.** *Contracaecum* sp. биоакумулира 24 пъти повече Cu от седиментите спрямо кожата и мускулите, но 1.29 пъти по-малко Cu от седиментите спрямо черния дроб на неговия гостоприемник *Ch. nasus*. *Contracaecum* sp. биоакумулира от 3.96 до 43.5 пъти повече Cd от седиментите и от 6.43 до 22.5 пъти повече As от седиментите спрямо акумулирането им от тъканите и органите на неговия гостоприемник. **Стойностите на факторите на биоконцентрация за мед, кадмий и арсен в *Contracaecum* sp. от скобар спрямо седименти намаляват, както следва: $BCF_{Cd} > BCF_{As} > BCF_{Cu}$** (Таблица 39).

Таблица 39. Фактори на биоконцентрация (BCF) за Cu, Cd и As в тъкани и органи/ паразити на *Chondrostoma nasus* спрямо седименти ($BCF = \frac{C_{\text{тъкани и органи/паразити}}}{C_{\text{Седименти}}}$)

<i>Chondrostoma nasus</i> / Седименти	BCF_{Cu}	BCF_{Cd}	BCF_{As}
C ЧЕРЕН ДРОБ / C СЕДИМЕНТИ	0.31	0.44	0.07
C КОЖА / C СЕДИМЕНТИ	0.01	0.08	0.03
C МУСКУЛИ / C СЕДИМЕНТИ	0.01	0.04	0.02
C <i>CONTRACAEUM</i> SP. / C СЕДИМЕНТИ	0.24	1.74	0.45

Не са изследвани факторите на биоконцентрация за Cu, Cd и As в черен дроб, кожа и мускули на *Ch. nasus* спрямо води и седименти от р. Дунав в България.

В дисертацията е представено сравнително разглеждане на факторите на биоконцентрация за Cu, Cd и As в тъкани и органи на трите вида риби, както и в *P. laevis* и *Contracaecum* sp. спрямо води и седименти; представен е факторът на биоаккумуляция за Cu, Cd и As в паразитите на трите вида риби и коефициентът на корелация на Spearman (r_s). В автореферата са представени основни обобщения на получените резултати.

Стойностите на **BCF за Cu** в тъкани и органи на трите изследвани вида риби спрямо води и седименти от р. Дунав, биотоп Куделин са най-високи в черен дроб на *Ch. nasus* (BCF_{Cu} Черен дроб/Води=374.71; BCF_{Cu} Черен дроб/Седименти=0.31); **за Cd и As** – в черен дроб на *Alb. alburnus* (BCF_{Cd} Черен дроб/Води=141, BCF_{Cd} Черен дроб/Седименти=0.62; BCF_{As} Черен дроб/Води=7.49, BCF_{As} Черен дроб/Седименти=0.18, съответно).

Стойностите на фактора на биоаккумуляция (**BAF**) намалява в порядъка: **BAF_{As} > BAF_{Cd} > BAF_{Cu}** (*P. laevis*/ черен дроб, кожа и мускули на уклей, платика и скобар; *Contracaecum* sp./ черен дроб на скобар); в порядъка: **BAF_{Cd} > BAF_{As} > BAF_{Cu}** (*Contracaecum* sp./ кожа и мускули на скобар). Стойностите на BAF за Cu, Cd и As в паразити спрямо тъканите и органите на техните гостоприемници намаляват в реда: мускули > кожа > черен дроб.

При Cu и Cd има **много силна корелационна зависимост** между тъканите и органите на трите вида риби, техните паразити, водите и седиментите, но **силна зависимост** между концентрациите на Cd в *P. laevis* от уклей и скобар спрямо водите ($r_s=0.87-0.89$, $p<0.01$). По отношение на биоконцентрацията на As **няма значима корелационна зависимост** между тъкани и органи на риби, паразити и води, докато са установени **много силни корелации** между тъкани и органи на риби, паразити и седименти (с изключение на откритата **силна зависимост** между *P. laevis* и черен дроб на платика ($r_s=0.89$, $p<0.01$), и между *Contracaecum* sp. и черен дроб и мускули на скобар ($r_s=0.88$, $p<0.01$)). Няма значима корелация между съдържанието на Cu, Cd и As в седименти и това в пробите от *Contracaecum* sp. ($p>0.05$). Влияние върху натрупването на Cu и Cd в трите вида риби оказват водата, седиментите и храната, докато натрупването на арсен е основно от седиментите и храната.

Стойностите на фактора на биоконцентрация в паразити спрямо води и седименти са най-високи за Cd. *P. laevis* от уклей, платика и скобар има най-високи стойности на фактора на биоаккумуляция за As, а *Contracaecum* sp. от скобар – за Cd.

V.8. ЦИРКУЛАЦИЯ НА CU, CD И AS ВЪВ ВОДИ И СЕДИМЕНТИ, ТЪКАНИ И ОРГАНИ НА РИБИ ПО СЕЗОНИ

В дисертацията циркулацията е представена по елементи. В автореферата са представени обобщени резултати.

Стойностите на **BCF за Cu** през пролетта, лятото и есента са най-високи в **черен дроб на *Ch. nasus*** (BCF_{Cu} Черен дроб/Води=287.80, BCF_{Cu} Черен дроб/Седименти=0.29; BCF_{Cu} Черен дроб/Води=580.20, BCF_{Cu} Черен дроб/Седименти=0.27; BCF_{Cu} Черен дроб/Води=337.83, BCF_{Cu} Черен дроб/Седименти=0.37, съответно); **за Cd** – през пролетта и лятото в **черен дроб на *Alb. alburnus*** (BCF_{Cd} Черен дроб/Води=430, BCF_{Cd} Черен дроб/Седименти=2.59; BCF_{Cd} Черен дроб/Води=78, BCF_{Cd} Черен дроб/Седименти=3.75, съответно), а през есента – в **черен дроб на *Ch. nasus*** (BCF_{Cd} Черен дроб/Води=66.50, BCF_{Cd} Черен дроб/Седименти=0.34); **за As** – през пролетта, лятото и есента – в **черен дроб на *Alb. alburnus*** (BCF_{As} Черен дроб/Води=7.93, BCF_{As} Черен дроб/Седименти=0.28; BCF_{As} Черен дроб/Води=6.58, BCF_{As} Черен дроб/Седименти=0.11; BCF_{As} Черен дроб/Води=6.53, BCF_{As} Черен дроб/Седименти=0.10, съответно).

V.9. ЦИРКУЛАЦИЯ НА CU, CD И AS ВЪВ ВОДИ И СЕДИМЕНТИ, ТЪКАНИ И ОРГАНИ НА РИБИ ПО ГОДИНИ

В дисертацията циркулацията е представена по елементи. В разработката са представени обобщени резултати.

BCF за Cu през 2019, 2020 и 2021 г. са най-високи в черен дроб на *Ch. nasus* (BCF_{Cu} Черен дроб/Води=512.60, BCF_{Cu} Черен дроб/Седименти=0.32; BCF_{Cu} Черен дроб/Води=325.90, BCF_{Cu} Черен дроб/Седименти=0.27; BCF_{Cu} Черен дроб/Води=257.67, BCF_{Cu} Черен дроб/Седименти=0.39, съответно); **за Cd** през 2019, 2020 и 2021 г. са най-високи в черен дроб на *Alb. alburnus*

(BCF_{Cd} Черен дроб/Води=342.50, BCF_{Cd} Черен дроб/Седименти=0.18; BCF_{Cd} Черен дроб/Води=50, BCF_{Cd} Черен дроб/Седименти=2.99; BCF_{Cd} Черен дроб/Води=446.67, BCF_{Cd} Черен дроб/Седименти=1.15, съответно); за **As** през 2019 и 2020 г. са най-високи в черен дроб на *Alb. alburnus* (BCF_{As} Черен дроб/Води=395, BCF_{As} Черен дроб/Седименти=2.64; BCF_{As} Черен дроб/Води=2.33, BCF_{As} Черен дроб/Седименти=0.05, съответно), а през 2021 г. – в черен дроб на *Abr. brama* (BCF_{As} Черен дроб/Води=14.44, BCF_{As} Черен дроб/Седименти=0.22).

ОБОБЩЕНИЕ И ИЗВОДИ

За периода 2019-2021 г. са изследвани три вида риби от семейство Cyprinidae – *Alburnus alburnus* (Linnaeus, 1758), *Abramis brama* (Linnaeus, 1758) и *Chondrostoma nasus* (Linnaeus, 1758) от р. Дунав, биотоп Куделин. За съдържание на мед (Cu), кадмий (Cd) и арсен (As) са изследвани проби от тъкани и органи (черен дроб, кожа и мускули) на трите вида риби; проби от техни паразити и проби от води и седименти.

Въз основа на извършеното изследване и получените резултати могат да се направят следните обобщения и изводи:

1. Съдържанието на изследваните елементи **в тъкани и органи на уклей, платика и скобар** намалява в реда: **As > Cu > Cd**, с изключение на това в **черен дроб на скобар**, което намалява в реда: **Cu > As > Cd**. Съдържанието на мед, кадмий и арсен ($mg.kg^{-1}$ свежа маса) в *Alb. alburnus*, *Abr. brama* и *Ch. nasus* намалява в реда **черен дроб > кожа > мускули**. В **черен дроб** на уклей и скобар са установени най-високи превишения на Cd (28.2 пъти спрямо Наредба № 31 / 7.05 пъти спрямо FAO и 18.6 пъти спрямо Наредба № 31 / 4.65 пъти спрямо FAO, съответно), а в черен дроб на платика – на As (15.49 пъти спрямо Наредба № 31). В **кожа** на уклей са установени най-високи превишения на Cd (12.2 пъти спрямо Наредба № 31 / 3.05 пъти спрямо FAO), а в кожата на платика и скобар – на As (съответно 6.46 и 4.42 пъти спрямо Наредба № 31). В **мускули** на уклей, платика и скобар са установени най-високи превишения на As (съответно 3.57, 2.64 и 1.9 пъти спрямо Наредба № 31). Превишения на Cu са установени само в черен дроб на платика (1.29 пъти спрямо Наредба №31) и скобар (2.62 пъти спрямо Наредба № 31 и 1.31 пъти спрямо WHO). Естеството на изследваните проби от тъкани и органи и видът на рибата са определящи за съдържанието на Cu, Cd и As (тест на Friedman $F=6.0$; $p=0.049<0.05$). Черният дроб на *Ch. nasus* и *Alb. alburnus* може да се използва като добър биоиндикатор за Cd, а черният дроб на *Abr. brama* – за As.
2. Съдържанието на изследваните елементи **в паразити** на уклей, платика и скобар намалява в реда: **As > Cu > Cd**. Най-високи концентрации на As са установени в *P. laevis* от *Ch. nasus* ($C_{As}=370.07\pm 229.35 mg.kg^{-1}$ свежа маса); на Cu и Cd – в *Contracaecum* sp. от *Ch. nasus* ($C_{Cu}=15.07\pm 19 mg.kg^{-1}$ свежа маса и $C_{Cd}=3.51\pm 3.36 mg.kg^{-1}$ свежа маса, съответно). Видът на гостоприемника е от значение за съдържанието на As в *P. laevis* ($\chi^2_{PI/Abf/PI/Alb}=15.66$, $p=0.0004<0.05$; $\chi^2_{PI/Abf/PI/Ch}=66.07$, $p=0.0000$; $\chi^2_{PI/Alb/PI/Ch}=22.69$, $p=0.0000$). Видът на хелминта в скобар е от значение за съдържанието на As и Cu в пробите ($t_{As}=29.45$, $p=0.03<0.05$; $t_{Cu}=21.37$, $p=0.04<0.05$). Превишение на Cu е отчетено единствено в *Contracaecum* sp. от скобар – 1.51 пъти спрямо Наредба № 31. Най-високо превишение на Cd е отчетено в *Contracaecum* sp. от скобар (70.2 пъти спрямо Наредба № 31/ 17.55 пъти спрямо нормата посочена от FAO); на As – в *P. laevis* от скобар (370.07 пъти спрямо Наредба № 31). Добър биоиндикатор за съдържание на Cd е нематодът *Contracaecum* sp., а на As – *P. laevis*.
3. Съдържанието на трите елемента във **води и седименти** намалява в реда: **As > Cu > Cd**, като за всички тях са установени превишения. Най-високи са превишенията за As (106 пъти над МДК в Наредба Н-4 от 2012 г. / 26.5 пъти над ПДК в Наредба № 18 за води; 16.94 пъти спрямо МДК в Наредба № 3 / 14.6 пъти спрямо Холандските целеви стойности за седименти).

4. **Концентрациите на Cu** в черен дроб намаляват в реда: *Ch. nasus* > *Abr. brama* > *Alb. alburnus*. **Концентрациите на Cu** в кожа и мускули, както и на **Cd** в черен дроб, кожа и мускули намаляват в реда: *Alb. alburnus* > *Ch. nasus* > *Abr. brama*. **Концентрациите на As** в черен дроб, кожа и мускули намаляват както следва: *Alb. alburnus* > *Abr. brama* > *Ch. nasus*. Съдържанието на Cu и Cd в изследваните тъкани и органи на уклей, платика и скобар; на As в тъканите и органите на уклей; на As в черен дроб и кожа на платика и скобар; на Cu, Cd и As в техните паразити е по-високо от това във води. Съдържанието на Cd в *Contracaecum* sp. от *Ch. nasus* е по-високо от това в седименти. Съдържанието на As в мускули на платика и скобар е по-ниско от това във води. Съдържанието на Cu, Cd и As в тъкани и органи на уклей, платика и скобар; на Cu и As в *Contracaecum* sp. от *Ch. nasus* е по-ниско от това в седименти. Съдържанието на Cu е най-високо в черния дроб на *Ch. nasus*, а на Cd и As – в черния дроб на *Alb. alburnus*. Съдържанието на Cu и Cd е най-високо в *Contracaecum* sp., а на As – в *P. laevis*.
5. При трите изследвани вида риби, най-високи **превишения на мед, кадмий и арсен** са открити в проби от черен дроб. При *Alb. alburnus* и *Abr. brama* най-високи превишения на **Cu** са установени през есента, а на **Cd** и **As** през пролетта; при *Ch. nasus* най-високи превишения на **Cu** са установени през лятото, на **Cd** – през есента, а на **As** – през пролетта. Сезонът е определящ фактор за съдържанието на Cu, Cd и As в черен дроб, кожа и мускули на *Alb. alburnus* (тест на Friedman, $F=48.37$, $p=0.003<0.05$); за съдържанието на Cu и Cd в пробите от мускули на *Abr. brama* (тест на Friedman $F=6.0$, $p=0.049<0.05$), както и за съдържанието на Cu в пробите от мускули на *Ch. nasus* ($F=6.0$, $p=0.049<0.05$). Сезонните различия в съдържанието на Cu, Cd и As в изследваните тъкани и органи на уклей, платика и скобар са свързани освен със съдържанието на тези елементи във води и седименти през различните сезони, и с различията в диетата на рибите и начина им на хранене.
6. Най-високи **превишения на As** във **води и седименти** са отчетени през пролетта и лятото, съответно; на **Cd** – през лятото и есента във води и през есента в седименти; а на **Cu** – през пролетта, а в седименти – през есента. Значими сезонни различия са установено за съдържанието на Cd във води и седименти през сезоните пролет и лято ($t=29.61$, $p=0.03<0.05$ и $t=26.15$, $p=0.03<0.05$, съответно), пролет и есен ($t=132.57$, $p=0.007<0.05$ и $t=516.02$, $p=0.001<0.05$, съответно); Cd за седименти и през сезоните лято и есен ($t=13493.98$, $p=0.0001<0.05$).
7. При трите изследвани вида риби, най-високи **превишения на мед, кадмий и арсен** са открити в проби от черен дроб. При *Abr. brama* и *Ch. nasus* най-високи превишения на **Cu** са установени през 2019 и 2020 г., съответно, а при уклей няма превишения; при *Alb. alburnus* и *Ch. nasus* най-високи превишения на **Cd** са установени през 2020 г., а при *Abr. brama* – през 2019 г. При трите вида риби най-високи превишения на **As** са открити през 2021 г. Различията в условията на местообитанията през трите години от периода на изследване са определящ фактор ($F=6.0$, $p=0.049<0.05$) за съдържанието на: Cu в пробите от черен дроб и за съдържанието на Cd и As в пробите от мускули на *Alb. alburnus*; на Cu в пробите от кожа и за съдържанието на As в пробите от черен дроб, кожа и мускули на *Abr. brama*; на Cu, Cd и As в пробите от черен дроб на *Ch. nasus*. Годишните различия в съдържанието на Cu, Cd и As в черен дроб, кожа и мускули на трите изследвани вида риби се дължат на различното съдържание на проследяваните елементи във води, седименти и в използваната храна.
8. Най-високи **превишения на Cu и As** във **води и седименти** са установени през 2020 г.; на **Cd** във води – през 2020 г., а в седименти – през 2019 г.

9. Стойностите на **BCF** за Cu, Cd и As в черен дроб и кожа на *Alb. alburnus* спрямо **води**, в мускули на *Abr. brama* и *Ch. nasus* спрямо **води**; в *P. laevis* и *Contracaecum sp.* спрямо **води**; в черен дроб, кожа и мускули на *Alb. alburnus*, *Abr. brama* и *Ch. nasus* спрямо **седименти**; в *Contracaecum sp.* спрямо **седименти** са най-високи за **Cd**. Стойностите на **BCF** за Cu, Cd и As в мускули на *Alb. alburnus* спрямо **води**, както и в черен дроб и кожа на *Abr. brama* и *Ch. nasus* спрямо **води** са най-високи за **Cu**. Стойностите на **BCF** за **Cu** в тъкани и органи на трите вида риби спрямо **води** и **седименти** са най-високи в черен дроб на *Ch. nasus* ($BCF_{Cu}^{\text{Черен дроб/Води}}=374.71$; $BCF_{Cu}^{\text{Черен дроб/Седименти}}=0.31$); за **Cd** и **As** – в черен дроб на *Alb. alburnus* ($BCF_{Cd}^{\text{Черен дроб/Води}}=141$, $BCF_{Cd}^{\text{Черен дроб/Седименти}}=0.62$; $BCF_{As}^{\text{Черен дроб/Води}}=7.49$, $BCF_{As}^{\text{Черен дроб/Седименти}}=0.18$).
10. Стойностите на **BCF** за трите елемента в *P. laevis* от *Alb. alburnus*, *Abr. brama* и *Ch. nasus* спрямо **води**, както и в *Contracaecum sp.* от *Ch. nasus* спрямо **води** и **седименти** са най-високи за **Cd**. С най-висока стойност на **BCF** спрямо **води** се отличава *Contracaecum sp.* от *Ch. nasus* ($BCF_{Cd}=351$). Най-висока стойност на фактора на биоконцентрация в *Contracaecum sp.* спрямо **седименти** е установена също за Cd ($BCF_{Cd}=1.74$). Стойностите на факторите на биоаккумуляция (**BAF**) за Cu, Cd и As в паразити спрямо изследваните тъкани и органи намаляват в реда: **мускули > кожа > черен дроб**. Стойността на **BAF** в *P. laevis* спрямо черен дроб, кожа и мускули на неговите гостоприемници, както и в *Contracaecum sp.* спрямо черен дроб на скобар са най-високи за **As**, а в *Contracaecum sp.* спрямо кожа и мускули на скобар – за **Cd**. Най-високи стойности на **BAF** в *P. laevis* са установени спрямо мускули на трите вида риби, като най-висока е спрямо мускули на *Ch. nasus* за As ($BAF_{As}=194.77$), а в *Contracaecum sp.* спрямо мускули на *Ch. nasus* за Cd ($BAF_{Cd}=50.14$). Стойностите на фактора на биоконцентрация за Cu в тъкани и органи на риби спрямо **води** и **седименти** са най-високи в черен дроб на скобар, а за Cd и As – в черен дроб на уклея. Факторите на биоконцентрация в паразити спрямо **води** и **седименти** са най-високи за Cd. *P. laevis* от уклея, платика и скобар има най-високи стойности на фактора на биоаккумуляция за As, а *Contracaecum sp.* от скобар – за Cd.
11. При Cu и Cd има **много силна корелационна зависимост** между тъканите и органите на трите вида риби, техните паразити, водите и седиментите, но **силна зависимост** между концентрациите на Cd в *P. laevis* от уклея и скобар спрямо водите ($r_s=0.87-0.89$, $p<0.01$). При As е установена **много силна корелация** между тъкани и органи на риби и седименти, както и между паразити, тъкани и органи на техните гостоприемници (с изключение на откритата **силна зависимост** между *P. laevis* и черен дроб на платика ($r_s=0.89$, $p<0.01$), и между *Contracaecum sp.*, и черен дроб и мускули на скобар ($r_s=0.88$, $p<0.01$)). При As **няма значима корелационна зависимост** между тъкани и органи на риби, паразити и **води**. Влияние върху натрупването на Cu и Cd в уклея, платика и скобар оказва храната, седиментите и водата, докато върху натрупването на As основно влияние имат седиментите и храната.
12. По-високи, за биотоп Куделин от установените в предходни изследвания за долния участък на р. Дунав в България, са **концентрациите** на As и Cd в черен дроб, кожа и мускули на *Alb. alburnus* (от 24.29 до 393.33 пъти и от 2.61 до 22.74 пъти, съответно); на As в черен дроб, кожа и мускули на *Abr. brama* (от 3.69 до 39.72 пъти); на As в паразити на риби (от 5.63 до 12.76 пъти); на Cu, Cd и As във **води/ седименти** (от 2.98 до 13.46 пъти за Cu във **води**; 3.27 пъти за Cu в **седименти**; 1.41 пъти за Cd в **седименти**; от 132.5 до 1472.22 пъти за As във **води**; от 73.77 до 97.34 пъти за As в **седименти**). **Стойностите на BCF** за Cd в тъкани и органи на *Alb. alburnus* спрямо **води** и **седименти**; за As в тъкани и органи на *Alb. alburnus* спрямо **седименти** (в повечето случаи) от биотоп Куделин са **по-високи**

от установените за долния участък на реката (биотоп Ветрен). Стойностите на **ВAF** за As в *P. laevis* спрямо черен дроб, кожа и мускули на уклея и платика от биотоп Куделин са **по-ниски** от установените за биотоп Ветрен, с изключение на фактора на биоаккумуляция за As в *P. laevis* спрямо мускули на платика от биотоп Куделин, който е **по-висок** ($ВAF_{P. laevis / \text{Мускули } Abr. brama} = 64.95$).

НАУЧНИ И НАУЧНО–ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1. Представени са първи за България и българския участък на р. Дунав изследвания върху съдържанието на Cu, Cd и As в черен дроб, кожа и мускули на *Ch. nasus* и нейните паразити *P. laevis* и *Contracaecum* sp.
2. Предоставени са нови данни за съдържанието на Cu в черен дроб, кожа и мускули на *Alb. alburnus*; на Cu и Cd в *P. laevis* от *Alb. alburnus*; на Cd в *P. laevis* от *Abr. brama* от р. Дунав в България; на Cd в черен дроб, кожа и мускули на *Abr. brama* от р. Дунав и басейна на реката в България.
3. Актуализирани са данните за съдържанието на Cd и As в черен дроб, кожа и мускули на *Alb. alburnus*; на Cu и As в черен дроб, кожа и мускули на *Abr. brama*; на As в *P. laevis* от *Alb. alburnus* и *Abr. brama*; на Cu в *P. laevis* от *Abr. brama*; на Cu, Cd и As във води и седименти от българския участък на р. Дунав с резултатите от биотоп Куделин.
4. За първи път се сравнява съдържанието на Cu, Cd и As в черен дроб, кожа и мускули на *Alb. alburnus*, *Abr. brama* и *Ch. nasus*. За първи път се разглеждат сезонните изменения в съдържанието на Cu и Cd в черен дроб, кожа и мускули на *Alb. alburnus* и *Abr. brama*; годишните изменения на Cu, Cd и As в черен дроб, кожа и мускули на *Alb. alburnus* и *Abr. brama*; сезонните и годишните изменения в съдържанието на Cu, Cd и As в черен дроб, кожа и мускули на *Ch. nasus* от българския участък на р. Дунав.
5. Актуализирани са данните за сезонните изменения в съдържанието на As в черен дроб, кожа и мускули на *Alb. alburnus* и *Abr. brama* от българския участък на р. Дунав с резултатите от биотоп Куделин.
6. Обогатена е научната литература за съдържанието на Cu, Cd и As в тъкани и органи на *Alb. alburnus*, *Abr. brama* и *Ch. nasus*, паразити (*P. laevis*, *Contracaecum* sp.), както и във води и седименти от сладководната екосистема на р. Дунав.
7. Установени са превишения на Cu, Cd и As в черен дроб, кожа и мускули на *Alb. alburnus*, *Abr. brama* и *Ch. nasus* (с изключение на Cu в черен дроб на *Alb. alburnus*) от р. Дунав, биотоп Куделин.
8. За първи път се разглежда циркулацията на Cu и Cd в черен дроб, кожа и мускули на *Alb. alburnus* и *Abr. brama*, както и циркулацията на Cu, Cd и As в черен дроб, кожа и мускули на *Ch. nasus*, техни паразити, води и седименти от р. Дунав в България.
9. Актуализирани са данните за циркулацията на As в черен дроб, кожа и мускули на *Alb. alburnus*, *Abr. brama*, техните паразити, води и седименти от българския участък на р. Дунав с резултатите от биотоп Куделин.
10. За първи път се съобщават данни за стойностите на фактора на биоконцентрация за Cu в черен дроб, кожа и мускули на *Alb. alburnus* спрямо води и седименти; за Cd в черен дроб, кожа и мускули на *Abr. brama* спрямо води и седименти; за Cu в черен дроб, кожа и мускули на *Abr. brama* спрямо води; за Cu, Cd и As в черен дроб, кожа и мускули на *Ch. nasus* спрямо води и седименти; за Cu и Cd в *P. laevis* от уклея и платика спрямо води; за Cu, Cd и As в *P. laevis* от скобар спрямо води; за Cu, Cd и As в *Contracaecum* sp. от скобар спрямо води и седименти; както и за стойностите на фактора на биоаккумуляция за Cu и Cd в *P. laevis* от уклея; за Cd в *P. laevis* от платика; за Cu, Cd и As в *P. laevis* и *Contracaecum* sp. от скобар от р. Дунав в България.
11. Актуализирани са данните за стойностите на фактора на биоконцентрация за Cd и As в черен дроб, кожа и мускули на *Alb. alburnus* спрямо води и седименти; за As в черен дроб, кожа и мускули на *Abr. brama* спрямо води и седименти; за Cu в черен

дроб, кожа и мускули на *Abr. brama* спрямо седименти; за As в *P. laevis* от уклея и платика спрямо води; както и за стойностите на фактора на биоаккумуляция за Cu в *P. laevis* от платика; за As в *P. laevis* от уклея и платика от р. Дунав в България с резултатите от биотоп Куделин.

12. Изявени биоиндикатори са: черен дроб на скобар и уклея за съдържание на Cd; черен дроб на платика за съдържание на As; *Contracaecum* sp. за съдържание на Cd; *P. laevis* за съдържание на As.

ПРЕПОРЪКИ

1. Препоръчва се отстраняване на кожата на рибите преди консумация, във връзка с това, че от изследваните тъкани и органи, кожата и при трите изследвани вида риби, през целия период на изследване, се нарежда на второ място по съдържание на Cd и As, превишаващи нормите в Наредба № 31.
2. Препоръчва се да се ограничи консумацията на трите изследвани вида риби (уклея, платика и скобар) поради отчетените превишения в концентрациите на Cd и As в пробите от мускули спрямо нормите в Наредба № 31.
3. Препоръчва се отстраняване на вътрешните органи на рибите с по-малки размери като уклея, поради установените най-високи концентрации и превишения на трите изследвани елемента в пробите от черен дроб.
4. Препоръчва се извършването на перманентни изследвания (МОСВ, ИАОС, МЗ, БАБХ) върху съдържанието на тежки метали, металоид в тъкани, органи и паразити на риби, води и седименти от изследвания участък на р. Дунав.
5. Препоръчва се черният дроб на *Ch. nasus* и *Alb. alburnus* да се използва като биоиндикатор за Cd, а черния дроб на *Abr. brama* – за As.
6. Препоръчва се *Contracaecum* sp. да бъде включен в системите за биомониторинг (МОСВ, ИАОС) като успешен биоиндикатор за съдържанието на Cd, а *P. laevis* като биоиндикатор за съдържание на As.
7. Препоръчва се засилен контрол (МОСВ, ИАОС, РИОСВ) върху качеството на водите и седиментите в изследвания участък на р. Дунав във връзка със завишените концентрации на Cu, Cd и As.
8. Да се оптимизира трансграничното сътрудничество във връзка с ограничаване на негативното въздействие от промишлеността и селското стопанство; подобряване състоянието на сладководната екосистема и запазване на видовото разнообразие.

СПИСЪК С НАУЧНИ ПУБЛИКАЦИИ ВЪВ ВРЪЗКА С ДИСЕРТАЦИЯТА

1. **Zaharieva, P., Kirin, D., 2020.** A contribution to the studies on the content of Cu, Cd and As in *Alburnus alburnus* (Linnaeus, 1758) from the Danube River. Scientific Papers. Series D. Animal Science, LXIII (2), 405-412, ISSN 2285-5750; ISSN CD-ROM 2285-5769; ISSN Online 2393-2260; ISSN-L 2285-5750
2. **Zaharieva, P., Kirin, D., 2020.** Content of copper, cadmium and arsenic in *Chondrostoma nasus* (Linnaeus, 1758) from the Danube River. Scientific Papers. Series D. Animal Science, LXIII (1), 481-488, ISSN 2285-5750; ISSN CD-ROM 2285-5769; ISSN Online 2393-2260; ISSN-L 2285-5750.

УЧАСТИЕ В МЕЖДУНАРОДНИ НАУЧНИ КОНФЕРЕНЦИИ

1. Zaharieva P., Zaharieva R. 2020. Ecologohelminthological investigations and circulation of arsenic in the system Water – Sediments – *Chondrostoma nasus* – *Contracaecum* sp., larvae from the Danube River. Book of Abstracts of 16th International May Conference on Strategic Management - IMCSM20, 29. (EBSCOHost Database; Web of Science) <http://media.sjm06.com/2020/09/IMCSM20-Book-of-Abstracts.pdf>
2. Zaharieva P., Zaharieva R., 2021. Parasite communities and a content of copper in *Chondrostoma nasus* and *Alburnus alburnus* from the Danube River, Bulgaria. Book of Abstracts of 17th International May Conference on Strategic Management - IMCSM21, 23. (EBSCOHost Database; Web of Science) ISBN 978-86-6305-114-0 https://drive.google.com/file/d/1dm8vGyrgYJosbIYfQvZ_EkRgZZximrk9/view
2. Zaharieva R., Zaharieva P., 2021. Parasite communities and a content of arsenic in *Alburnus alburnus* and *Abramis brama* from the Danube River, Bulgaria. – In: International May Conference on Strategic Management (IMCSM21): Book of Abstracts of 17th International May Conference on Strategic Management - IMCSM21, 24. (EBSCOHost Database; Web of Science) ISBN 978-86-6305-114-0 https://drive.google.com/file/d/1dm8vGyrgYJosbIYfQvZ_EkRgZZximrk9/view

БЛАГОДАРНОСТИ

Най-искрено благодаря на научния ми ръководител професор д-р Диана Кирина за осигурената възможност да работим заедно и шанса за разработването на настоящата научноизследователска работа; за всеотдайната помощ и полезните съвети и насоки по време на цялото изследване; за подкрепата и съвместната работата на терен и по време на лабораторните изследвания; за съдействието и отзивчивостта във всеки един момент; за всеотдайността, търпението, вниманието, доверието; за прекрасните моменти и споделените преживявания.

Благодаря на ръководството на Аграрен университет – Пловдив и на ФРЗА за предоставената възможност за разработване на научноизследователския труд.

Издавам благодарност на заместник-ректора по учебната дейност доцент д-р Боряна Иванова за помощта и отзивчивостта.

Благодаря на ръководството на Центъра за научни изследвания, трансфер на технологии и защита на интелектуалната собственост към Аграрен университет – Пловдив за предоставените финансови средства през трите години на изследването, които бяха използвани за химични анализи и публикуване на получените резултати.

Искам да благодаря на г-жа Радостина Христова за помощта във връзка с извършването на химичните анализи в акредитираната лаборатория към Института по биоразнообразие и екосистемни изследвания при БАН, София.

Благодарна съм на семейството и приятелите ми за подкрепата, разбирането, вярата.

