

СОФИЙСКИ УНИВЕРСИТЕТ “СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ”



БИОЛОГИЧЕСКИ ФАКУЛТЕТ
КАТЕДРА “ОБЩА И ПРИЛОЖНА ХИДРОБИОЛОГИЯ”

Милена Стефанова Стефанова

АВТОРЕФЕРАТ

На дисертация на тема

**„Динамика на основни съобщества в системата яз. Искър –
р. Искър под влияние на антропогенен натиск“**

за присъждане на образователна и научна степен „доктор“
по професионално направление 4.3 Биологически науки
(Хидробиология - Ихтиология)

Научни ръководители:

Доц. д-р Димитър Кожухаров

Доц. д-р Галерида Райкова-Петрова

София
2022

Дисертацията съдържа 201 страници, 18 таблици, 61 фигури и 11 приложения. Цитирани са 380 литературни източника (77 на кирилица и 303 на латиница), 13 бр. нормативни документи и 9 интернет страници.

Дисертационният труд е обсъден и насрочен за защита на заседание на разширен съвет на катедра „Обща и приложна хидробиология“ при Биологически факултет на Софийски университет „Св. Климент Охридски“, проведено на 20.04.2022 г.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 2022 г. от часа в
.....

Съдържание

1	Увод.....	4
2	Литературен обзор	6
3	Цел и задачи.....	6
4	Обект на изследването.....	8
5	Материали и методи	9
5.1	Теренни изследвания.....	9
5.2	Лабораторна обработка.....	11
5.3	Анализи.....	12
6	Резултати и обсъждане	15
6.1	Абиотични фактори.	15
6.2	Хлорофил-а и трофичен индекс (TSI) на Carlson (1977)	20
6.3	Зоопланктон	21
6.3.1	Таксономичен състав на зоопланктона	21
6.3.2	Анализ на количествените параметри на зоопланктона	27
6.3.3	Структурен анализ на зоопланктонното съобщество.....	32
6.4	Параметри на макрозообентоса	36
6.5	Елементен състав и съдържание на метали в риби и планктон	38
7	Изводи	48
8	Приноси	50
	Излезли от печат публикации по темата на дисертацията	51
	Благодарности	52

Използвани съкращения

БДДР - Басейнова Дирекция „Дунавски Район“
БПК – биохимична потребност от кислород
ВВР – висша водна растителност
ИАОС – Изпълнителна агенция по околна среда
ПДК – Пределно допустими концентрации
ПУРБ - План за управление на речния басейн
РДВ - Рамкова Директива за Водите (ЕС 2000/60)
РФА - Рентгенофлуоресцентен анализ
ФХЕК - Физични и химични елементи за качество
ХПК – химично потребление на кислород
ANOSIM - Analysis of similarities (дисперсионен анализ за сходство)
с - индекс за доминиране в съобществото по Simpson (1949)
Cl – Cladocera
Cop - Copepoda
DF - честота на доминиране
DT - порядък на доминиране
е - индекс за изравненост в съобществото по Pielou (1966)
H - индекс за разнообразие по Shannon & Weaver (1963)
MDS - Multidimensional scaling (Многоизмерно мащабиране)
N – обща численост
PCA – Principal component analysis (Анализ на главните компоненти)
pF - честота на срещане
R – Rotifera
RCC – индекс Rotifera/Cladocera/Copepoda TSI – Индекс за трофично състояние (Trophic state index)
TSI_(ROT) - Ротиферен трофичен индекс

Използваните означения на мерни единици в дисертацията са в съответствие с Международната система единици (SI) и Наредба за единиците за измерване, разрешени за използване в Република България.

1 Увод

Язовирите представляват ключови източници на сладководни ресурси. Те обезпечават човешкото общество с води за питейно водоснабдяване, селскостопански и промишлени нужди, производство на електроенергия, аквакултури и др. Първостепенен фактор за качеството и количеството на ползите, които човек извлича от язовирите е състоянието на язовирната екосистема. Като изкуствени водоеми, създадени с цел експлоатация, язовирите са подложени на различни по тип и интензитет антропогенни влияния. Тези условия, заедно с особеностите на градиента река-язовир, са пряко свързани със

структурата и динамиката на биологичните съобщества в язовирите. Нуждата да се анализира състоянието на язовирните екосистеми и да се предвиди тяхното развитие изисква задълбочено проучване и оценка на структурните и функционални характеристики на населяващите ги биоценози. Изследването на спецификите на екотонните зони река-язовир също е от съществено значение за намаляване на отрицателните антропогенни въздействия, както и за по-доброто управление и контрол на водните ресурси.

Язовир Искър е основен източник за водоснабдяване на столицата София с население над 1 300 000 души и е сред най-значимите язовири в страната. Неговото предназначение, местоположение и екологичен потенциал предполагат специално внимание по отношение на научни изследвания с цел подобряване на управлението и опазване на високото качество на водата. Въпреки това, Искър не е сред най-подробно проучваните от хидробиологична гледна точка язовири у нас. Проведените до момента изследвания са малко и засягат различни аспекти в периоди, относително раздалечени във времето. Това възпрепятства анализите на досегашното развитие на екосистемата, както и прогнозирането на предстоящи промени в състоянието и тяхната скорост.

Установената от Директива 2000/60/ЕО рамка за опазване на всички видове води предвижда намаляване на замърсяването във водните обекти, гарантиране на устойчиво използване на водите, поддържане и подобряване на екологичното състояние на водните ресурси. Според РДВ водещо значение в оценката на състоянието имат биологичните елементи за качество, като при определяне на екологичния потенциал на големите дълбоки язовири основният биологичен елемент за качество е фитопланктонът. В стоящите сладководни басейни водеща роля в хранителните мрежи и потока на енергия заема съобществото на планктона. Ключова част от това съобщество е зоопланктонът, който е връзка между продуцентите и консументите от по-високи нива в трофичните вериги. Въпреки че се счита за важен компонент на пелагичната хранителна мрежа, зоопланктонът не е посочен в РДВ като задължителен елемент за оценка. Зоопланктонът включва както видове с кратък, така и с относително по-продължителен жизнен цикъл, чувствителни към промени в средата, поради което може да спомогне за оценката на времевите вариации в условията на системата и трофичното състояние на водоема. Въпреки че макрозообентосът и рибите са утвърдени биологични елементи за качество съгласно РДВ, методите за оценка на екологичния потенциал на големите дълбоки язовири от тип L11 чрез тези съобщества не са прецизирани. Резултатите от редовно провеждани изследвания на ихтиофауната, макробезгръбначните и планктона в големите язовири биха способствали за разработване на подходящи методи за оценка на състоянието на водоемите и ефективни подходи за тяхното управление и опазване. Световният опит показва, че управлението на водните ресурси, без да се вземат предвид състоянието и особеностите на хидроекосистемите създава рискове, както за околната среда, така и за обществото.

2 Литературен обзор

В тази глава са разгледани основните характеристики на *язовирите* и свързаните с тях особености на язовирните екосистеми и биоценози. Акцентирано е върху *екотонните зони* при вливащите се реки и динамиката на процесите там. Като изкуствени водоеми, изложени на различни видове експлоатация, за язовирите са характерни постоянни *антропогенни въздействия*, които определят някои от спецификите на техните екосистеми. Обсъдени са основни фактори, които повлияват разпределението на водните съобщества в язовирните системи в пространствен и времеви аспект. Разгледани са различни характеристики на водните съобщества във връзка с тяхната роля на биологични елементи за качество на водите.

Направен е преглед на достъпната литература относно изследвания на основни водни съобщества в част от големите язовири в България. Някои от българските язовири са изследвани веднага след тяхното завиряване, а при други, хидробиологични изследвания стартират на по-късни етапи от тяхното развитие. Осъществените през последните десетилетия проучвания върху водните съобщества в язовирите засягат различни аспекти, като голяма част от тях са насочени към оценка на екологично състояние, трофична структура, антропогенни влияния и качествено моделиране. Специално внимание е обърнато на изследванията върху натрупване на тежки метали в риби и други водни организми от различни водоеми в страната във връзка с антропогенния натиск от замърсяване.

За разлика от р. Искър, която е сред най-системно проучваните водни обекти у нас, направената справка показва твърде малко хидробиологични изследвания, проведени в яз. Искър. Като основен водоизточник на столицата София и един от най-значимите язовири в страната с качествени водни ресурси, би следвало Искър да представлява силен научен интерес и предполага провеждане на системни изследвания. От направения преглед личи необходимостта от по-пълно проучване и изясняване на структурата и функционалните особености на хидроекосистемата на яз. Искър.

3 Цел и задачи

Целта на настоящия дисертационен труд е да се изследва **динамиката на зоопланктона** като част от планктонното съобщество, водещо за стоящите сладководни басейни, в условията на **екотонни ефекти** и антропогенен натиск. Паралелно да се проследят параметри на макрозообентоса и наличието или липсата на токсични елементи в риби и планктон в системата река Искър – язовир Искър.

В съответствие с целта са поставени следните задачи:

1. Да се изследват основни физични и хидрохимични показатели в системата р. Искър – яз. Искър и да се определят техните изменения (пространствени и времеви);
2. Да се проучи съвременното видово богатство на зоопланктонните съобщества в изследваната система;
3. Да се анализират динамиката на количествените параметри на зоопланктона в пространството и времето, както и относителните параметри на фитопланктон и бентос, на фона на основни абиотични фактори, екотонни ефекти и антропогенен натиск;
4. Да се определи елементният състав на метали в планктонни проби, тъкани и органи на риби.
5. Да се определят тенденциите в разпределението на изследваните структурни и функционални параметри на съобществата във връзка с екотонните ефекти.

Работна хипотеза: Изследваните водни съобщества ще бъдат най-силно антропогенно повлияни именно в екотонната зона река – язовир. Екотонните ефекти и антропогенното влияние ще бъдат най-силно изразени върху изследваните параметри на водните съобщества в зоната на станция ISRI1 и по-слаби при станция ISRE2.

Работната хипотеза се основава върху концепцията за екотон между течащи и стоящи водни тела, като са взети предвид характерните особености на обекта на изследване. Като зона на активно взаимодействие между съобществата, притежаваща свойства, неприсъщи за нито една от съседните екосистеми, специфична динамика на процесите и ниска стабилност във времето, би следвало екотонът на изследваната система да притежава висок самопречиствателен потенциал (Odum, 2005; Kent et al., 1997; Kark, 2007; Кожухаров, 1995; 2019). Предвидените изследвания ще спомогнат за изясняване и на пространствените характеристиките на екотонната зона между р. Искър и язовира.

Поставените цел и хипотеза пораждат следните въпроси:

- В каква степен се различават изследваните параметри на различните пунктове?
- Какви са измененията и тенденциите на изследваните параметри във времето?

Обосновка на изследването: Язовир Искър е основен източник за водоснабдяване на столицата София. Първостепенен фактор за запазването на високото качество на питейната вода е състоянието на язовирната екосистема, подложена на постоянен антропогенен натиск. Искър не е сред най-подробно проучваните от хидробиологична гледна точка

язовири, което затруднява анализите на досегашното развитие на екосистемата, както и прогнозирането на предстоящи промени в състоянието и тяхната скорост. Казаното дотук подчертава необходимостта от по-подробни и системни изследвания на системата р. Искър - яз. Искър.

В големите дълбоки язовири водеща роля в потока на енергия заема съобществото на планктона. В настоящото изследване акцентът е поставен върху зоопланктона, от една страна поради неговата ключова роля като връзка между продуцентите и консументите от по-високи нива в трофичните вериги и от друга, поради това, че зоопланктонът не е включен като задължителен биологичен елемент за качество според РДВ. Макрозообентосът, макрофитите и рибите са утвърдени биологични елементи за качество съгласно РДВ, но методите за оценка на екологичния потенциал на язовирите от тип L11 чрез тези съобщества не са прецизирани у нас. Поради това, провеждането на изследвания върху водните съобщества на язовирните екосистеми биха допринесли за разработването и утвърждаването на подходяща методология за оценка на водоемите от този тип.

Изследването е фокусирано върху зоната на вливане на р. Искър в язовира, като основно място на постъпване на различни замърсители, зона с ключово значение за качеството на водата в язовира. Екотонът между течащ и стоящ водоем се характеризира с динамични абиотични условия и качествени и количествени параметри на водните съобщества, притежаващи висок самопречиствателен потенциал.

Като източници на замърсяване в горното течение на р. Искър са идентифицирани гр. Самоков, с. Драгушиново, р. Палакария и все по-голям брой нерегламентирани източници. На фона на нарастващия като цяло антропогенен натиск и предвид предназначението на водите на яз. Искър, е належащо да бъдат провеждани системни изследвания по отношение на съответните замърсители. Акумулацията на токсични елементи в седиментите и водните организми, а също и биомагнификацията са сериозен екологичен проблем, чиято актуалност все повече расте. Относително ниските концентрации на някои химични елементи във водата в р. Искър преди яз. Искър и в язовира (по данни на ИАОС) от една страна, и от друга - литературните данни за концентрацията на тежки метали в седиментите на р. Искър преди вливането в язовира (Parvanov et al., 2008; Първанов, 2009) дават основание за изследване на натрупаните във водните организми химични елементи.

4 Обект на изследването

Изследванията за настоящия дисертационен труд са проведени на яз. Искър и зоната на вливане на р. Искър в язовира (Фиг. 5.1). Яз. Искър се намира в Западна България, област София, на 818 m н. в., с водосборна площ 1046 km². Искър е най-големият по обем и втори по площ язовир в България с основно предназначение питейно-битово водоснабдяване на гр. София. Съгласно РДВ и Наредба № Н-4/2013 за характеризирание на повърхностните

води, яз. Искър е водно тяло, попадащо в категория „Силно модифициран воден обект“ от тип L11: Големи дълбоки язовири, димиктични „езера“ с изразена лятна стратификация и термоклин, олиготрофни до мезотрофни условия.

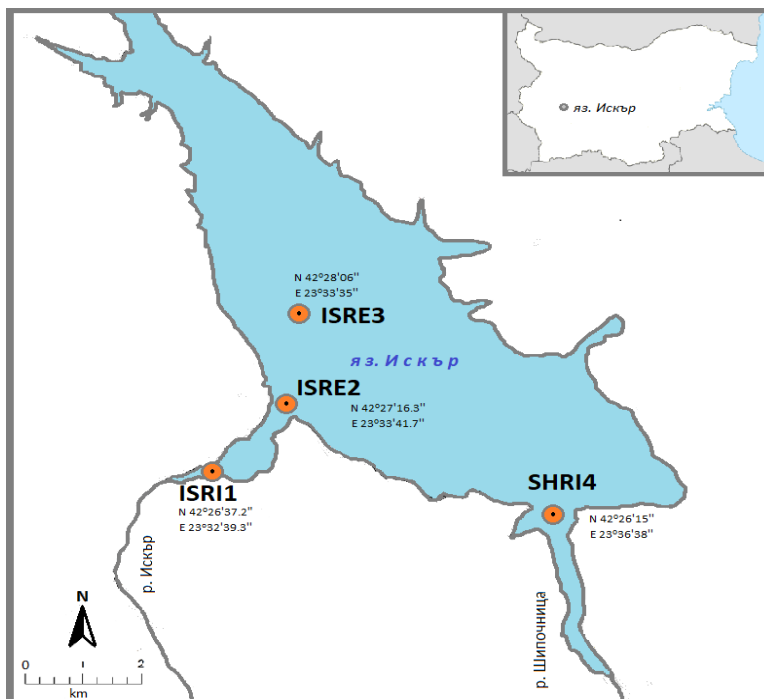
Таблица 4.1. Основни характеристики на яз. Искър. *Данни: НЕК ЕАД Предприятие „Язовири и каскади“.*

Максимална дължина	10,9 km
Максимална ширина	3,38 km
Максимална дълбочина	75 m
Обща залята площ	29,5 km ²
Общ обем	655,3 млн. m ³
Полезен обем	601,90 млн. m ³

5 Материали и методи

5.1 Теренни изследвания

Проучванията за настоящия дисертационен труд са проведени в периода 07.2009 – 08.2017 г. на четири постоянни пункта, подбрани с цел изследване на екотонните ефекти и отчитане на параметрите в централната пелагиална част на язовира. За обозначаване на изследваните пунктове, в дисертацията се използват кодове и местоположение, посочени на Фиг. 5.1. Проведени са 14 теренни експедиции през различни годишни сезони.



Фигура 5.1. Местоположение на четирите пункта за пробовземане в системата река Искър – язовир Искър. (за наименованията на пунктовете са използвани следните съкращения: ISRI и SHRI – Iskar River и Shipochnitza river; ISRE – Iskar reservoir)

Таблица 5.1. In situ измерени физични и химични показатели и използвани уреди.

Показател	Уред	
Температура на водата	(T) °C	спиртен термометър
Активна реакция	pH	Schott handylab pH11
Кислородна концентрация	(O ₂) mg/L	Schott – handylab OX1
Кислородно насищане	(O ₂) %	Schott – handylab OX1
Редокspotенциал	(redox) mV	Schott handylab pH11
Прозрачност	(transp) m	диск на Секки
Дълбочина	(depth) m	лот

Данни от мониторинг на повърхностни води за хидрологични и хидрохимични параметри в периода 06.2009-08.2017 г. от три пункта (р. Искър преди яз. Искър; яз. Искър – централна част, повърхност; р. Шипочница преди вливане в яз. Искър) са предоставени от Изпълнителната агенция по околна среда (ИАОС) към Министерството на околната среда и водите и Басейнова дирекция „Дунавски район“ (Табл. 5.2.).

Таблица 5.2. Физични и химични показатели **IRI** - р. Искър преди яз. Искър; **RE** - яз. Искър – централна част; **SRI** - р. Шипочница преди вливане в яз. Искър;

Показател	Метод	Пункт		
		IRI	RE	SRI
Активна реакция (pH)	БДС EN ISO 10523:2012	x	x	x
Електропроводимост, µS/cm	БДС EN 27888:2000	x	x	x
Неразтворени вещества (TSS), mg/L	БДС EN 872:2006	x	x	x
Температура (t), °C	БДС 17.1.4.01:1977	x	x	x
Разтворен кислород (O ₂), mg/L	БДС EN ISO 5814:2012; БДС EN ISO	x	x	x
Азот нитратен (N-NO ₃), mg/L	БДС ISO 7890-3:1998; БДС EN ISO 10304-	x	x	x
Азот амониен (N-NH ₄), mg/L	БДС ISO 7150-1:2002	x	x	x
Общ фосфор (като P)–(P-tot), mg/L	БДС EN ISO 6878:2005		x	
Ортофосфати (като P)–(PO ₄ -P), mg/L	БДС EN ISO 6878:2005	x		x
Желязо - разтворено (Fe), mg/L	БДС ISO 6332:2002	x	x	x
Живак (Hg), µg/L	ВВЛМ 1012/2010; БДС EN ISO		x	
Кадмий (Cd), µg/L	БДС EN ISO 17294-2:2005	x	x	x
Манган (Mn), µg/L	БДС EN ISO 17294-2:2005	x	x	x
Мед (Cu), µg/L	БДС EN ISO 17294-2:2005	x	x	x
Никел (Ni), mg/L	БДС EN ISO 17294-2:2005		x	
Селен (Se), mg/L	БДС EN ISO 17294-2:2005		x	
Олово (Pb), µg/L	ISO 8288:1986; БДС EN ISO 17294-2:2005	x	x	x
Калций (Ca), mg/L	БДС ISO 6058:2002	x	x	x
Арсен (As), µg/L	БДС EN ISO 17294-2:2005		x	
ХПК (COD), mg/L	ISO 15705:2002	x	x	x
БПК ₅ (BOD ₅), mg O/L	БДС EN 1899-2:2004	x	x	x
Хлорофил-а	БДС ISO 10260:2002		x	

Събрани и обработени са общо 128 **зоопланктонни** проби (83 количествени, 41 за определяне на качествения състав на зоопланктона и 4 концентрирани планктонни проби за определяне на елементен състав чрез Рентгенофлуоресцентен анализ). За събиране на пробите са използвани мрежи тип Arstein и Juday с входящ диаметър 16 cm и с размери на

„очите“ 38 µm. Количествените зоопланктонни проби на пунктовете с голяма дълбочина са взети от хоризонти през 5 m. Събраните проби са фиксирани на място в 40% формалин, доведен до 4% в пробите. Концентрираните проби за определяне на елементарен състав са съхранени чрез замразяване.

Данни от проучване на Андреев (1963) на зоопланктона и някои хидрологични и хидрохимични параметри на яз. Искър за периода 1961-1962 г. са асоциирани към настоящото изследване с цел отчитане и анализ на дългосрочните промени, настъпили при „стареенето“ на язовира.

Общо 28 количествени **макрозообентосни** проби са събрани и обработени по време на настоящото изследване. Пробите са събирани от четирите пункта с помощта на дъночерпател “Petersen” с размер 17x17.5 cm и фиксирани на място с 40% формалин, доведен в пробите до 4% или етанол 96%, доведен в пробите до 70%. (БДС, EN, ISO–5667–3: 2006, ISO–8265:1988).

Ихтиологичният материал е събран по време на три теренни експедиции – 30.03.2014 г. – Щъркелово гнездо; 14.11.2015 г. – Щъркелово гнездо и Ихтимански ръкав; 20.11.2016 г. р. Искър преди яз. Искър. Събрани са общо 32 екземпляра риби от различни видове и възрасти. Риболовът е извършен с помощта на рачило с големина на окото 8 mm и с електроулов с прав пулсиращ ток със сила 700 A и честота 120 Hz. По време на работа са спазени препоръките, относно използването на животни за научни цели (Директива 2010/63/ЕС). Част от материалът е осигурен от местни рибари. Събраните ихтиологични проби са съхранени чрез замразяване до по-нататъшната им обработка.

5.2 Лабораторна обработка

За лабораторната обработка на зоопланктона е използван модифициран метод на Hensen –Dimoff (1957), Найденов, (1977, 1984). Биомасата е изчислена въз основа на индивидуални стандартни тегла по Жадин (1949), Chislenko (1968), Korjinek (1987), Prikril (1980), Kozuharov (2006; 2007), Michaloudi (2005). Качественият състав на зоопланктона е определен с помощта на следните литературни източници: Voigt (1957), Rudesku (1960), Кутикова (1970), Segers (1995), Wallace et al. (2006), Мануилова (1964), Flöbner (1972), Алексеев, Цаолихин (2010), Рылов (1948), Монченко (1974), Петковски (1983). За наблюдение и определяне на материала е използван микроскоп Leitz – Laborlux-D с увеличения от 50 до 2250 пъти, Carl Zeiss – Amplivall и стереомикроскоп Leica GZ6 и PZO 10 с увеличения от 6 до 50 пъти. Количествените параметри на зоопланктона са изчислени за 1 m³.

Пробите, събрани за елементарен анализ са размразени, филтрирани през филтърна хартия, изсушени до въздушно сухо тегло и претеглени.

Макрозообентосните проби са промити на слабо течаща водна струя и механичните примеси - едри камъни, клони, листа и растителни частици са отстранени. Отделянето на организмите от пробите, както и определянето им до основни таксономични групи е осъществено с помощта на лабораторен стереомикроскоп Leica GZ6 или PZO 10 с увеличения от 6 до 50 пъти. При изчисление на метриците, резултатите са приведени към площ 1 m². Анализът на бентосните съобщества е извършен на ниво таксономична група.

Таксономичното определяне на рибите е извършено по Карапеткова и Живков (2010). На всеки екземпляр са измерени стандартната дължина на тялото (SL) и общо тегло (W). За определяне на възрастта от всеки екземпляр са взети по 5-10 люспи от областта над страничната линия и под първата гръбна перка. Възрастта на рибите е определена по люспите по методики, описани в ръководството на Чугунова (1959). Годишните кръгове са наблюдавани с проекционен апарат Dokumator на Carl Zeiss, Jena, при увеличение 17,5x.

За установяване елементния състав, на анализ са подложени хриле, вътрешни органи, мускули. Посочените тъкани и органи са избрани, изхождайки от физиологичното им значение за организма на рибите. От всеки екземпляр са изолирани хрилете, вътрешните органи (заедно) и мускулна тъкан. Получените проби (общо 60 бр.) са изсушени до въздушно сухо тегло и претеглени. Поради малкия размер на някои екземпляри, те не са изследвани поотделно, тъй като за РФА е необходим по-голям обем от изследвания материал. Част от пробите са групирани по вид, възраст (0 или 1 годишни) и вид органи/тъкан. За съпоставка между концентрации за сухо и за мокро тегло е използвана формулата, посочена от Lusk et al. (2005).

Елементният състав в биологичните проби е определен чрез рентгенофлуоресцентен анализ (РФА), извършен в Лаборатория за рентгенофлуоресцентен анализ към Институт за ядрени изследвания и ядрена енергетика при БАН. Пробите са изследвани за наличието на 32 елемента.

Методът на РФА може да се опише в следната последователност: Пробата се облъчва с източник на възбуждане (радиоизотоп, рентгенова тръба), при което се получава характеристично рентгеново лъчение от елементите в пробата. Получените характеристични линии се регистрират от спектрометър. Всеки елемент излъчва една или серия от характеристични линии със строго определена енергия. Групата от характеристични линии в получения рентгенов спектър са идентифициращ белег на неизвестния елемент (Beckhoff et al., 2006).

5.3 Анализи

- **Трофичният индекс** (TSI) на Carlson, използван за оценка на трофичния статус в яз. Искър е изчисляван по класически подход (Carlson 1977), като стойностите на индекса са средноаритметични от сборните оценки на прозрачност по Секки, m (TSI (SD)), хлорофил-

a, $\mu\text{g/l}$ (TSI (CHLa)) и общ фосфор, mg/l (TSI (TP)). Отделните стойности на трите трофични индекси се използват за изчисляване на крайния индекс TSI. Степените на трофност са съгласно зададените от Carlson (1977) граници.

- **Доминантен анализ на зоопланктона** (De Vries, 1937) е извършен за всеки зоопланктонен компонент.

Честота на срещане (pF) в %: $pF = m/n \cdot 100$, където: m е броят на пробите, в които е установен видът; n-общият брой на взетите проби. По-голямата честота на срещане на даден вид отговаря на по-голямото му значение за биоценозата. За постоянен се счита вид с честота на срещане $pF \geq 70\%$.

Честота на доминиране (DF) в %: $DF = md/n \cdot 100$, където: md е броят на пробите, в които видът доминира; n-общият брой на взетите проби. Честотата на доминиране, подобно на честотата на срещане е право пропорционална на значимостта на дадения вид за биоценозата.

Порядък на доминиране (DT) в %: $DT = DF/pF \cdot 100$, където: DF е честота на доминиране; pF - честота на срещане. Порядъкът на доминиране е показател за равномерността на разпределение на вида във времето и пространството.

- **Структурен анализ на зоопланктона** включва основните показатели за общото състояние на изследваната биоценоза. В изчисляването на индексите на зоопланктонните проби е използвано най-ниско детерминираното таксономично ниво.

Индекс за индивидуално видово разнообразие (H) (Shannon-Weaver, 1963)

$$H = - \sum (n/N) \cdot \ln (n/N)$$

където: n е численост на вида, N - численост на всички видове в пробата, Σ сума. Индексът за индивидуално видово разнообразие е функция от числеността и равномерността в разпределението на видовете. Стойностите му са високи за биоценози в оптимално състояние. Максималната стойност теоретично достига 5.

Индекс на Simpson (1949) за определяне доминирането в съобществото (c)

$$c = \sum (n/N)^2$$

където: n е численост на вида; N – численост на всички видове в пробата;

Индекс на Pielou (1966) за определяне на изравнеността (e) в съобществото:

$$e = H/\ln S$$

където: H- индекс на Shannon-Weaver; S-броят на видовете в пробата; Индексът за изравненост показва равномерността в разпределението на общата численост между отделните видове. Стойностите му са максимални (клонят към 1) в чисти води или там където често се променят абиотичните фактори.

- **Индекс за видово сходство (I) по Jaccard в %:**

$$I = c/a + b - c \cdot 100,$$

където: а - броят на видовете в едната проба; b - броят на видовете в другата проба; с - броят на общите за двете проби видове.

- **Индекс RCC** на Kozuřarov, Stanachkova et al. (2013) за изчисляване на съотношението между трите основни групи зоопланктонни организми – Rotifera, Cladocera и Soropoda, в %.

$$RCC = \frac{(N_{cl} + N_{cop})}{(N_{cl} + N_{cop} + N_r)} * 100$$

където: N_{cl} – численост на всички видове от група Cladocera, N_{cop} – численост на всички видове от група Soropoda, N_r – численост на всички видове от група Rotifera. Индексът се основава на някои особености на зоопланктонното съобщество. Стойността му е от 0 до 100 и нараства с намаляване на трофността на водите.

- **Ротиферен трофичен индекс (TSI_{ROT})** - на Ejsmont-Karabin (2012) е използван в опит да бъде оценено трофичното състояние на изследваните пунктове чрез различни параметри на зоопланктона от тип Rotifera. Индексът се изчислява на база обща численост на ротиферите; обща биомаса на ротиферите; отношение на биомаса към численост на ротиферите; процент на бактериофагните видове ротифери; процент на *K. tecta* от популацията на род *Keratella* и принос на видовете, които индикират високо трофично състояние в числеността на индикаторната група. Ротиферният индекс е приложим за Северна и Централна Европа и би могъл да бъде от голяма полза при изследвания на трофичното състояние в останалите части на Европа и света.

Статистическа обработка на данните

Предварителна обработка на данните, както и табличното и част от графичното представяне са извършени в MS Office 2010, Excel. За по-нататъшните анализи са използвани софтуерните пакети PAST 3 (Hammer et al., 2001) и Primer-E v6 (Clarke, Gorley, 2006). При необходимост, анализираните данни са предварително ($\log+x$) преобразувани, коренувани и/или нормализирани като част от стандартните статистически операции. За част от анализите, данните са форматирани до съпоставими матрици, на база евклидово разстояние (Euclidean distance) за абиотичните фактори и сходство по Bray-Curtis за биологичните показатели.

Чрез дескриптивен анализ са определени средните стойности на всеки от изследваните показатели, стандартното отклонение и стандартната грешка, коефициент на вариация.

За измерване на статистическа зависимост между две променливи са използвани корелационни анализи в програмата PAST. Линеен корелационен коефициент на Pearson е използван за оценка на зависимостта между абиотичните фактори, а рангов корелационен

коэффициент на Spearman е използван за оценка на корелацията между биологичните показатели и факторите на средата.

Структурните индекси за индивидуално видово разнообразие, за определяне на доминантност и изравненост са изчислени с помощта на програмата PAST.

Анализ на главните компоненти - Principal Component Analysis (PCA) е използван за определяне на основните фактори на средата с най-голямо значение за наблюдаваните разлики на изследваните пунктове (Primer-E).

One-way ANOSIM теста за оценка на сходства и разлики е използван за определяне на статистически значими различия между сравнявани групи от данни (Primer-E).

Класификационни (Клъстерни) анализи, базирани на коефициенти за сходство са използвани за различните категории данни на зоопланктонните съобщества. За оценка на сходство по качествените данни е използван коефициентът на Jaccard, а по количествените - на Bray-Curtis.

Многомерно мащабиране - Multi Dimensional Scaling (MDS) за визуализиране на нивото на сходство на различни биотични фактори.

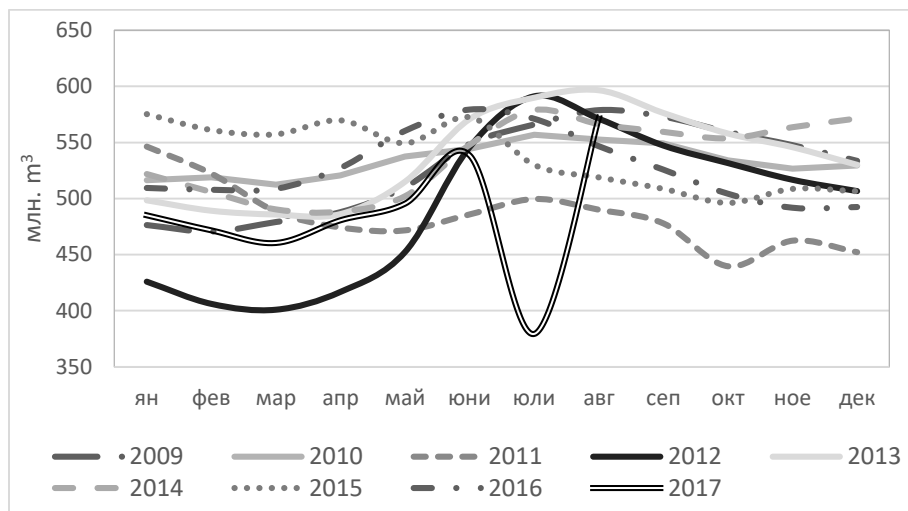
Статистическите анализи са извършени в съответствие с методите, посочени в ръководствата на Hammer et al. (2001) за програма PAST и на Clarke и Gorley (2006) за програма PRIMER-E v6.

6 Резултати и обсъждане

6.1 Абиотични фактори

Експлоатацията на язовира повлиява във висока степен значителните, понякога резки колебания във водното ниво на язовира. В периода на проведеното изследване наличният воден обем в яз. Искър варира в широките граници между 397 и 596,5 млн. m³ (Фиг. 6.1.1), а потреблението на вода от язовира възлиза между 195 и 450 млн. m³ средно на година с тенденция към повишаване. Развитието на гр. София в социално и икономическо отношение води до неколккратно нарастване на годишното потребление на вода от 1962 г. до момента (Сантурджиян, 2014).

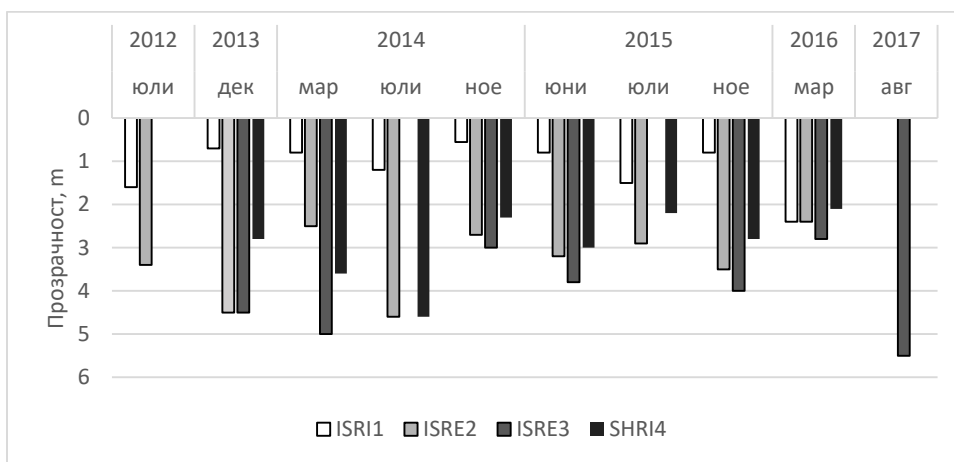
Установени са значителни пространствени изменения на екотонната зона във връзка с водните количества в реката и водните обеми в язовира. Станцията ISRE2 съвпада с мястото на рязко разширяване на водоема след втока на р. Искър при високи обеми в язовира. Съвсем слабите или липсващи екотонни ефекти на този пункт дават основание станция ISRE2 да се приеме за условна „долна част“ на екотона.



Фигура 6.1.1. Динамика на наличния воден обем в яз. Искър за периода 01.2009-08.2017 г. (данни на МОСВ)

Прозрачността на водата в изследваната система варира в различна степен на четирите пункта (Фиг. 6.1.2). За всеки отделен период на изследване е установено нарастване на прозрачността от втока на реките Искър и Шипочница към средата на язовира, като най-високите стойности са регистрирани в централната част.

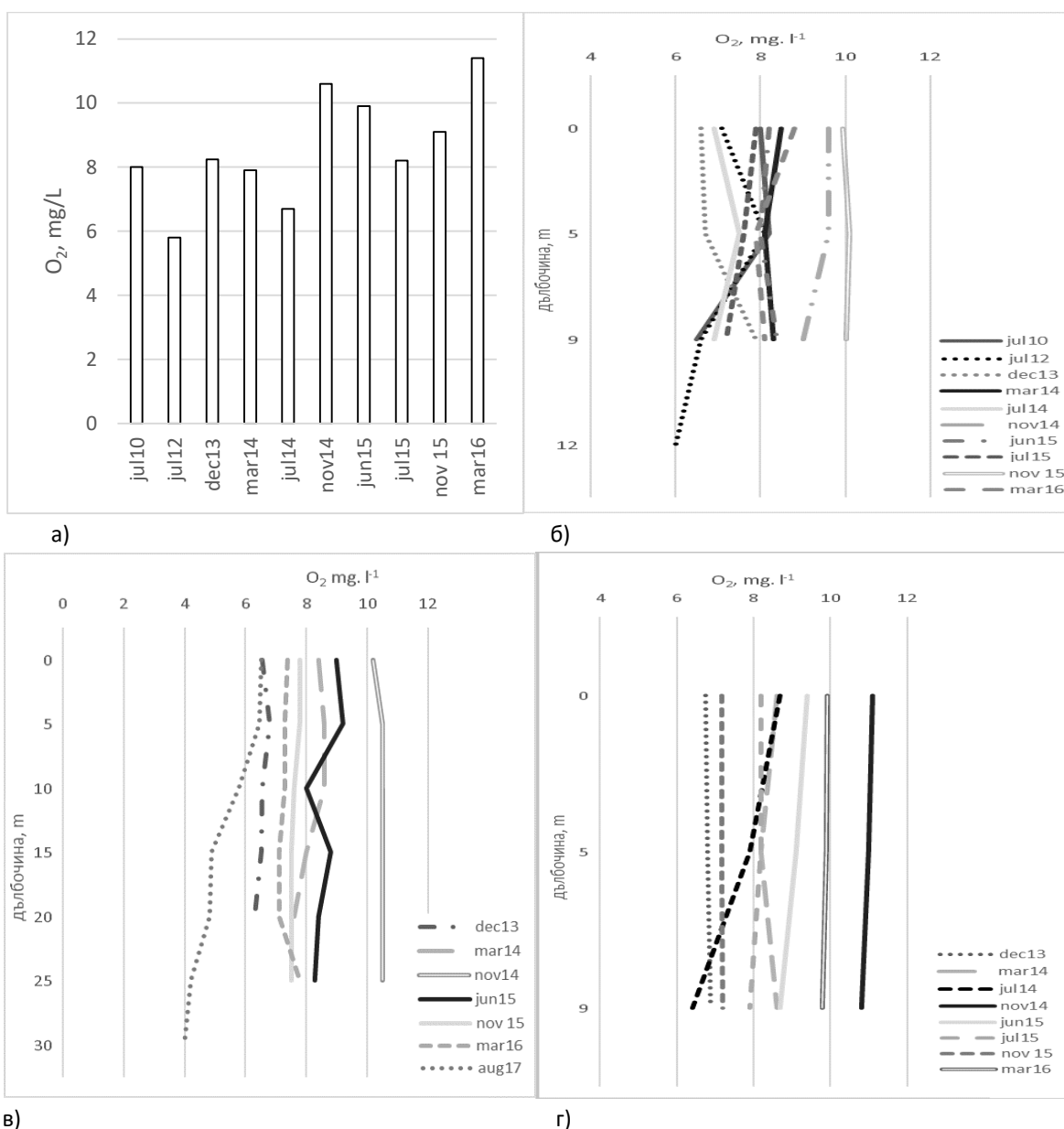
Вертикалната стратификация в язовирите у нас е разтеглена и по-слабо изразена в сравнение с езерната по отношение на температурата и кислорода от повърхността към дъното. Тя е съществено повлияна от експлоатационния режим (Найденев, 1984). За изследвания период характерната за зимата обратна стратификация не е регистрирана. Вероятно месеците, през които се образува такава са януари и февруари, след което през март повърхностните слоеве се затоплят и настъпва пролетна конвекция. Замръзване на водата също не е регистрирано, освен частично през зимата на 2013 г.



Фигура 6.1.2. Динамика на прозрачността (SD) на изследваните станции по периоди на пробовземане.

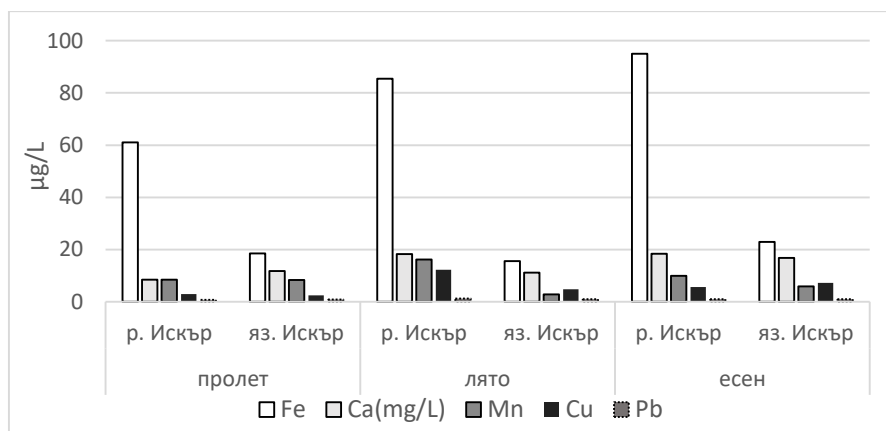
Изследваната част от язовира се характеризира със сравнително стабилни и постоянни стойности на кислородната концентрация и наситеност през различните сезони. През летните месеци се наблюдава характерният за мезотрофните водоеми кислороден режим с хетреограден профил. За периода на изследването не са установени анокси- или хипокси условия в придънния слой (Фиг. 6.1.3).

Стойностите на рН през различните сезони варират между 6,9 и 9,6 на повърхността и достигат до 5,58 в дълбочина. По-високите стойности са регистрирани през лятото в резултат на по-активната фотосинтеза, особено в епилимниона.



Фигура 6.1.3. Количество разтворен кислород (mg/L) в яз. Искър по сезони и хоризонти. а) Станция ISRI1; б) Станция ISRE2; в) Станция ISRE3; г) Станция SHRI4;

Концентрацията на Fe, Ca, Cd, Mn, Cu и Pb във водите на реките Искър и Шипочница преди вливането на язовира са относително постоянни и стабилни във времето и имат стойности, по-ниски от препоръчителните за категория води А1 в Наредба 12/2000 и Указанията на СЗО. В повечето случаи са установени по-високи концентрации на изследваните елементи през лятото и есента и по-ниски през пролетните месеци на пълноводие. Тази тенденция посочват и Parvanov et al. (2008), Първанов (2009) при изследване на концентрацията на тежки метали в р. Искър през 2005 г. Тогава установените концентрации на Fe, Cu и Pb в речните води в зоната преди втока в язовира са по-високи, а на Mn са малко по-ниски в сравнение с тези в периода на настоящото проучване.

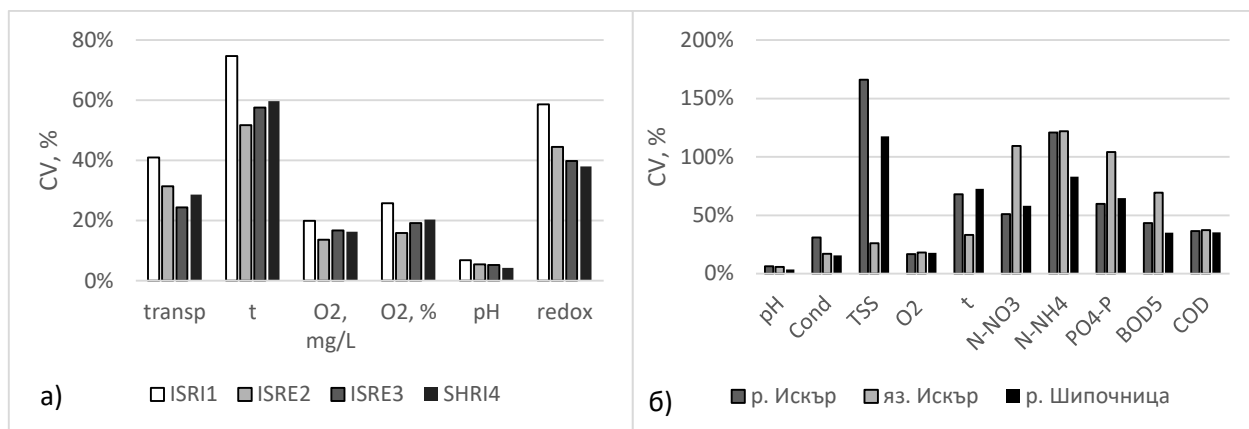


Фигура 6.1.4. Средни стойности на Желязо (Fe, µg/L), Калций (Ca, mg/L), Манган (Mn, µg/L), Мед (Cu, µg/L) и Олово (Pb, µg/L) по сезони. Сравнение между водите на р. Искър и яз. Искър. Данни: ИАОС

В яз. Искър изследваните елементи, включително металите с по-висока степен на токсичност като As, Cd, Pb и Hg са в сравнително ниски концентрации през целия период и като цяло не се наблюдават съществени изменения. На Фиг. 6.1.4 е представено сравнение на средните стойности по сезони за някои елементи на пунктовете в р. Искър и яз. Искър. Неколкократно по-висока е единствено концентрацията на желязо в реката в сравнение с тази във водите на язовира, вероятно с естествен произход от скалите в района и седиментите.

Стойностите на изследваните физични и химични параметри варират в различна степен на четирите изследвани пункта. Най-висок е коефициентът на вариация (CV) на всички измерени показатели на пункта на втока на р. Искър в язовира (Фиг. 6.1.5). Това показва динамичния характер на тази зона от изследваната система. Най-съществени вариации (над 50%) има по отношение на неразтворени вещества и амониев азот.

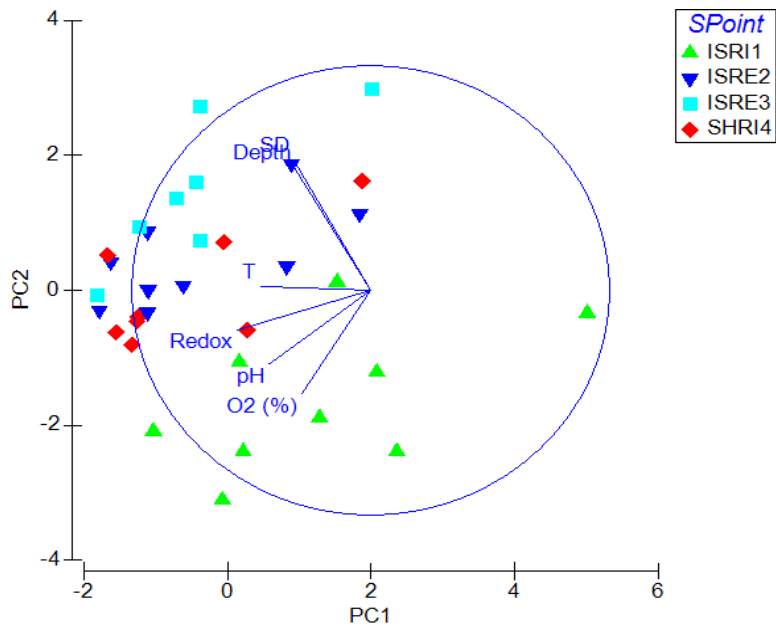
CV за прозрачност, рН и редокс потенциал намаляват постепенно от втока на р. Искър към централната част на язовира, което показва сравнително стабилен градиент на факторите и съответно на качеството на водата.



Фигура 6.1.5. Коефициент на вариация (CV, %; стандартното отклонение, представено като процент от средната стойност) на основни абиотични фактори по станции, повърхностен слой. а) За периода 2013-2016 г.; transp-прозрачност; t-температура; O₂, mg/L-разтворен кислород; O₂, %-кислородно насищане; redox-редокс потенциал; б) За целия изследван период (данни на ИАОС); cond-електропроводимост; TSS-неразтворени вещества; O₂-концентрация на кислород; t-температура; N-NO₃-нитратен азот; N-NH₄-амониев азот, P-PO₄-ортофосфати; BOD-БПК₅; COD-ХПК;

Резултатите от направения PCA са представени като корелационна биплот диаграма на Фиг. 6.1.6. Оста PC1 обяснява 40,9% от общата вариация и корелира отрицателно с температурата, редокс потенциала и рН. Приносът на втората ос PC2 за обясняване на наблюдаваната вариация е 33,8%. Прозрачността и дълбочината са в положителна корелация с PC2, а кислородното насищане - в отрицателна. Резултатът от анализа показва относително добро разграничаване на станции ISRI1 и ISRE3 по градиента на основните физични и химични показатели. Вертикалната ос би могла да се разглежда като ос на повишаване на прозрачността и дълбочината в положителната си част. Пробите от централната зона на язовира са групирани в горната лява част, в съответствие с висока прозрачност. Първата ос PC1 отразява окислително-редукционния потенциал и рН и разграничава станцията в екотонната зона от останалите. Пробите от станции ISRE2 и SHRI4 се характеризират със сходно помежду си разпределение на ординационната диаграма.

One-Way ANOSIM тестът потвърждава ясното разграничаване на станцията в екотонната зона от тези в пелагиала. Най-съществена е разликата, отчетена между ст. ISRI1 и ISRE3 ($R=0,65$; $p=0,001$). Сравнително високо е и различието между станции ISRI1 и ISRE2 ($R=0,31$; $p=0,001$). Това показва липсата на екотонни ефекти на станция ISRE2 и свидетелства за високата степен на самопречистване в зоната между тези две станции. Проведеният анализ не показва статистически значими различия между трите станции в пелагичната част на язовира.

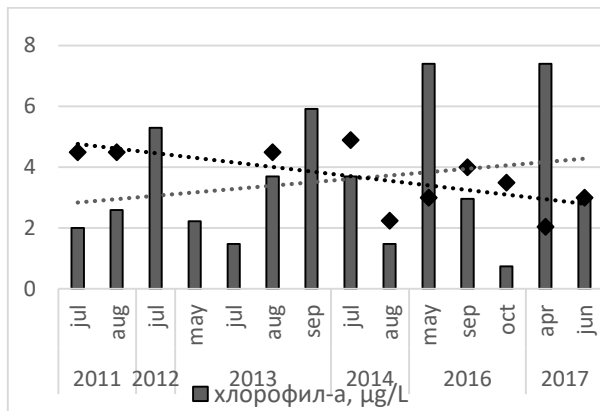


Фигура 6.1.6. Анализ на главните компоненти (PCA) на факторите на средата, измерени на станции ISRI1, ISRE2, ISRE3 и SHRI4 през периода на изследване. Означение: SD=прозрачност по Секки; Depth=дълбочина; T=температура на водата; Redox=редокс потенциал; pH=активна реакция; O2(%) кислородно насищане;

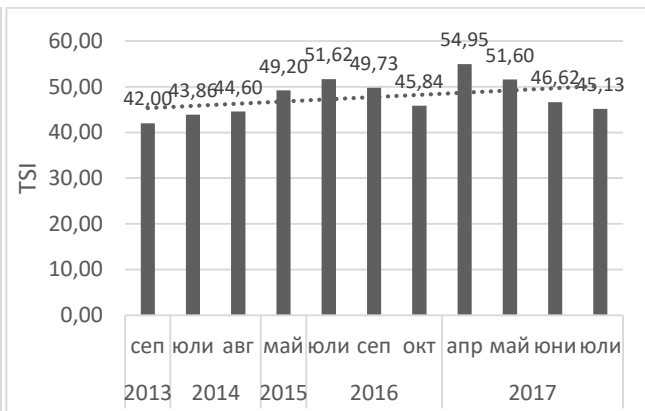
Изследваните абиотични фактори имат параметри, близки до оптималните за развитието на стабилни планктонни съобщества в пелагичната част на язовира и предполагат относително равномерно хоризонтално и вертикално разпределение (Найденов, 1977; 1981). Колебанията във водното ниво повлияват негативно развитието както на макрофитите, така и на макрозообентосът в литоралната зона на язовира. На характерните за зоната на вливане на р. Искър в язовира динамични абиотични условия би следвало да съответстват значителни колебания в качествените и количествените параметри на водните съобщества.

6.2 Хлорофил-а и трофичен индекс (TSI) на Carlson (1977)

Стойностите на количеството хлорофил-а в яз. Искър на повърхността през летните месеци в периода 07.2011-06.2017 г. варират между 0,74 и 5,92 $\mu\text{g/L}$, като максималните са установени през май 2016 г. и април 2017 г. (Фиг. 6.2.1). По този показател яз. Искър попада в „добър“ и по-висок потенциал според Наредба Н-4/2013. Резултатите съответстват на олиго- и мезотрофни условия в язовира (ПУРБ за Дунавски район 2016-2021 г.), но същевременно се вижда тенденция към слабо нарастване на стойностите във времето. За изследвания период няма данни за наличие на водораслови цъфтежи.



Фигура 6.2.1. Количества хлорофил-а (µg/L) и прозрачност по Секки (m) в яз. Искър за периода 2011-2017 г. (Данни: БДДР)



Фигура 6.2.2. Трофичен индекс (Carlson 1977) в яз. Искър за периода 2013-2017 г. $TSI = TSI(SD) + TSI(CHL) + TSI(TP)$, където SD – прозрачност, CHL – хлорофил-а, TP- прозрачност; (Данни: БДДР)

Трофичният индекс на Carlson (1977) в централната зона на язовира за периода 2013-2017 г. варира между 42 и 54,9 (Фиг. 6.2.2). Според степените на трофност, съгласно зададените от Carlson (1977) граници, състоянието на тази част от яз. Искър се изменя между мезотрофия и долна граница на еутрофия, като средната стойност за периода съответства на мезотрофия. Подобно на резултата за количеството на хлорофил-а, за индекса TSI също се наблюдава слаба тенденция към повишаване във времето.

6.3 Зоопланктон

6.3.1 Таксономичен състав на зоопланктона

За изследвания период са установени общо 78 зоопланктонни таксона, принадлежащи към следните групи: Protozoa – 6, Rotifera – 46, Cladocera – 19, Copepoda – 7, както и ларвните стадии на Copepoda - Nauplii и Copepodites (Табл. 6.3.1). Освен тях, като компоненти в планктона на екотонната зона между р. Искър и язовира се срещат олигохетни червеи, насекомни ларви и организми от разр. Hydracarina. В състава на зоопланктона присъстват предимно еврибионтни видове с широк диапазон на толерантност към факторите на средата, част от които се срещат целогодишно.

Таблица 6.3.1. Честота на срещане на установените зоопланктонни компоненти, общо за всички пунктове и по станции; за изследвания период и за 1961-1962 г. С удебелен шрифт са означени видовете, които се срещат през двата периода. С * са означени видовете, установени само през 1961-1962 г.

	Таксон	Честота на срещане (рF, %)				
		Общо	Станция	Станция	Станция	Общо
	Protozoa					
1	<i>Arcella catinis</i> Stepanek, 1942	19.5	41.7	21.4		
2	<i>Difulgia</i> sp.	17.1	41.7	14.3		
3	<i>Euglypha</i> sp.	2.44	8.33			

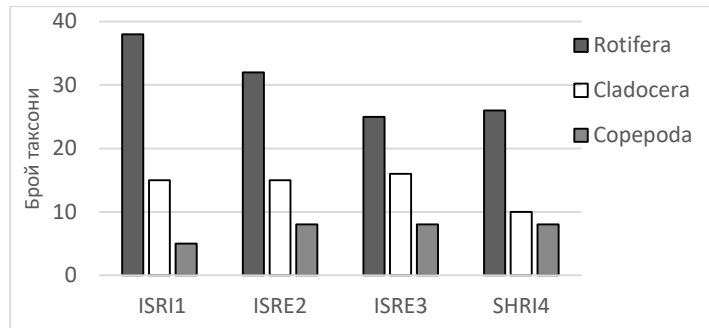
4	<i>Euglipha filifera</i> Penard, 1890	4.88	16.7				
5	<i>Stentor roeseli</i> Ehrenberg, 1835	7.32	8.33	7.14		12.5	
6	<i>Vorticella microstoma</i> Ehrenberg, 1830	2.44	8.33				
Rotifera							
7	<i>Anuraeopsis fissa</i> Gosse, 1851	2.44		7.14			
8	<i>Asplanchna sieboldi</i> (Leydig 1854)	22	25	14.3	28.6	25	
9	<i>Asplanchna priodonta</i> Gosse, 1850	19.5	8.33	14.3	42.9	25	87.5
10	<i>Asplanchna</i> sp.	12.2	8.33	21.4	14.3		
11	<i>Brachionus bidentata</i> Anderson, 1889	2.44	8.33				
*	<i>Brachionus calyciflorus</i> Pallas, 1766						37.5
12	<i>Brachionus quadridentatus</i> Hermann,	7.32	16.7		14.3		
13	<i>Brachionus urceolaris</i> (Müller, 1773)	2.44				12.5	62.5
14	<i>Conochilus hippocrepis</i> (Schränk, 1803)	17.1	8.33	14.3	28.6	25	
15	<i>Colurella coluris</i> (Ehrenberg, 1830)	4.88	8.33	7.14			
16	<i>Epiphanyes</i> sp.	4.88			14.3	12.5	
17	<i>Euchlanis dilatata</i> Ehrenberg, 1832	4.88	16.7				
18	<i>Filinia longiseta</i> (Ehrenberg, 1834)	46.3	41.7	35.7	71.4	50	25
19	<i>Filinia terminalis</i> (Plate, 1886)	22	16.7	21.4	28.6	25	
20	<i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott, 1879)	68.3	16.7	92.9	85.7	87.5	
21	<i>Keratella cochlearis</i> Gosse, 1851	68.3	66.7	64.3	71.4	75	87.5
22	<i>Keratella quadrata</i> O. F. Muller, 1773	14.6		14.3	28.6	25	12.5
23	<i>Keratella tecta</i> (Gosse, 1851)	14.6	16.7	14.3	14.3	12.5	
24	<i>Keratella valga</i> (Ehrenberg, 1834)	2.44		7.14			
25	<i>Lecane copeis</i> (Harring et Myers, 1926)	2.44	8.33				
26	<i>Lecane</i> (Monostila)	7.32	16.7			12.5	
27	<i>Lecane luna</i> (Muller, 1786)	9.76	16.7	14.3			
28	<i>Lepadella patella</i> (Müller, 1786)	7.32	16.7	7.14			
29	<i>Notholca squamula</i> (Müller, 1786)	4.88	16.7				
30	<i>Notommata</i> sp.	2.44	8.33				
31	<i>Polyarthra dolichoptera</i> Idelson, 1925	61	25	85.7	71.4	62.5	
32	<i>Polyarthra longiremis</i> Carlin, 1943	4.88		14.3			
33	<i>Polyarthra major</i> Burckhardt, 1900	24.4	8.33	28.6	28.6	37.5	
34	<i>Polyarthra minor</i> Voigt 1904	17.1	25	7.14	14.3	25	
35	<i>Polyarthra remata</i> Skorikov, 1896	39	25	42.9	28.6	62.5	
*	<i>Polyarthra trigla</i> Ehrenberg, 1834						87.5
36	<i>Polyarthra vulgaris</i> Carlin, 1943	63.4	33.3	78.6	85.7	62.5	
37	<i>Pompholyx complanata</i> Gosse, 1851	7.32	8.33	7.14		12.5	
38	<i>Proales daphnicola</i> Thompson, 1892	4.88	16.7				
39	<i>Rotaria rotatoria</i> Pallas, 1766	4.88	16.7				
40	Rotifera g. sp.	9.76	8.33	7.14	14.3	12.5	
41	<i>Synchaeta cecilia</i> Rousselet 1902	31.7	25	35.7	42.9	25	
42	<i>Synchaeta</i> sp.	29.3	25	35.7	28.6	25	
43	<i>Testudinella emarginula</i> (Stenroos,	14.6	25	7.14		25	
44	<i>Testudinella truncata</i> (Gosse, 1886)	12.2	25	14.3			
45	<i>Testudinella</i> sp.	29.3	33.3	14.3	57.1	25	
46	<i>Trichocerca capucina</i> (Wierzejski &	29.3	25	21.4	28.6	50	
47	<i>Trichocerca cylindrica</i> (Imhof, 1891)	24.4	16.7	28.6	14.3	37.5	
48	<i>Trichocerca longiseta</i> (Schränk 1802)	2.44		7.14			
49	<i>Trichocerca rattus</i>	2.44			14.3		
50	<i>Trichocerca similis</i> (Wierzejski 1893)	26.8	16.7	50	14.3	12.5	
51	<i>Trichocerca</i> sp.	2.44	8.33				
52	<i>Trichotria</i> sp.	4.88	8.33		14.3		
Cladocera							
53	<i>Alona affinis</i> (Leydig, 1860)	29.3	33.3	35.7	42.9		
54	<i>Alonella nana</i> (Baird, 1850)	2.44	8.33				
55	<i>Alona costata</i> Sars, 1862	2.44		7.14			
56	<i>Alona guttata</i> Sars, 1862	4.88	8.33		14.3		
57	<i>Alona</i> -броня	4.88			14.3	12.5	

58	<i>Alona rectangula</i> Sars, 1862	12.2	25	7.14	14.3		
*	<i>Alona quadrangularis</i> (O. F. Müller,						12.5
59	<i>Bosmina coregoni</i> Baird, 1857	65.9	16.7	78.6	100	87.5	
60	<i>Bosmina kessleri</i> Ujanin, 1872	41.5		35.7	100	62.5	
61	<i>Bosmina longirostris</i> (Müller, 1785)	48.8	50	35.7	57.1	62.5	100
62	<i>Chydorus</i> sp.	4.88		7.14	14.3		
63	<i>Chydorus sphaericus</i> (O.F. Müller 1785)	31.7	58.3	21.4	14.3	25	
64	<i>Daphnia cucullata</i> Sars, 1864	43.9	33.3	50	57.1	37.5	
65	<i>Daphnia galeata</i> Sars, 1864	65.9	8.33	85.7	100	87.5	
*	<i>Daphnia hyalina</i> Leydig 1860						100
66	<i>Daphnia longispina typica</i>	43.9		42.9	85.7	62.5	
67	<i>Daphnia</i> sp.juv.	7.32		7.14	14.3	12.5	
68	<i>Diaphanosoma lacustris</i> Korjinek, 1981	56.1	25	71.4	71.4	62.5	
69	Ephippium- <i>Daphnia</i> gr. longispina	4.88	8.33		14.3		
70	Ephippium- <i>Daphnia</i> gr. pulex	2.44	8.33				
71	<i>Leydigia leyigi</i> (Schoedler, 1863)	2.44	8.33				
72	<i>Leptodora kindti</i> (Focke, 1844)	9.76		14.3	28.6		
73	<i>Moina dubia</i> Guerne & Richard, 1892	2.44		7.14			
74	<i>Pleuroxus aduncus</i> (Jurine, 1820)	2.44	8.33				
	Copepoda						
*	<i>Acanthocyclops americanus</i> (Marsh,						50
75	<i>Acanthocyclops robustus</i> (Sars, 1863)	2.44				12.5	
76	<i>Cyclops strenuus</i> Fischer, 1851	7.32		7.14	14.3	12.5	
77	<i>Cyclops vicinus</i> Uljanin, 1875	17.1		7.14	42.9	25	100
78	<i>Eudiaptomus gracilis</i> (Sars, 1863)	75.6	41.7	100	85.7	75	
79	<i>Eudiaptomus vulgaris</i> (Schmeil, 1896)	9.76		7.14	14.3	25	50
*	<i>Microcyclops gracilis</i> (Lilljeborg, 1853)						62.5
80	<i>Thermocyclops crassus</i> Ficher, 1853	39	33.3	42.9	42.9	37.5	
81	Cyclopoida g. sp.	2.44		7.14			
82	Harpacticoida g. sp.	12.2	33.3		14.3		
83	Nauplii Copepoda	97.6	100	100	100	87.5	97.5
84	Copepodites Copepoda	92.7	75	100	100	100	92.5
	Varia						
85	Chironomus - larvae	19.5	58.3			12.5	
86	Oligochaeta - larvae	7.32	25				
87	Oligochaeta: Naididae - larvae	9.76	25				
88	Coleoptera: <i>Agabus</i> sp.	2.44	8.33				
89	Hydracarina	4.88	16.7				
90	Plecoptera - Leuctra	2.44	8.33				
91	<i>Baetis</i> sp.	4.88	16.7				
92	<i>Tubifex</i> sp.	2.44	8.33				
	Общ брой таксони/компоненти	92	71	58	50	46	16

По градиента от втока на р. Искър към централната част на язовира броят на установените таксони намалява, а съотношението в трите основни групи Rotifera, Cladocera и Copepoda се изменя, като нараства дялът на група Copepoda, а дялът на Rotifera намалява. Станцията в екотона ISR1 се характеризира с изключително непостоянен таксономичен и доминантен състав. При станция ISRE2, където екотонните ефекти са съвсем слабо изразени или липсват, качественият състав е сравнително по-стабилен през отделните сезони. В пелагичната част на язовира в доминантните комплекси на зоопланктона участват главно таксони от групи Copepoda и Rotifera, като преобладават Copepoda (Фиг. 6.3.1). Обобщено за целия период на изследване, най-голям брой зоопланктонни компоненти са

регистрирани на станция ISRI1 в екотонната зона между язовира и реката. Двадесет и два от общия брой компоненти (или 24%) са установени само в екотона между р. Искър и язовира, като 11 от тях са ротифери.

С цел по-точно характеризиране на разпределението на зоопланктона във времето и пространството, честотата на срещане (pF) е пресметната за целия период на изследване общо, както и отделно за четирите пункта. За целия период на настоящото изследване, честотата на срещане на отделните таксони варира между 2,44 и 97,6%, а по станции достига до 100%.

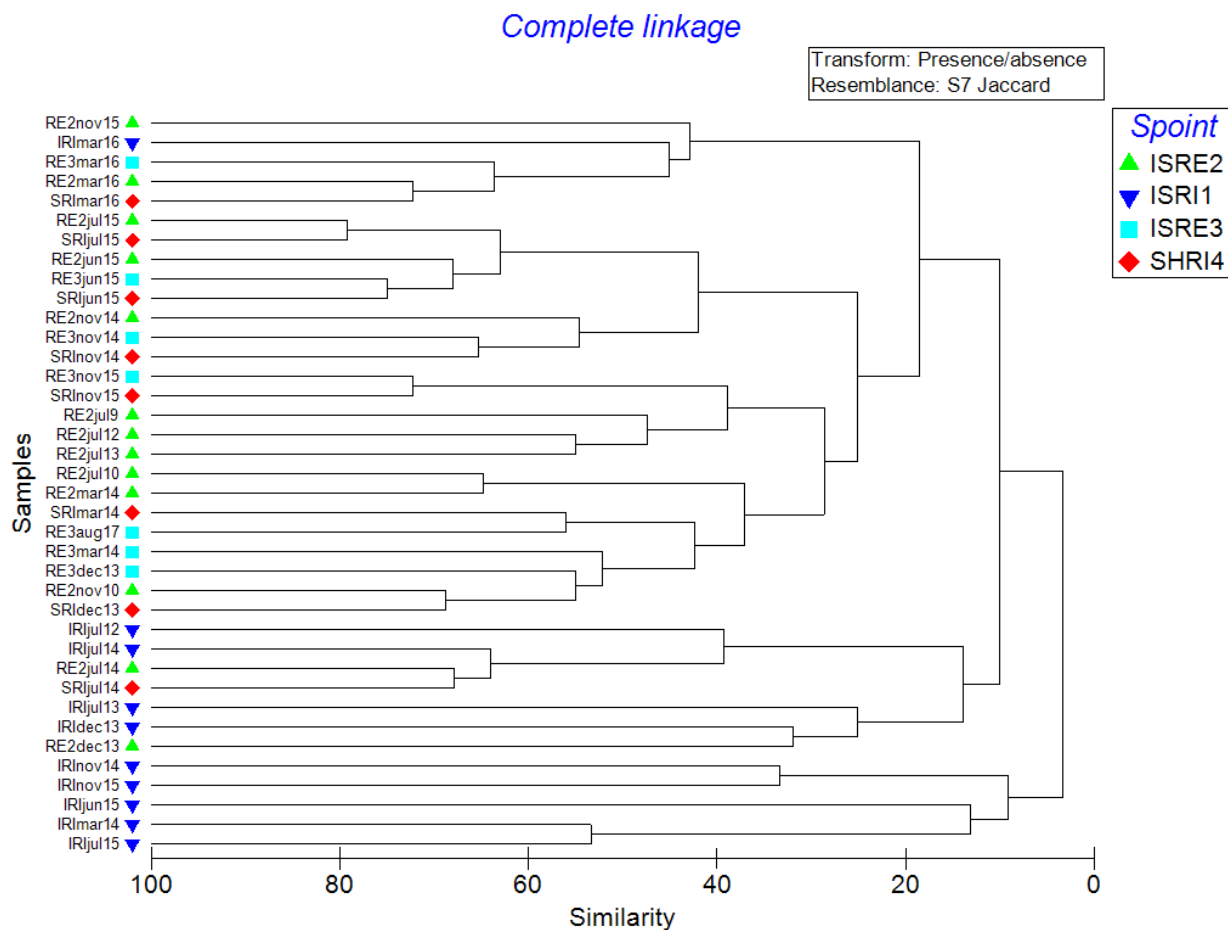


Фигура 6.3.1. Установен брой таксони от основните групи зоопланктон за целия период по станции.

Направеното сравнение с установения за периода 1961-1962 г. (Андреев, 1963) състав на зоопланктона показва значителни промени в качествените параметри, структурата и в доминантните комплекси на зоопланктона в яз. Искър. Около 10 години след завиряването на язовира, зоопланктонното съобщество се състои от 14 вида, както и ларвни форми на подклас Copepoda – Nauplii и Copepodites (Табл. 6.3.1). По време на настоящото изследване са регистрирани осем от установените тогава видове, като само *B. longirostris*, *K. cochlearis* и *F. longiseta* са със сравнително висока честота на срещане. Трите вида са еврибионти, толерантни към промени в условията на средата и често описвани като типични за еутрофни води (Hart, 2004; Ejsmont-Karabin, 2012; Ejsmont-Karabin et al., 2013). Доминантните комплекси през 1962 г. най-често включват *A. priodonta*, *D. hyalina* и *B. longirostris*, от които *D. hyalina* не е регистриран по време на настоящото изследване. Възможни причини за това са от една страна изместването на *D. hyalina* от *D. galeata* и *D. cucullata*, често срещани за настоящия изследван период. От друга страна изчезването на *D. hyalina* вероятно е свързано и с климатичните промени, водещи до повишаване на температурите (Keller et al., 2008).

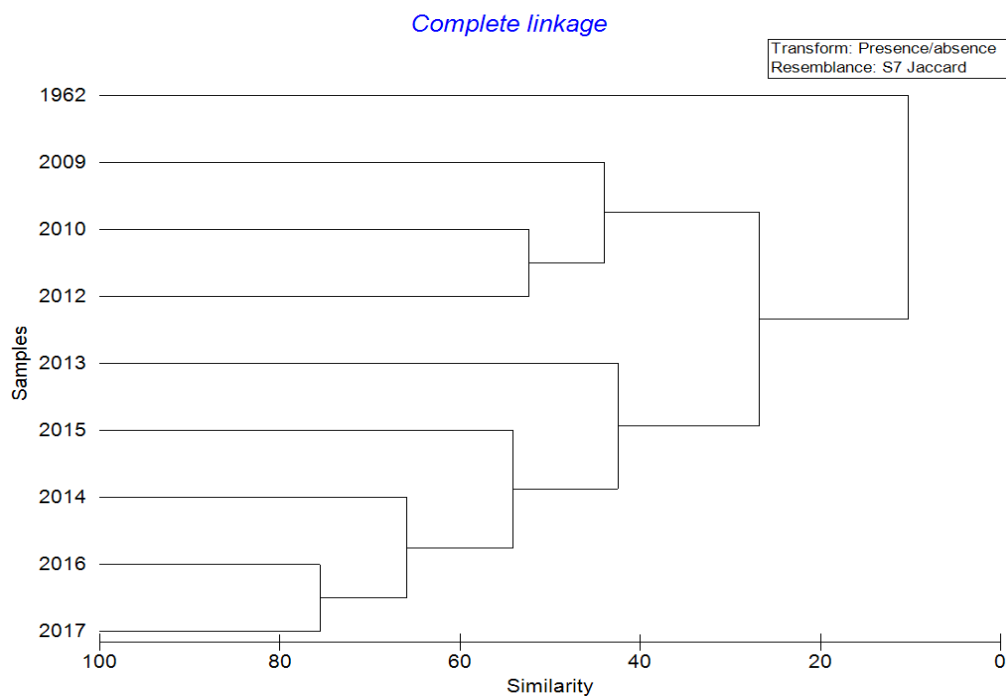
Степента на сходство (по Jaccard) в таксономичния състав на четирите станции за отделните периоди варира в широки граници, като максимално достига до 79% (Фиг. 6.3.2). Ниското фаунистично сходство по Jaccard (под 10%) на база присъствие/отсъствие и One-Way ANOSIM тестът разграничават екотонната зона от пелагичната част на язовира. Повисоките стойности са установени между станции от пелагичната част на язовира от едни и същи периоди на пробовземане. С оглед на това, че тези три пункта се намират в рамките

на един и същ водоем, получените резултати не достигнаха очаквания максимум от стойности над 80%, каквито понякога се наблюдават между два различни водни басейна. Това свидетелства за сравнително висока степен на изменчивост в състава на зоопланктонните съобщества в пелагиала на язовира.



Фигура 6.3.2. Дендрограма на клъстерен анализ за сходство по Jaccard на таксономичния състав на зоопланктонните съобщества по станции и сезони за периода 2009-2017 г.

С цел да бъдат проследени измененията в състава на зоопланктонните съобщества във времето, е оценено сходството в таксономичния състав между отделните изследвани години. Поради твърде непостоянния видов състав на станция ISRI1, за анализа са използвани обобщени данни по години от трите станции в пелагичната част на язовира от различните изследвани сезони. Ниско сходство (едва 10%) е регистрирано между зоопланктона от сегашния период и този от 1962 г. (Фиг. 6.3.3). За настоящия период е установена тенденция към нарастване на таксономичното сходство във времето. Този резултат би могъл да се разглежда като показател за протичащи сукцесивни процеси в състава на зоопланктона и за нарастваща стабилност на таксономичния състав в пелагиала на яз. Искър.

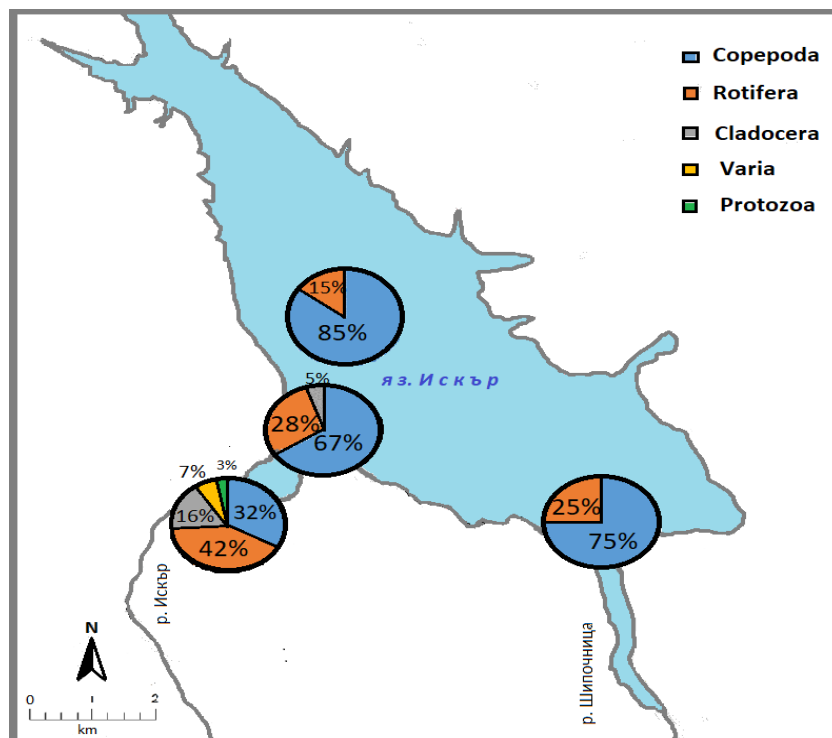


Фигура 6.3.3. Дендрограма на клъстерен анализ за фаунистично сходство по Jaccard на зоопланктонните съобщества в пелагиала на яз. Искър по години за 1962 г. (Данни: Андреев, 1963) и за 2009-2017 г.

За изследвания период в доминантните комплекси на четирите изследвани пункта участват различен брой таксони. В екотонната зона те са най-много (14), на ст. ISRE2 – 9, на станция ISRE3 – 7 и на ст. SHRI4 – 8. На ст. ISRI1 са регистрирани два компонента с еднаква честота на доминиране (*Nauplii* и *K. cochlearis*, DF=30), а на останалите три станции е висока за *Nauplii* (DF=38-46%) и равномерно разпределена между останалите доминантни компоненти. За периода на изследване е установена умерено силна положителна корелация между броя на таксоните и температурата на водата ($r=44$; $p=0,009$).

Проследено е и съотношението между видовете от основните групи зоопланктон (*Rotifera*, *Cladocera* и *Copepoda*) на четирите станции, във връзка с промените в условията на средата. Основните таксономични групи, както и промените в техните пропорции, биха могли да дадат полезна информация за трофичното състояние на изследвания водоем. Копеподите от група *Calanoida* като цяло са по-характерни за олиготрофни условия, докато част от видовете от групата *Cyclopoida*, както и някои *Cladocera*, например от семейства *Chydoridae* и *Bosminidae* са по-масови в мезо- и еутрофни басейни. Тази тенденция е изследвана и обсъждана от Gannon, Stemberger (1978); Patalas (1972) в част от Великите езера, от Gliwicz (1969) и в континентални води в Полша. Simões et al. (2015) и Merrix-Jones et al. (2013) изследват разликите в зоопланктонните съобщества между язовирите и естествените езера, като установяват разлики във видовия състав на групите *Calanoida* и *Cyclopoida*.

За периода на текущото изследване доминантните видове са предимно от групи Rotifera и Copepoda (Фиг. 6.3.4). Делът на видовете от група Rotifera намалява постепенно от втока на р. Искър към средата на язовира. На втока на реката доминантните комплекси са твърде нестабилни, с изразено присъствие на *K. cochlearis* и *Testudinella sp.*, клadoцери от сем. Chydoridae и ларвни форми на Copepoda. На тази станция колебанията на водното ниво и втока на замърсители от реката имат най-силно въздействие върху зоопланктона. Получените резултати дават израз на влиянието на екотонния ефект и пространствените измененията в условията на средата върху състава на зоопланктона в изследваната система.

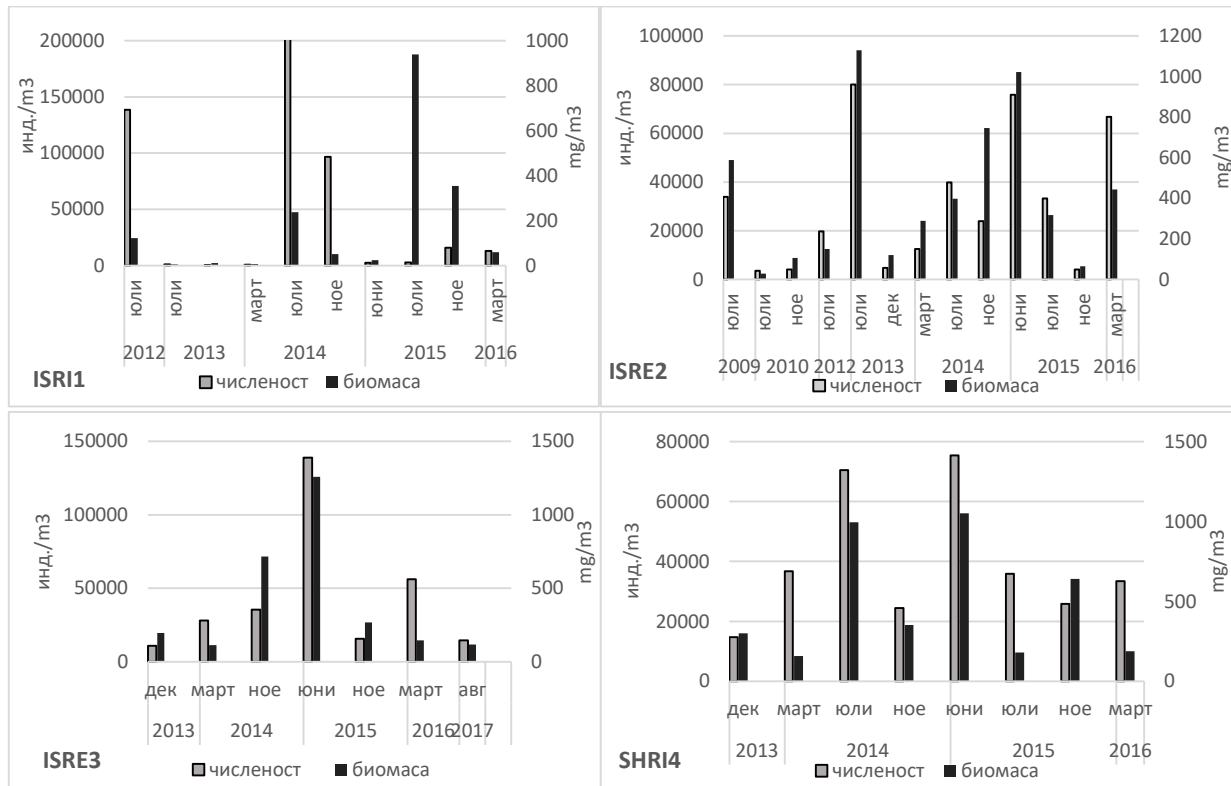


Фигура 6.3.4. Процентно съотношение на броя таксони от основните групи зоопланктон, присъстващи в доминантните комплекси по станции за целия период на изследване.

6.3.2 Анализ на количествените параметри на зоопланктона

Динамиката на количествените параметри на зоопланктона показва вариации в различна степен на отделните пунктове. Изследваните численост и биомаса на ст. ISRI1 се отличават съществено от станциите в пелагиала с големи разлики в числеността за целия период (коефициент на вариация 195%). Липсва и изразено сезонно влияние върху количествените параметри (Фиг. 6.3.5). Там е регистрирана най-високата численост в рамките на изследването - 485 600 инд./m³ през юли 2014 г. А през ноември 2015 г. са отчетени екстремно ниските 420 инд./m³ (разлика в числеността над 1000 пъти). Резултатът е в съответствие с динамичните промени в условията на средата в екотона, измененията

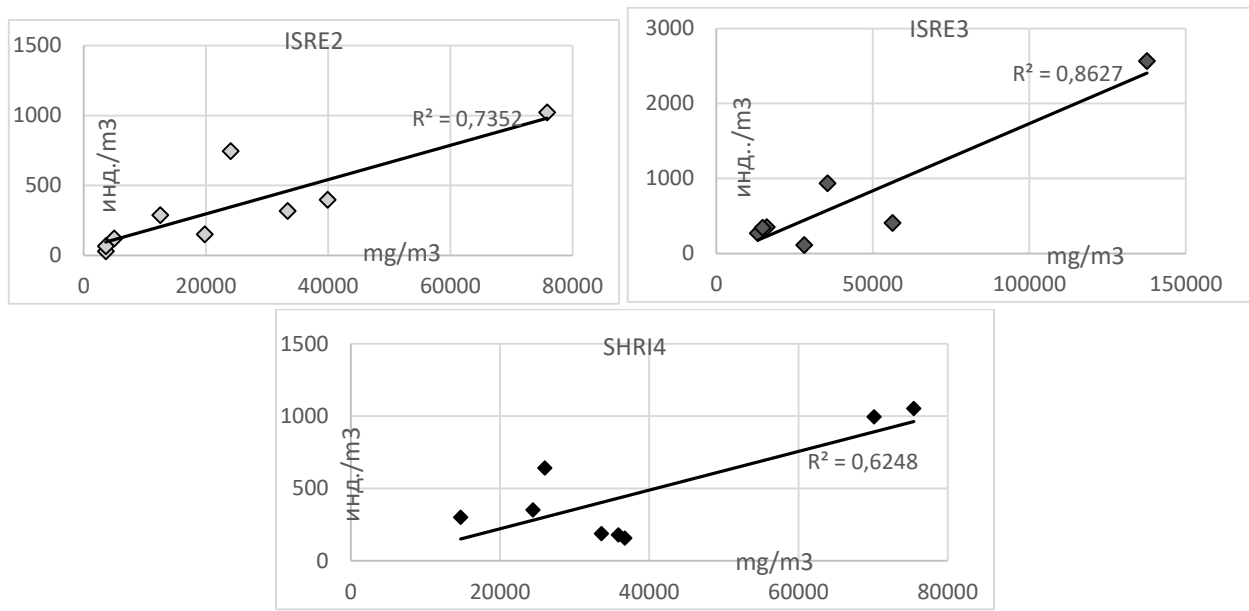
във водните количества, втичащи се от реката и големите колебания във водните обеми в язовира. На този пункт основен дял от числеността имат видове от тип Rotifera с ниска индивидуална биомаса, поради което не е установена зависимост между численост и биомаса.



Фигура 6.3.5. Стойности на числеността (инд./м³) и биомасата (mg/m³) за изследвания период по станции и по сезони.

Регистрираните максимални стойности на общата численост в екотона са с 4 до 6 пъти по-високи, в сравнение с тези на останалите станции. Числеността и биомасата на зоопланктона на станция ISRI1 показват неравномерното му разпределение по сезони. Причина за това е високата чувствителност и бързата реакция на организмите от зоопланктонното съобщество към динамичните хидрологични и хидрохимични условия в тази зона.

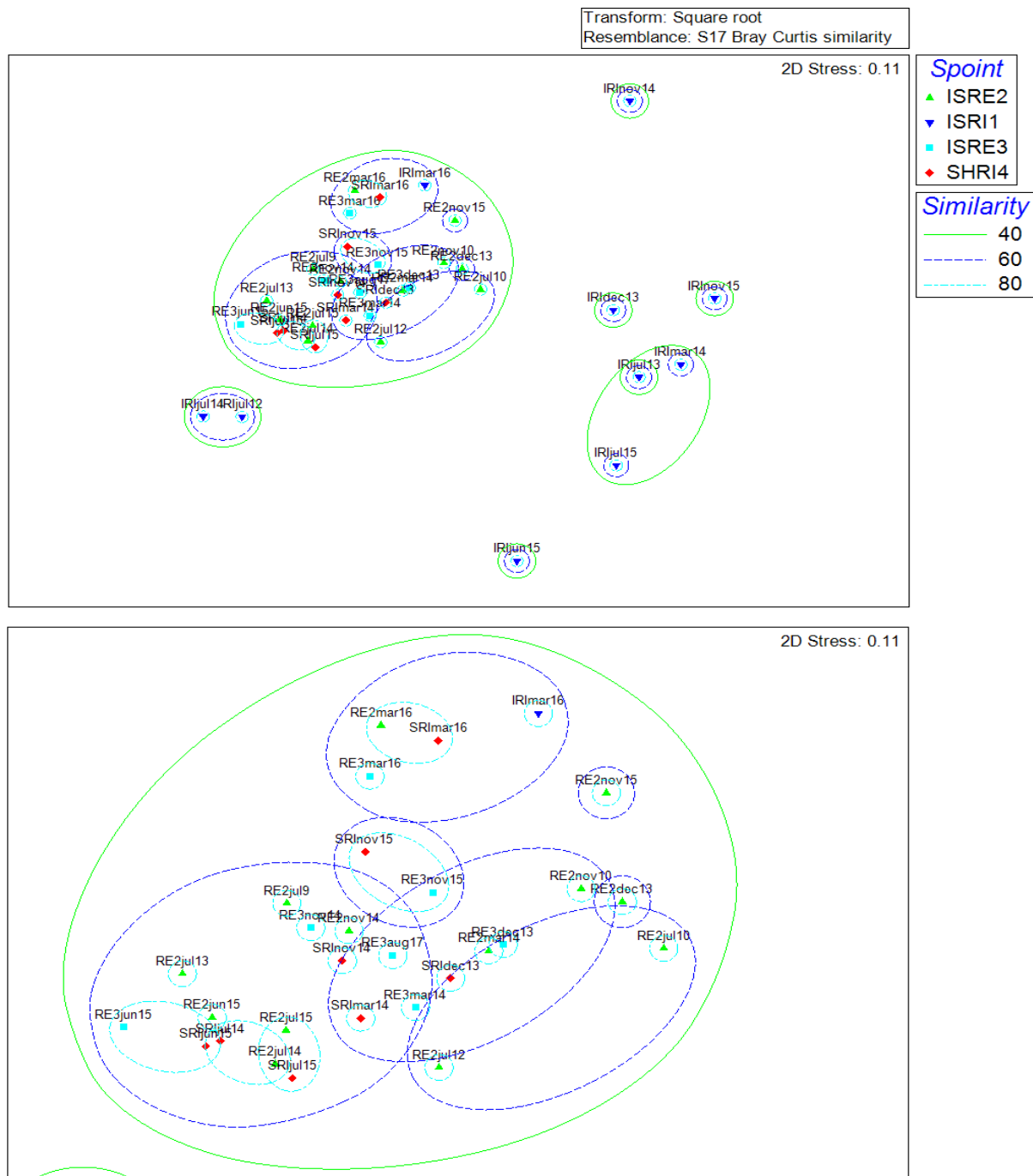
В пелагичната част на язовира количествените параметри са относително по-ниски през пролетта и есента и нарастват през лятото, като динамиката на биомасата следва тази на числеността. Установената значима зависимост между численост и биомаса е най-висока в централната част на язовира, в съответствие с ниския дял на видовете от тип Rotifera на станция ISRE3 (Фиг. 6.3.6).



Фигура 6.3.6. Линейна зависимост между численост и биомаса на зоопланктона на станциите в пелагичната част на язовира. а) ISRE2; б) ISRE3; в) SHRI4;

Сходствата в стойностите на числеността на зоопланктона по станции и сезони са представени на Фиг. 6.3.7. В съответствие с описаните дотук резултати, пробите от станция ISRI1 са разграничени с ниско сходство в числеността, както от тези в пелагичната част на язовира (под 40%), така и от същата станция през различните изследвани сезони (под 60%). Изключение прави март 2016 г., когато се наблюдава относително високо сходство в числеността на зоопланктона на четирите пункта. На трите станции в пелагиала на язовира е отчетено сходство над 60% между всички проби от летните месеци. Като цяло станции ISRE2, ISRE3 и SHRI4 са групирани по периоди на пробовземане, в съответствие с измененията на факторите на средата.

Получените резултати са сравнени с тези от изследването на количествените параметри на зоопланктона на яз. Искър на Андреев (1962) г. Общата численост на зоопланктона нараства значително в периода от 1962 г. до момента на настоящото изследване. Максималните стойности на числеността, регистрирани през 1961-1962 г., са с около 3 пъти по-ниски от тези на станции ISRE2 и SHRI4 и с почти 6 пъти по-ниски от тази на станция ISRE3. Разликата в стойностите на биомасата през двата периода не е толкова значителна. Това се дължи на силно понижената численост на Cladocera и високата численост на Rotifera по време на настоящото изследване. През 1962 г. през всички сезони ротиферите са заемали незначителен дял от общата численост и биомаса, а през някои месеци дори са отсъствали. В последните години на всички изследвани станции тази група достига висока численост не само през летните месеци и като цяло надвишава значително числеността на Cladocera.



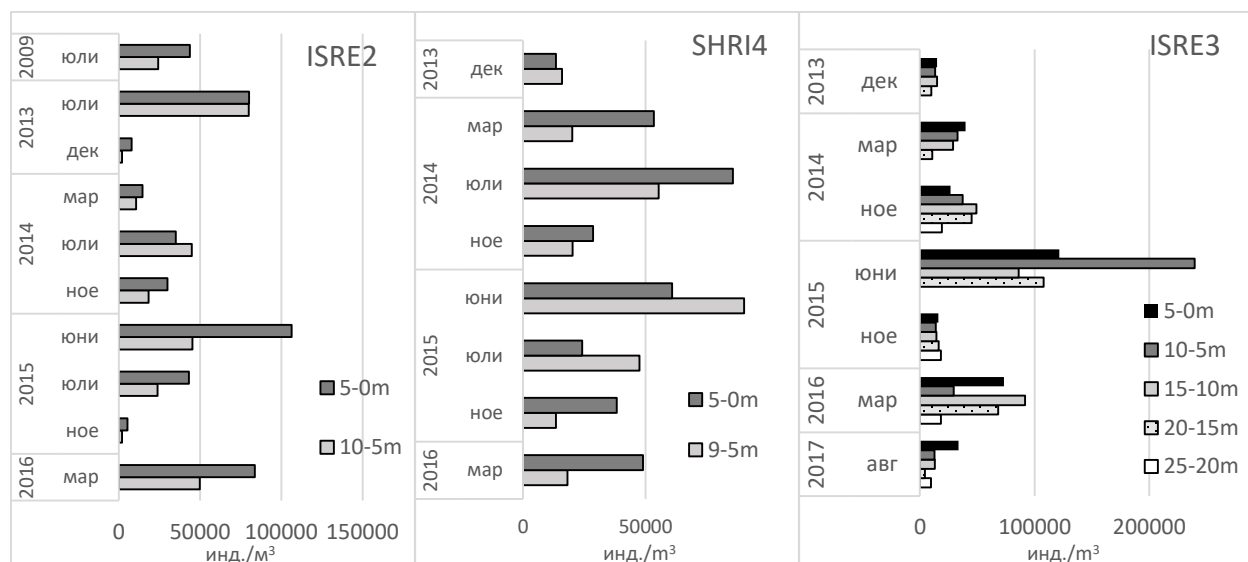
Фигура 6.3.7. MDS плот на сходството (по Bray-Curtis) в числеността на зоопланктонните таксони (инд./м³) по станции и сезони за изследвания период.

Обобщените резултати от направения анализ показват тенденция на нарастване на стойностите на числеността и биомасата във времето. Макар и слабо изразена, тази тенденция е доловима за периода на изследване на всички пунктове. Прогресивното нарастване на количествените параметри на зоопланктона е свързано с промени в някои

значими фактори на средата. Това е характерно за язовири, които променят своето трофично състояние под влияние на фактори с антропогенен характер и естествени процеси на сукцесивно развитие.

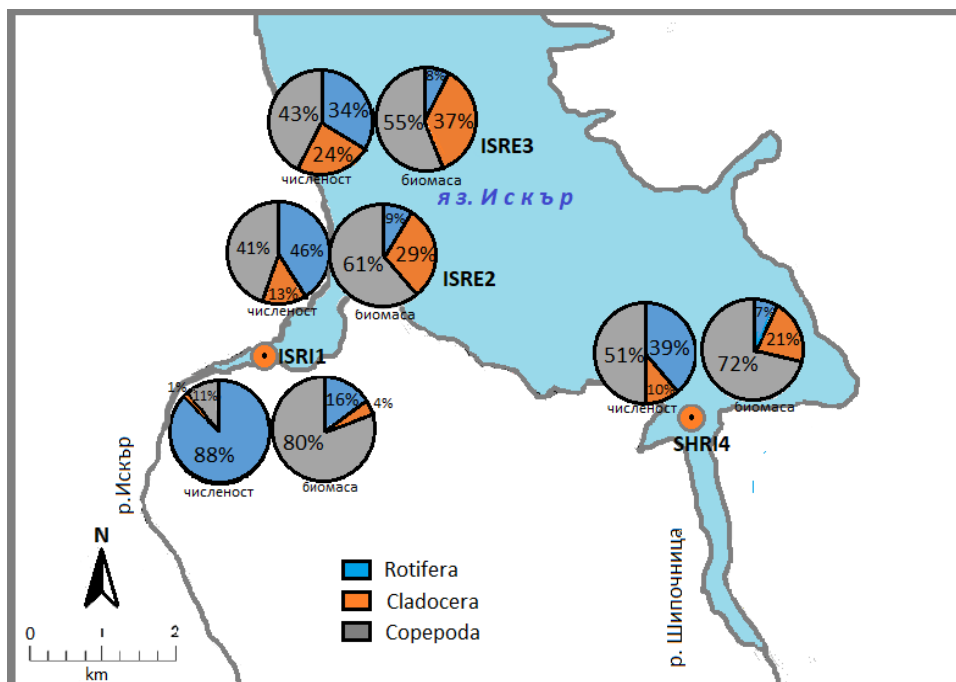
Зависимостта между някои абиотични фактори и общата численост на зоопланктона е изследвана с помощта на ранговия корелационен коефициент на Spearman. На станциите в пелагиала е отчетена слаба положителна корелация между числеността и кислородното съдържание и насищане ($r=0,34$; $p<0,001$) и рН ($r=0,26$; $p=0,03$), както и слаба отрицателна корелация с прозрачността по Секки ($r=-0,28$; $p=0,02$).

Вертикалното разпределение на зоопланктона е относително равномерно, в съответствие със сравнително слабо изразената стратификация и установения благоприятен кислороден режим в целия воден стълб (Фиг. 6.3.8). Случаите, в които са налични различия в числеността по вертикала, вероятно се дължат на прозрачността, а оттам и на количеството светлина и разпределението на хранителни ресурси.



Фигура 6.3.8. Вертикално разпределение на общата численост на зоопланктона на пунктовете в яз. Искър.

Съотношението на основните таксономични групи зоопланктон, по отношение на численост, се изменя от втока на реките към средната част на язовира в посока намаляване на относителния дял на тип Rotifera (от 88% от общата численост на ст. ISRI1 до 34% на ст. ISRE3) и нарастване на дела на разр. Cladocera (от 4% от общата численост на ст. ISRI1 до 37% на ст. ISRE3) (Фиг. 6.3.9). Зоопланктонната биомаса на трите пелагиални станции (ISRE2, ISRE3, ISRE4) е с приблизително еднакво съотношение на основните таксономични групи, с преобладаващи видове от подкл. Соперода и разр. Cladocera.

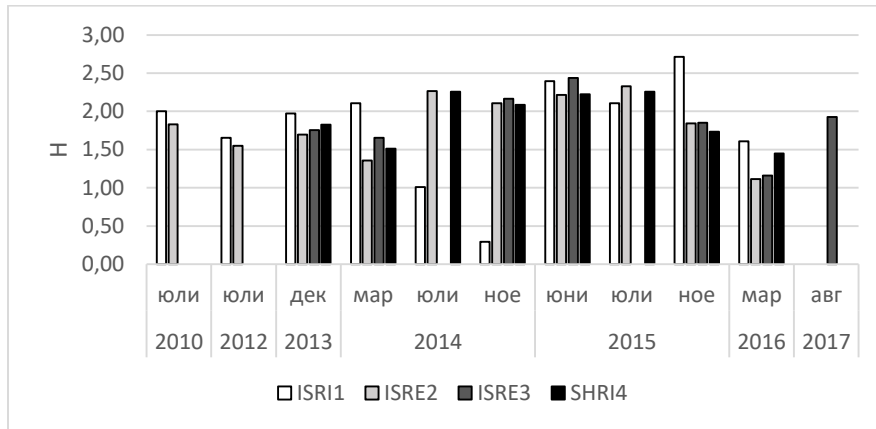


Фигура 6.3.9. Процентно съотношение на средните стойности на количествените параметри на основните групи зоопланктон по станции за периода на изследване.

6.3.3 Структурен анализ на зоопланктонното съобщество

На база индексите за видово разнообразие (H) (Shannon, Weaver, 1963), за доминиране (с) (Simpson, 1949) и изравненост на съобществата (e) (Pielou, 1966) е проучена структурата на зоопланктонното съобщество по протежение на изследваната система и във времето. В стоящите водни басейни, максимално видово разнообразие се установява в системите в динамично състояние, каквито са екотонните зони. При стабилни условия се формират и стабилни съобщества с добре изразени доминантни комплекси. Оценката на структурата на зоопланктона, извършена с помощта на горепосочените индекси, показва максимално видово разнообразие и ниска доминантност в зоната на вливане на р. Искър в язовира през по-голямата част от изследвания период. В пелагичната зона структурните показатели имат сезонна динамика и варират в сравнително тесни граници както в пространството, така и във времето. Средните стойности на изследваните индекси са с най-малка разлика между станции ISRE2 и ISRE3. Това е израз на сходните условия на тези две станции, от една страна поради вече слабите или липсващи екотонни ефекти в района на ст. ISRE2 и от друга, поради това, че самопречиствателните процеси са най-интензивни в зоната преди тази станция. Стойностите на структурните показатели за станция SHRI4 варират в най-тесни граници в сравнение с останалите станции. Този резултат показва по-постоянни условия в тази част на язовира, въпреки влиянието на вливащата се р. Шипочница. За периода на изследване, прозрачността е по-ниска и количествата общ фосфор са по-високи

в сравнение с ISRE2 и ISRE3. Резултатите от проведените изследвания в тази част на язовира като цяло показват по-слаби колебания и изменения както във факторите на средата, така и при биологичните компоненти.

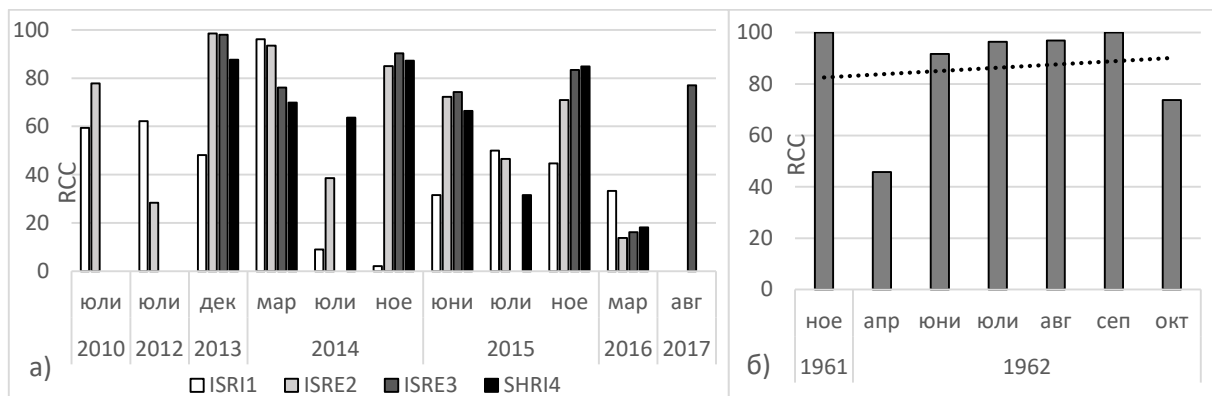


Фигура 6.3.10. Динамика на индекса за видово разнообразие (H) по станции за изследвания период.

С цел допълване и прецизиране на методите за оценка на трофичното състояние на яз. Искър и като цяло на стоящите изкуствени водоеми у нас, в настоящата работа са използвани и сравнени индексите RCC (Kozuharov et al., 2013) и $TSI_{(ROT)}$ (Ejsmont-Karabin, 2012).

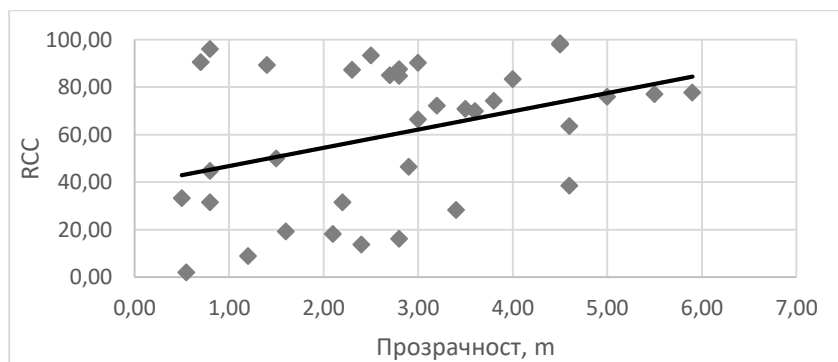
RCC индексът е разработен на база някои особености на трите основни групи зоопланктон, главно на ротиферите като силно приспособими по отношение на факторите на околната среда. Като нов метод за оценка на трофичното състояние на стоящите води, индексът се основава на количествени пропорции между трите основни групи зоопланктон. В настоящото проучване RCC е изчислен по протежение на изследваната система, като са анализирани измененията на индекса във времето при отделните точки на пробовземане. Подобно на резултатите при останалите изследвани параметри на втока на р. Искър и за индексът RCC са установени големи флуктуации за кратки срокове и различия от тенденциите при останалите станции. На тази станция липсват изявени зависимости между изследваните параметри.

В пелагичната част на язовира RCC индексът проявява сезонна динамика с по-високи стойности през есента и зимата и понижени през лятото, както и положителна корелация с прозрачността на водата (Фиг. 6.3.11a). Средните стойности на RCC за целия изследван период в яз. Искър са между 74 и 63, съответстващи на мезотрофни условия. При всички пунктове се наблюдава слаба тенденция към намаляване на RCC индекса във времето.



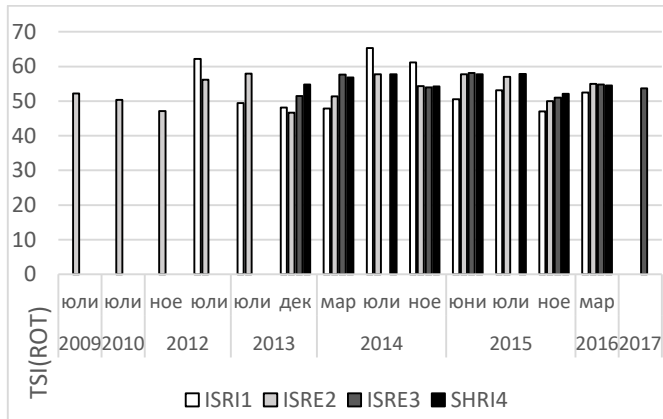
Фигура 6.3.11. Изменение на стойностите на индекса RCC. а) по станции за изследвания период; б) за периода 1961-1962 (Данни: Андреев, 1963).

Поради ниските количествени параметри на тип Rotifera, за периода 1961-1962 г. индексът RCC е с по-високи стойности, като средната за всички сезони е 86. Противоположно на получените резултати за последните години, през 1962 г. RCC има по-ниски стойности през есента и пролетта, а през лятото са над 91 и достигат максимума от 100 (Фиг. 6.3.11б). Установената разлика между двата периода, разграничени от 5 десетилетия, дава израз на структурните изменения в зоопланктона в изследваната система.

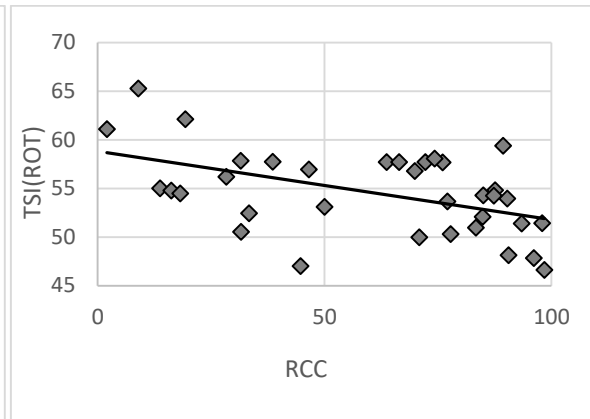


Фигура 6.3.12. Зависимост между прозрачността на водата и RCC индекса.

Ротиферният трофичен индекс, изчислен за изследваните пунктове, показва близки стойности на трите станции в язовира. Подобно на RCC, и $TSI_{(ROT)}$ проявява слаба сезонна зависимост, като през есенните и зимните месеци стойностите се понижават, а през летните се повишават (Фиг. 6.3.13). Според зададените от Ejsmont-Karabin (2012) стойности на индекса, пелагичната част на язовира се определя като „мезоеутрофна“. До голяма степен резултатът съответства на получените стойности за TSI на Carlson. Установена е умерено силна отрицателна корелация между индексите RCC и $TSI_{(ROT)}$ ($r=-0,49$; $p=0,05$) (Фиг. 6.3.14).

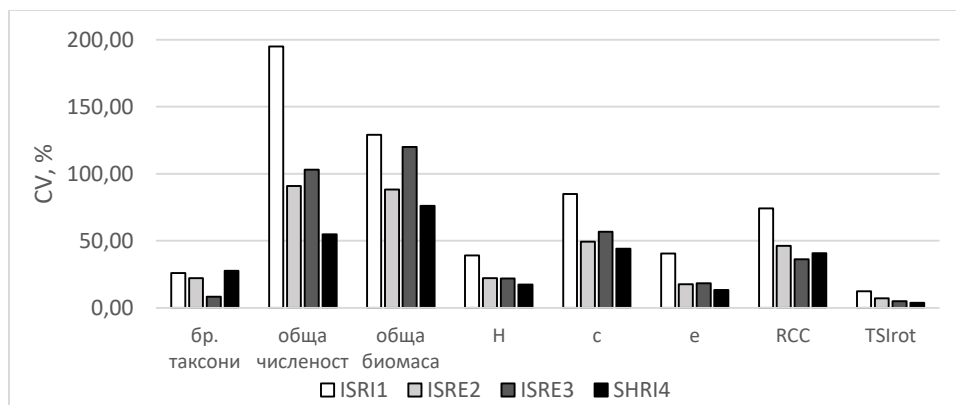


Фигура 6.3.13. Стойности на Ротиферния трофичен индекс $TSI_{(ROT)}$ за изследвания период по станции.



Фигура 6.3.14. Зависимост между индексите $TSI_{(ROT)}$ и RCC.

Коефициентът на вариация (CV) на всички изследвани параметри на зоопланктона, подобно на абиотичните фактори, е най-висок на станция ISRI1. В най-ниска степен варират показателите на ст. SHRI4, следвани от ст. ISRE2 и ISRE3, като разликата между последните две е незначителна (Фиг. 6.3.15). Стойността на CV на $TSI_{(ROT)}$ намалява постепенно от екотонната зона към централната част на язовира. Този резултат потвърждава измененията в динамиката на ротиферните комплекси от втока на реката към средата на язовира. По-слабо динамичните условия на станцията при р. Шипочница формират по-стабилни ротиферни комплекси, спрямо останалите пунктове, а по отношение на планктона от групи Cladocera и Ceropoda, динамиката е сходна с тази на ст. ISRE2.

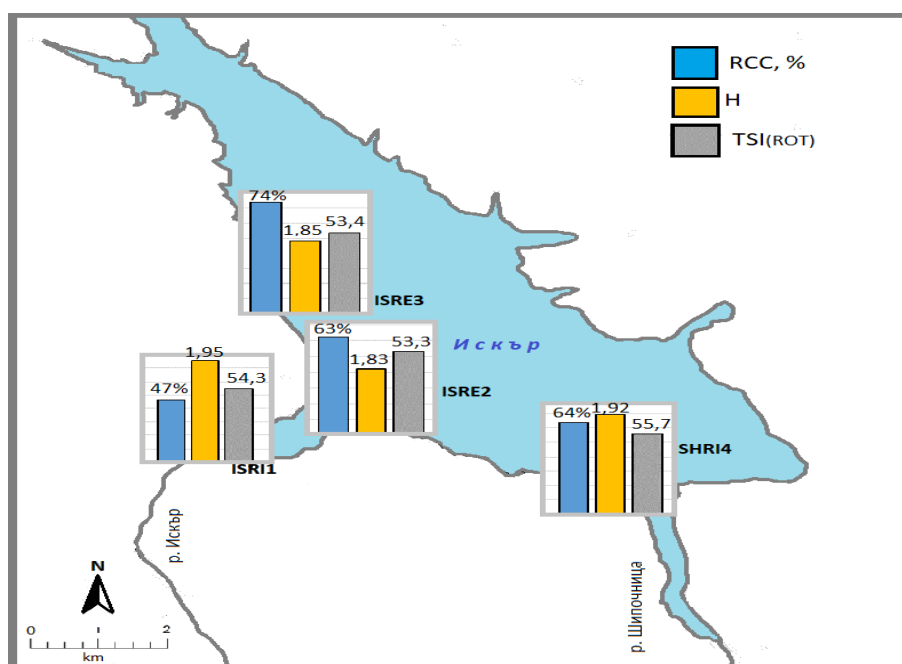


Фигура 6.3.15. Коефициент на вариация на параметрите на зоопланктона по станции за изследвания период.

Структурните индекси на зоопланктона (H, c и e) са в умерена корелация с факторите температура, кислород и рН, а ротиферният трофичен индекс е в положителна корелация единствено с водния обем в язовира. Като цяло силно изразена корелация между факторите на средата и индексите не е регистрирана. Установената зависимост между структурните индекси и температурата, кислорода и рН, показват наличието на сезонна динамика (Табл. 6.3.2).

Таблица 6.3.2. Рангов корелационен коефициент на Spearman (r) и ниво на статистическа значимост (p) за зависимостта между изследваните индекси и някои абиотични фактори. С удебелен шрифт са отбелязани статистически значимите резултати.

	RCC		H		c		e		TSI _(ROT)	
	r	p	r	p	r	p	r	p	r	p
Прозрачност, m	0.50	0.01	0.20	0.32	-0.11	0.58	0.10	0.61	0.16	0.44
Температура (вода), °C	0.12	0.55	0.54	0.004	-0.47	0.01	0.44	0.03	0.32	0.11
O ₂ , mg/L	-0.24	0.25	0.47	0.01	-0.45	0.02	0.40	0.04	-0.04	0.85
pH	0.23	0.27	0.47	0.02	-0.49	0.01	0.51	0.01	-0.22	0.29
Воден обем, млн. m ³	-0.13	0.53	0.46	0.02	-0.42	0.03	0.25	0.22	0.48	0.01



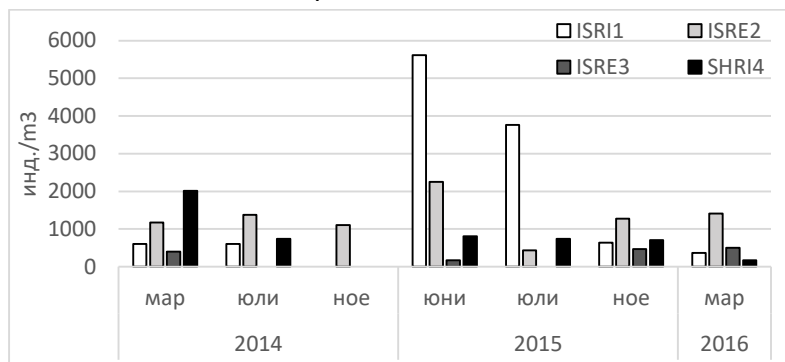
Фигура 6.3.16. Средни стойности на индексите RCC, H и TSI(ROT) по станции за изследвания период.

Средните стойности на RCC, TSI_(ROT) и H за целия период на изследването при отделните станции потвърждават очакваните тенденции (Фиг. 6.3.16). Установено е нарастване на RCC и намаляване на TSI_(ROT) по градиента от втока на р. Искър към централната част на язовира. Средната стойност на индекса RCC при станция ISRE3 (74%) е най-висока в сравнение с останалите три пункта и все пак значително по-ниска от средната стойност, изчислена за периода 1961-1962 г. (RCC=86,35).

6.4 Параметри на макрозообентоса

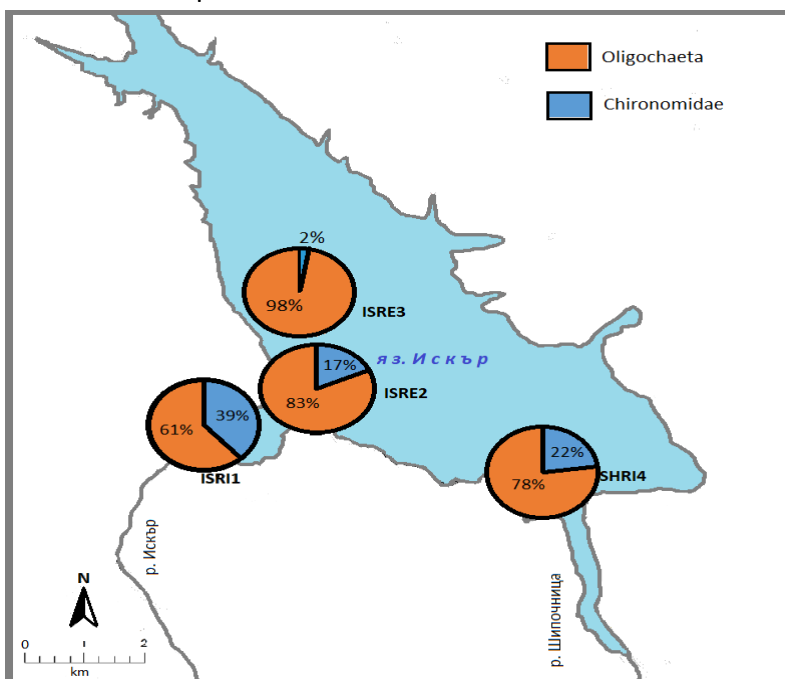
За изследвания период в състава на макрозообентоса са установени две основни таксономични групи: подклас Oligochaeta и сем. Chironomidae. Освен тях, в екотонната зона между р. Искър и язовира са установени и организми от клас Bivalvia, кл. Gastropoda, разр. Ephemeroptera и разр. Amphipoda. В пробите от трите станции в пелагичната част на язовира

(на дълбочина 9-10 m на ст. ISRE2 и SHRI4 и 26-29 m на ст. ISRE3) присъстват единствено подклас Oligochaeta и сем. Chironomidae в различни количествени съотношения.



Фигура 6.4.1. Обща численост (инд./m³) на макрозообентоса по станции за периода 2014-2016 г.

В съответствие с останалите фактори на средата, числеността на станция ISRI1 се изменя в най-широки граници (коефициент на вариация 129%) и проявява сезонна зависимост, която на останалите станции е по-слабо изразена (Фиг. 6.4.1). Отчетените концентрации на кислород в придънните водни слоеве са благоприятни за развитие а зообентос през целия изследван период (Фиг. 6.4.2). Не е установена корелация между общата численост на зообентоса и абиотичните фактори, а с числеността на зоопланктона е отчетена слаба отрицателна корелация. Установените ниски количествени параметри на макрозообентоса, вероятно са причина преобладаващо бентософагните видове риби вторично да преминават към хранене с планктон.



Фигура 6.4.3. Процентно съотношение на числеността на групи Oligochaeta и Chironomidae по станции за периода 2014-2016 г.

Общата численост на макрозообентоса варира в най-ниска степен на станция ISRE2 и е малко по-висока в сравнение с останалите две пелагични станции. Местоположението на ст. ISRE2 е в долната част на екотона, където условията за развитието на макрозообентос са благоприятни и осигуряват хранителен ресурс за повечето видове риби в язовира. Общата численост на станции ISRE3 и SHRI4 вероятно е повлияна в по-висока степен от бентософагните и всеядни риби. Системното зарибяване е фактор, който също повлиява количествените параметри на макрозообентоса в язовирите.

За целия период на изследване не са установени възрастни индивиди, нито ларви на инвазивният вид *Dreissena polymorpha*, който се среща в много от язовирите в България. Като фактори с ключово значение за ограничаването на заселването на мидата в яз. Искър са идентифицирани надморската височина (над оптималната за разпространението на вида у нас) и ниската концентрация на калций във водата (под 18 mg/L, при необходими над 20 mg/L за формиране на възпроизвеждащи се популации) (Тричкова, 2018).

6.5 Елементен състав и съдържание на метали в риби и планктон

Изследвани са общо 32 индивида от 9 вида риби на различна възраст (0-5 год.), принадлежащи към 4 основни трофични групи (всеядни-2 вида, зоопланктонофагни-1 вид, зообентосфагни – 5 вида, растителноядни – 1 вид) (Табл. 6.5.1). За определянето на принадлежността на видовете към трофичните групи е взето предвид изследването на Павлова (2013) върху трофичната структура на ихтиофауната на изкуствени водоеми през 2009 г., включително яз. Искър. Важно е да се отбележи, че всички малки рибки се хранят със зоопланктон, а някои възрастни видове при определени условия преминават вторично към зоопланктонофагия.

Таблица 6.5.1. Видов състав, хранителни предпочитания и риболовно значение на изследваните риби.

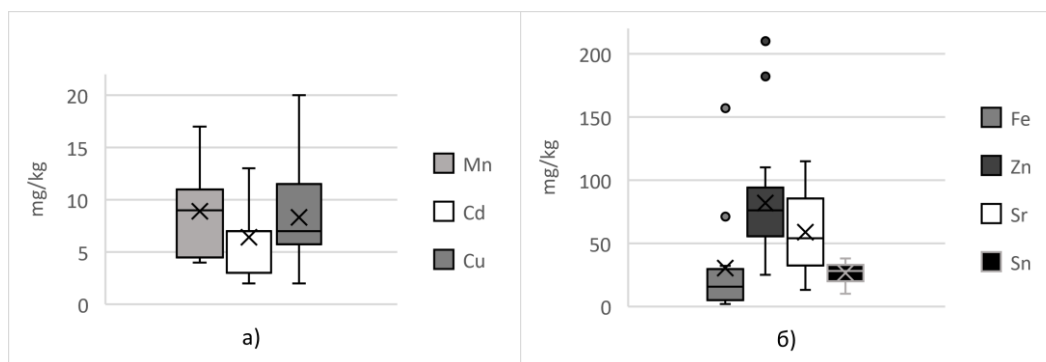
Вид	Българско название	Хранене*	Спортно-риболовно значение
CYPRINIDAE			
<i>Abramis brama</i> Linnaeus, 1758	Платика	зообентос, ларви на насекоми, водорасли	да
<i>Alburnus alburnus</i> Linnaeus, 1758	Уклея	зоопланктон	да
<i>Carassius carassius</i> Linnaeus, 1758	Обикновена каракуда	зообентос, водорасли, ларви на комари	да
<i>Phoxinus phoxinus</i> Linnaeus, 1758	Лешанка	зообентос, водорасли	не
<i>Rutilus rutilus</i> Linnaeus, 1758	Бабушка	зообентос, ларви на насекоми, ВВР	да
<i>Rhodeus amarus</i> Bloch, 1782	Горчивка	водорасли	не
<i>Gobio gobio</i> Linnaeus, 1758	Кротушка	зообентос, водорасли	да
COBITIDAE			
<i>Cobitis</i> sp.	Щипок	зообентос	не
PERCIDAE			
<i>Perca fluviatilis</i> Linnaeus, 1758	Костур	бентос, малки рибки	да

*по Зашев (1961); Карапеткова, Живков, (2006);

Според европейското и българското законодателство максимално допустимите количества на тежки метали са посочени в Регламент (ЕО) № 1881/2006 на комисията от 19 декември 2006 г. за определяне на максимално допустимите количества на някои замърсители в храните. По данни на ЮНЕСКО, сред най-опасните за здравето на хората са елементите Hg, Cd, Pb, Mn, Cu, Ni, Sr, Zn, As, Se и Ti (Стоянов, 1999). От изследваните елементи в Директива 2013/39/ЕС като приоритетни вещества са посочени Cd, Pb, Ni, Hg, от тях Cd и Hg са определени като приоритетни опасни вещества. Широко използваните до момента ПДК се оказват недостатъчно надежден показател, тъй като са съобразени главно с вредното въздействие върху хората, а освен това се отнасят до не всички форми на елементите (Велчева и др., 2011).

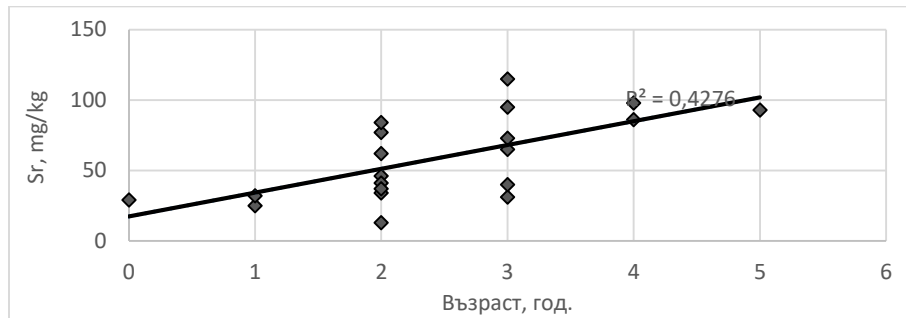
От изследваните 32 химични елемента, в тъканите и органите на рибите са установени 26. По-детайлно са разгледани елементите, характеризиращи се с относително по-висока токсичност или високи количества. Моделите на натрупване на елементите се различават между тъканите и органите. Живак не е установен в нито една от изследваните проби, а арсен само в две от пробите от вътрешни органи.

Стойностите в мускулната тъкан варират в широки граници (Фиг. 6.5.1), като за повечето елементи не е установена достоверна зависимост между количествата в мускулите и възрастта или размера на индивидите. В мускулите не са регистрирани олово, арсен и хром. Кадмий е установен в мускулната тъкан на 35% от изследваните индивиди, в количества превишаващи многократно ПДК съгласно Регламент 1881/2006, в следните видове: бабушка, кротушка, щипок, горчивка и лешанка. Всички с изключение на горчивката се хранят предимно с бентосни организми. Във водите на яз. Искър и р. Искър над язовира, според ИАОС концентрацията на Cd за периода 2013-2015 г. е под 0,02 µg/L, което е значително под нормите за повърхностни води, предназначени за питейно-битово водоснабдяване (Наредба 12/2002). Въпреки че елементът е открит в по-малко от половината проби, ниските му концентрации във водата, както и това, че повечето видове не представляват риболовен интерес, полученият резултат дава основание за провеждане на по-задълбочени изследвания в тази насока.



Фигура 6.5.1. Количества (mg/kg сухо тегло) на елементите, установени в мускулите на изследваните риби; а) Манган, кадмий и мед; б) Желязо, цинк, стронций, калай;

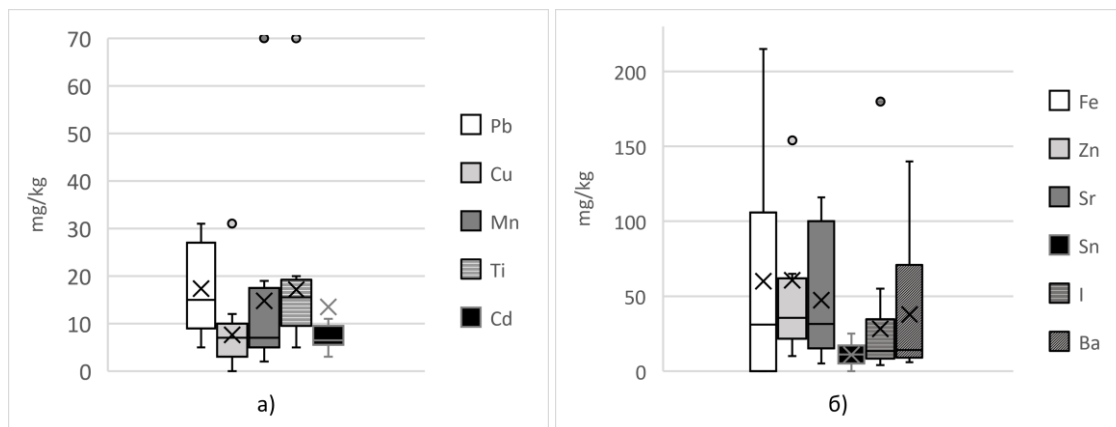
Стронций е установен във всички проби от мускулна тъкан в количества между 13 и 115 mg/kg. В пробите от хриле стойностите варират в значително по-широки граници между 5 и 640 mg/kg, докато при пробите от вътрешни органи, Sr е открит в едва половината от тях, в количества по-ниски от тези в мускулите. Също така е установена положителна корелация между количествата стронций в мускулите и възрастта на рибите $r=0,69$, $p<0,0001$ (Фиг. 6.5.2).



Фигура 6.5.2. Корелация между възрастта на рибите и съдържанието на стронций (mg/kg сухо тегло) в мускулите.

Част от елементите като Al, Si, Zn, Sb и Cd са в по-високи количества в рибите, уловени в р. Искър преди втока в язовира. Алуминият в мускулите на анализиранияте екземпляри е в сравнително високи количества – от 300 до 1100 mg/kg, почти два пъти по-високо количество от това в хрилете и вътрешните органи. Това превишава неколкостранно посочените норми. Резултатът е в съответствие с установените от Angelova et al. (2020) високи количества алуминий във водите и седиментите на р. Искър и тези на яз. Искър.

В хрилете на изследваните риби са установени по-голям брой елементи в сравнение с мускулната тъкан. От 25^{те} химични елемента в хрилете, Ni, Rb, Zr и Ag присъстват в незначителен брой проби. Стойностите на повечето елементи варират в по-висока степен, спрямо тези в мускулната тъкан (Фиг. 6.5.3). В повече от половината от изследваните проби от хриле (60%) е установено олово в сравнително високи количества между 5 и 31 mg/kg. Сред рибите, в които е регистрирано олово са почти всички, уловени в р. Искър над язовира и малък брой от тези, уловени в близост до местност Щъркелово гнездо. Концентрацията на Pb във водите за 2013-2015 г. по данни на ИАОС варира между 0.8 и 2 µg/L. Кадмий е установен в 10 от пробите, в количества малко по-високи от тези при мускулите. Стронцият в хрилете е със сходни на тези в мускулите количества, но е открит в по-малко на брой проби (75%).



Фигура 6.5.3. Количества (mg/kg сухо тегло) на елементите, установени в хрилете на изследваните риби; а) Олово, мед, манган, титан и кадмий; б) Желязо, цинк, стронций, калай, йод и барий;

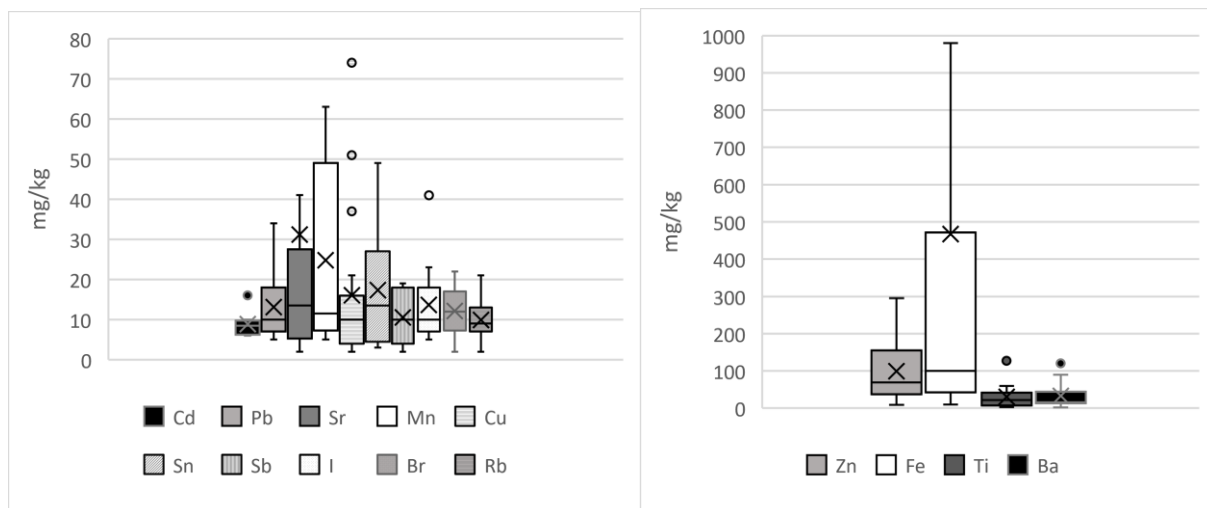
От елементите, които не са установени в мускулната тъкан на изследваните риби, но присъстват в хрилете, титан има в почти всички проби; бром е установен в 55% от пробите; хром е регистриран в 6 проби от 2 и 3-годишни риби. Мед и цинк са регистрирани в почти всички проби, а средните стойности също така са сходни с тези в мускулната тъкан. В хрилете на уклея са установени най-малък брой от изследваните елементи, докато при повечето бентофагни риби количествата са сравнително високи. За някои от елементите е установена изразена положителна корелация между количествата в хрилете и теглото на рибите и в по-ниска степен между количествата и възрастта (Табл. 6.5.2).

Таблица 6.5.2. Рангов корелационен коефициент на Spearman (r) и ниво на статистическа достоверност за зависимостта между количествата на химичните елементи в хрилете и теглото и възрастта на изследваните риби.

Елемент	Тегло		Възраст	
	r	p	r	p
Mn	0.278	0.235	0.199	0.400
Fe	0.936	<0.0001	0.577	0.007
Cu	0.390	0.090	0.180	0.448
Zn	0.844	<0.0001	0.478	0.033
Sr	0.763	<0.0001	0.446	0.049
Cd	-0.141	0.552	-0.263	0.264
Sn	0.358	0.122	-0.052	0.829
I	0.905	<0.0001	0.642	0.002
Ba	0.761	<0.0001	0.464	0.039
Ti	0.410	0.072	0.410	0.073
Pb	-0.374	0.104	-0.351	0.129

Във вътрешните органи на изследваните риби, установеният елементен състав е същият, като при хрилете, с разликата, че в две от пробите е открит и арсен. Наличието на As, макар и в само две проби, не би следвало да се игнорира, предвид високата токсичност на елемента. Както при мускулите и хрилете, част от елементите във вътрешностите се срещат в неголям брой проби (Ni, Cr, Zr и Ag). Количествата на останалите изследвани елементи варират в граници, посочени на Фиг. 6.5.4. Олово е установено в 13 от пробите в количества, сходни с тези при

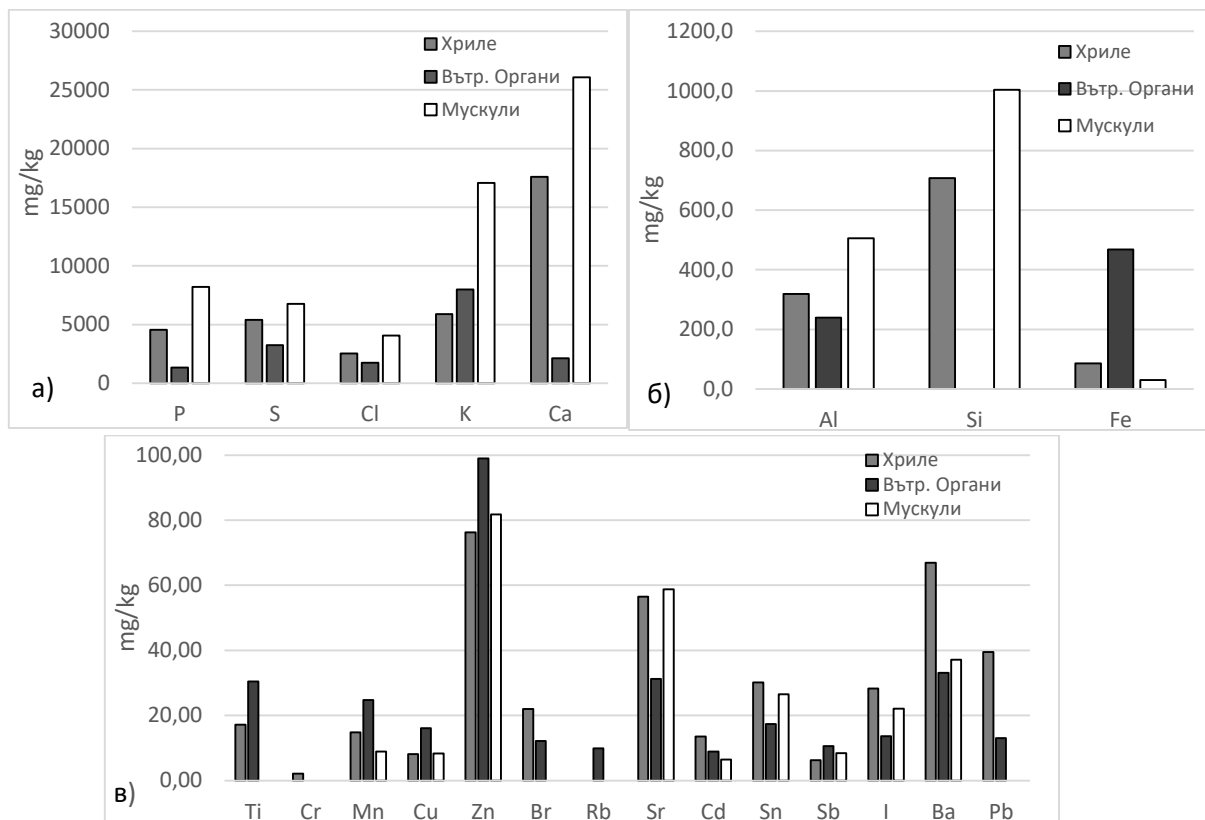
хрилете. Кадмият е в малко по-високи количества в сравнение с мускулите и хрилете и варира в граници между 6 и 16 mg/kg. Стронций е установен в наполовина по-малък брой проби в сравнение с мускулите и също така в по-малки количества. Средните стойности на елементите манган, мед, цинк и желязо надвишават тези при мускулите и хрилете, а на алуминий, калай, йод, бром, барий и др. са по-ниски. Количествата мед и цинк във вътрешностите на изследваните индивиди корелират положително с теглото и дължината им. И за двата елемента корелационният коефициент на Spearman е $r=0,66$; $p=0,001$). Подобен е резултатът за желязо, барий и титан, съответно $r=0,48$; $r=0,49$; $r=0,51$; $p=0,02$). Зависимост между количеството на елементите във вътрешните органи и възрастта не е установена.



Фигура 6.5.4. Количества (mg/kg сухо тегло) на елементите, установени във вътрешните органи на изследваните риби.

Като цяло при изследването на вътрешни органи са открити по-голям брой елементи със сравнително по-високи стойности при рибите, хранещи се с бентосни организми. Стойностите на елементите във вътрешните органи не се различават съществено между рибите, уловени в р. Искър и тези от пелагичната част на язовира, както е отчетено за рибите от хриле.

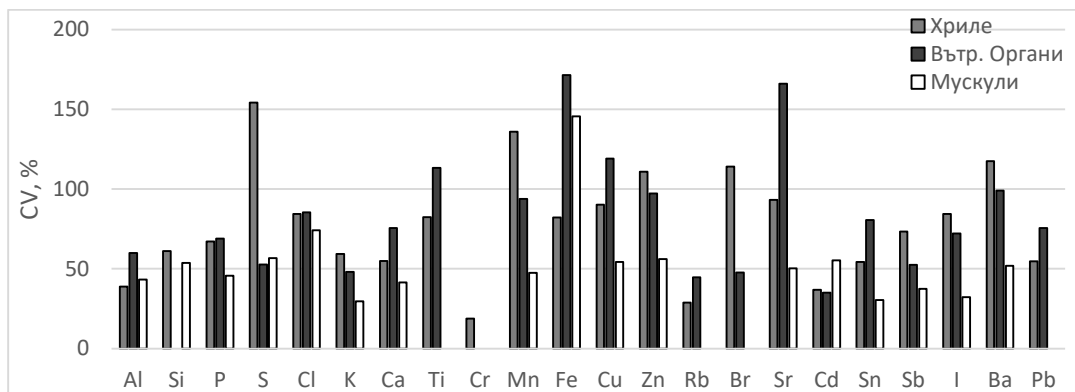
Съдържанието на някои от елементите като Ca, K, S, P, Cl, Si Al е по-високо в мускулната тъкан в сравнение с останалите органи. Именно част от тези елементи определят рибата като здравословна храна. Останалите изследвани елементи са в по-високи количества в хрилете и вътрешните органи с изключение на стронций, който е установен във всички мускулни проби в относително високи количества. Желязо, манган, мед, цинк и титан имат по-високи стойности при вътрешните органи. Концентрациите във водата за периода 2013-2015 г. на разтворено желязо също са относително високи, а тези на калций, манган, мед, кадмий и олово - ниски спрямо изискванията в Наредба 12/2002 г.



Фигура 6.5.5. Средни стойности (mg/kg сухо тегло) на изследваните елементи в хриле, вътрешни органи и мускули на риби от системата р р. Искър - яз. Искър.

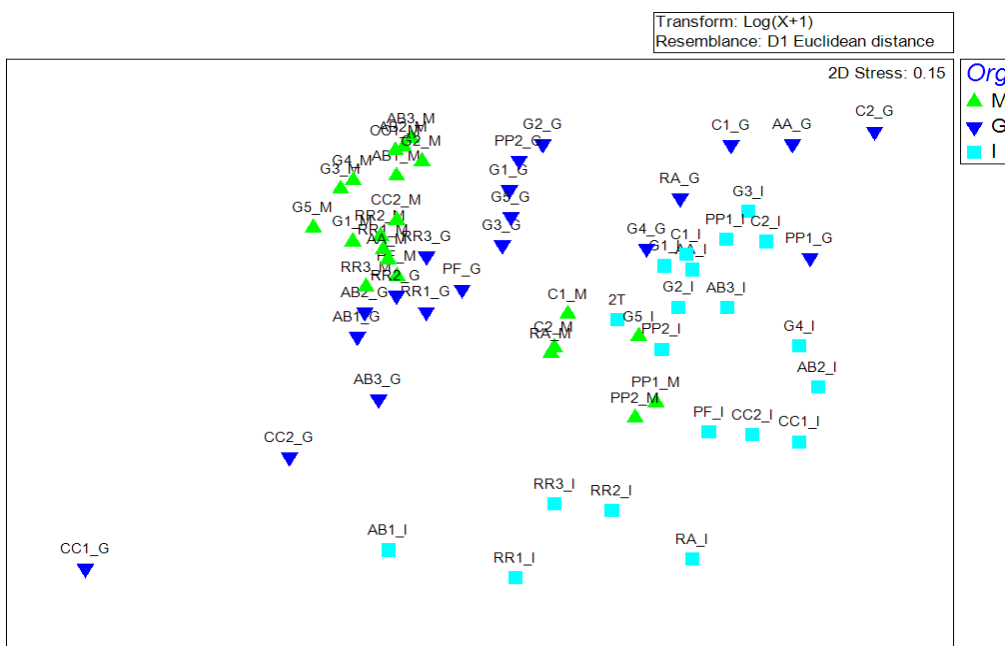
В хрилете на изследваните риби са отчетени по-високи стойности спрямо останалите органи на кадмий, олово, калай, барий, йод и бром. Резултатът показва по-висока степен на натрупване на метали в хрилете в сравнение с вътрешните органи и най-ниска в мускулите. Резултатите от други подобни изследвания в България също определят хрилете и вътрешните органи като органи с висока акумулативна способност (Арнаудова и др., 2008; Дък и др., 2008; Янчева, 2014).

Количествата на проучваните елементи варират в различна степен, както по отношение на натрупване в различните органи, така и в рамките на изследваните органи и тъкани (Фиг. 6.5.6). За всички изследвани елементи коефициентът на вариация е най-нисък за мускулната тъкан. Физиологичните особености на вътрешните органи и хрилете определят по-високата степен на вариация на количествата химични елементи.



Фигура 6.5.6. Коефициент на вариация (CV) на количествените стойности на изследваните елементи в хриле, вътрешни органи и мускули.

Направеният MDS плот показва обособяване на пробите от еднакъв тип органи или тъкан в групи, съответстващо на разликите в натрупаните количества елементи (Фиг . 6.5.7). Резултатът от ANOSIM теста показва статистически значими разлики в натрупването на метали между трите категории органи, както следва: между мускули и вътрешни органи $r=0,67$; $p=0,001$; между хриле и вътрешни органи $r=0,35$; $p=0,001$; и между хриле и мускули $r=0,23$; $p=0,001$.



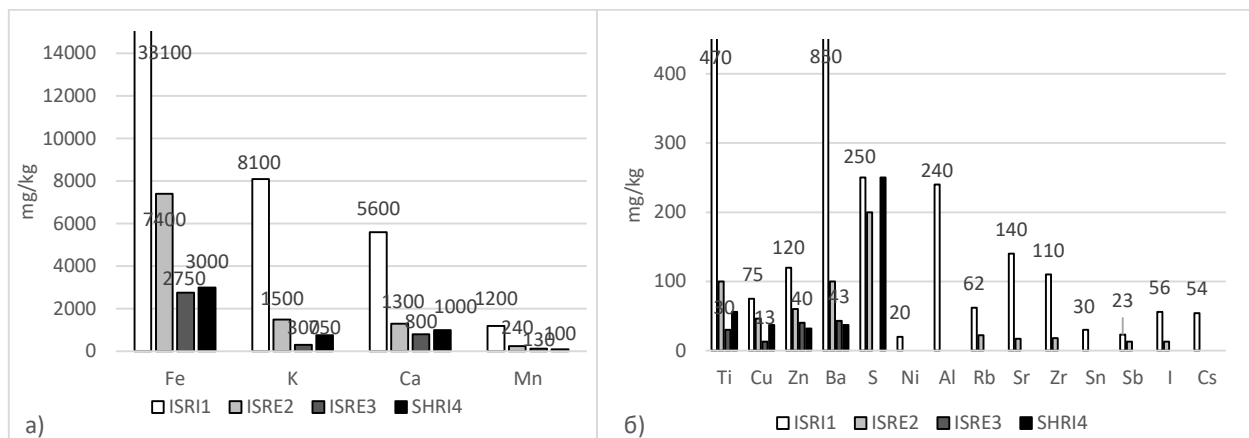
Фигура 6.5.7. MDS плот на сходството в натрупване на изследваните химични елементи в различни органи и тъкани на риби в системата р. Искър - яз. Искър. Означение: M=мускули; G=хриле; I=вътрешни органи;

Установена е положителна корелация между концентрацията на Fe, Ca, Mn, Cu и Ba във водата за периода 2013-2015 г. и количествата на тези елементи в хриле и вътрешни органи ($r=0,9$; $p=0,01$). Между количествата в мускулите и във водата не е отчетена значима зависимост.

Седиментите са място със значително по-високи концентрации на тежки метали, спрямо тези във водите (Adams, Chapman, 2007; Parvanov et al., 2008; Първанов, 2009; Янчева, 2014) и същевременно са местообитание на различни бентосни организми. От своя страна, бентосните макробезгръбначни са хранителен ресурс за организми от по-високите нива на трофичната верига, каквито са по-голямата част от изследваните видове риби. Това определя седиментите, както и бентосните организми като източник на метали, потенциални за пренос и натрупване по хранителната верига. Установените от Parvanov (2008) стойности на метали в седиментите и седиментните води в р. Искър преди яз. Искър за 2005 г. варират в периодите на маловодие и пълноводие. Регистрираните тогава относително високи количества желязо (близо 600 mg/L) съответстват на получените от нас резултати. Подобно е и количеството манган в седиментите през 2005 г., а концентрациите на цинк и мед – сравнително по-ниски (под 70 mg/L). Установеното в седиментите олово (близо 90 mg/L) е в количества, съизмерими с някои от антропогенно замърсените участъци от средното течение на р. Искър.

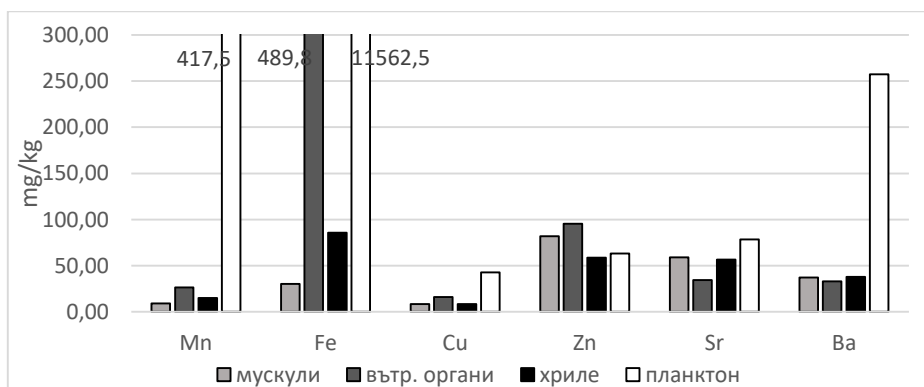
Акумулацията и преносът на метали и други замърсители в ниските нива на хранителните вериги в сладководните екосистеми са много по-слабо проучени, в сравнение с тези процеси в по-високите трофични нива. Оценката на натрупването на химични елементи в планктона дава важна информация както за степента на замърсяване на водната среда, така и за движението към следващите нива на хранителната верига (Chen et al., 2000; Bahnasawy et al., 2011).

В планктонните проби от четирите изследвани станции ISRI1, ISRE2, ISRE3 и SHRI4 са установени общо 19 от търсените 32 елемента, като само 9 от тях са налични на всички станции. Кадмий, олово, живак и арсен не са регистрирани. Елементите Al, Ni, Sn, Cs са отчетени само на станцията в екотонната зона, а Rb, Sr, Zr, Sb само на станции ISRI1 и ISRE2. Средните количествени стойности на елементите, налични на всички пунктове са подредени в следния низходящ ред: Si > Fe > K > Ca > Mn > Ba > Ti > Zn > Cu. За всички елементи тенденцията на количествено разпределение между станциите е еднаква – високи стойности на ст. ISRI1, които намаляват неколккратно (между 4 и 27 пъти) към ст. ISRE3 (Фиг. 6.5.8). В известна степен това се дължи на по-високите количества суспендирани частици във водите от екотонната зона, попаднали в пробата. Концентрациите на метали в неразтворените твърди вещества са много по-високи, отколкото във водата, поради което малка част от тях може да бъде важен източник за биоаккумуляция в планктонните организми (Adams, Chapman, 2007).



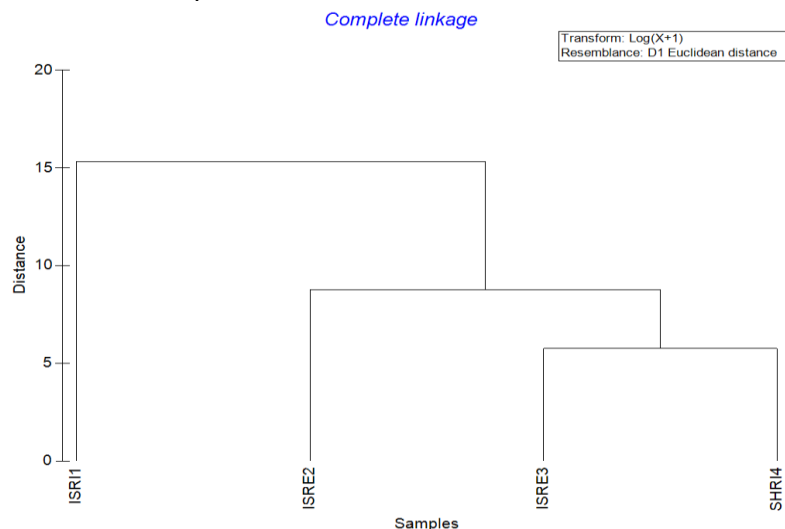
Фигура 6.5.8. Елементен състав на планктона и количествени стойности (mg/kg сухо тегло) на установените елементи по станции; а) Желязо, калий, калций, манган; б) Титан, мед, цинк, барий, сяра, никел, алуминий, рубидий, стронций, цирконий, калай, антимон, йод, цезий;

В сравнение с изследваните органи на риби, количествата на някои елементи в планктона са по-високи. Mn, Fe и Ba са значително по-високи в планктонните проби, а Cu и Sr в сравнително по-ниска степен (Фиг. 6.5.9). За разлика от рибите, които поемат и натрупват различни елементи както от водата, така и от седиментите, основен източник за планктона е водната среда заедно с неразтворените в нея частици. Предвид сравнително краткия жизнен цикъл на планктонните организми този резултат свидетелства за тяхната способност да абсорбират различни химични елементи. Относително високите количества на елементите Al, Fe, Mn, Ba, Sr в изследваните риби и планктонни проби, вероятно се дължат на естествени процеси в системата в съответствие с елементния състав на установените основни минерали, изграждащи седиментите (Хрисчева, 1996; Angelova et al., 2020). Установените токсични метали Pb, Cd и As е по-вероятно да имат антропогенен произход.



Фигура 6.5.9. Сравнение на средните стойности (mg/kg сухо тегло) на някои метали в органи на риби и планктон.

Направеният клъстерен анализ показва най-високо сходство между станции ISRE3 и SHRI4, след което между ISRE2 и SHRI4. Станцията в екотонната зона е най-отдалечена от останалите в клъстера, в съответствие с останалите резултати (Фиг. 6.5.10). По-високото сходство между ISRE3 и SHRI4, отколкото между ISRE3 и ISRE2, показва ясен градиент от втока на р. Искър към централната част на язовира от една страна, и от друга незначителното влияние на р. Шипочница върху елементния състав на планктона и сравнително ниско динамичните условия в тази част на изследваната система. Полученият резултат в известна степен отразява и процесите на самопречистване от втока на р. Искър към централната част на язовира.



Фигура 6.5.10. Дендрограма на клъстерен анализ на сходство на четирите станции по количествата на установените химични елементи в планктона.

Резултатите от настоящото изследване биха били от полза за подобряване и прецизиране на системите за окачествяване на водите на яз. Искър като основен водоизточник на гр. София. Получените данни допълват аргументацията за включване на зоопланктонното съобщество към задължителните биологични показатели за оценка на качеството на водите в РДВ на ЕС 2000/60. Данните биха могли да послужат за предлагане на мерки за подобряване както на управлението, така и на качеството на водната екосистема. Получените резултати могат да бъдат приложими и за други системи от подобен тип.

7 Изводи

1. Хидроморфологичните, хидродинамични и хидрохимични специфики на изследваната система, както и експлоатационният режим на язовира определят следните пространствени вариации:
 - Екотонната зона при вливането на р. Искър в язовира (ст. ISRI1) е ясно разграничена, отличаваща се с динамични условия. Пелагичната зона е със слабо изразен надлъжен градиент след вливането на р. Искър към централната част на язовира (ст. ISRE2, ISRE3 и SHRI4), с относително разтеглена вертикална стратификация през летните и зимните месеци и дълги периоди на пролетна и есенна циркуляция.
 - По повечето ФХЕК, заложи в РДВ и Наредба № Н-4/2013, изследваните обекти са в „отлично“ или „добро“ състояние и „добър“ и по-висок потенциал за целия период. На пункта в р. Искър за целия изследван период, съдържанието на PO4-P и N-NO₃ определят състоянието като „умерено“.
2. На базата на изследванията на таксономичния състав на зоопланктона могат да бъдат направени следните изводи:
 - От втока на р. Искър към централната част на язовира броят на установените таксони, както и делът на тип Rotifera намаляват с близо 30%.
 - Екотонната зона се характеризира с изключително нестабилен таксономичен и доминантен състав, както и ниско таксономично сходство с пелагичната зона.
 - Темпоралните промени в таксономичния състав на зоопланктона за изследвания период по години се изразяват в закономерно намаляване на сходството (по Jaccard) с увеличаване на времето между периодите на сравнение.
 - Таксономичното богатство в язовира нараства близо 6 пъти за период от 50 години.
3. Въз основа на резултатите от анализа на количествените параметри на зоопланктона могат да се направят следните изводи:
 - В екотонната зона количествените параметри на зоопланктона се характеризират с големи вариации в числеността за целия период (коефициент на вариация=195%), несъответствие между динамиката на численост и на биомаса и липса на изразена сезонна зависимост. Основен дял от общата численост имат видове с ниска индивидуална биомаса от тип Rotifera.
 - В пелагичната част на язовира се установява ясно изразена зависимост между численост и биомаса на зоопланктона с висок дял на група Copepoda и стабилни зоопланктонни съобщества в тази част на язовира.
 - Съотношението на основните таксономични групи зоопланктон по отношение на численост се изменя от втока на р. Искър към средната част на язовира в посока

намаляване на относителния дял на ротиферите с близо 3 пъти и нарастване на дела на ракообразните от разред Cladocera.

- Разпределението на зоопланктона по вертикала е относително равномерно, в съответствие със слабо изразената стратификация и благоприятния като цяло кислороден режим в дълбочина (между 4,2 и 10,5 mg/L на станция ISRE3).
- Максималните стойности на числеността на зоопланктона през 1961-1962 г. са с от 3 до 6 пъти по-ниски в сравнение с регистрираните по време на настоящото проучване.
- Средната численост на индивидите от тип Rotifera в яз. Искър нараства с над 10 пъти за периода от 1962 г. до момента на настоящото изследване.
- Параметрите на видовете от тип Rotifera в конкретния случай показват най-добра индикативна способност за процесите на стареене и еутрофизация в сравнение с останалите две основни групи зоопланктон – разред Cladocera и подклас Copepoda.

4. Резултатите от анализирания структурни и функционални параметри на зоопланктона аргументират следните изводи:

- Видовото разнообразие и изравнеността в зоопланктонните съобщества нарастват слабо в посока от централната част към опашката на язовира.
- В яз. Искър RCC индексът нараства в посока от опашката към централната част и проявява сезонна динамика. Получените стойности на индекса корелират положително с прозрачността на водата ($r=0.50$, $p=0.01$). Установява се тенденция към понижаване на стойностите в рамките на периода на проучване.
- За периода от 1961 г. до настоящото изследване средните стойности на RCC намаляват от 84 на 68, което индикира напредващ процес на еутрофизация в обекта на изследване.
- Стойностите на ротиферния трофичен индекс $TSI_{(ROT)}$ определят състоянието на водите в яз. Искър като „мезоеутрофно“. Резултатът предполага адаптиране на метода с цел успешното му прилагане и в Югоизточна Европа.
- Установените съответствия в резултатите от приложените индекси TSI (Carlson, 1977), RCC и $TSI_{(ROT)}$ подкрепят тезата, че зоопланктонът е подходящ за оценка на състоянието на стоящите водоеми. Резултатът допълва аргументацията за включване на зоопланктона като задължителен елемент за качество на стоящите води.

5. Анализът на елементния състав на хриле, вътрешни органи и мускулна тъкан на риби и планктонни проби от изследваната система показва:

- Разпределението на установените общо 26 химични елемента в тъканите и органите на рибите е различно, като най-висока степен на натрупване е установена в хрилете, следвана от вътрешните органи и най-ниска в мускулите.
- Средните количествени стойности на част от елементите в изследваните органи и тъкани са подредени в следния низходящ ред:
 мускули: Al > Zn > Sr > Fe > Mn > Cu > Cd;
 хриле: Al > Fe > Zn > Sr > Pb > Mn > Cu > Cd;
 вътрешни органи: Fe > Al > Zn > Sr > Mn > Cu > Pb > Cd;
- Установените във водата концентрации на Pb, Cd, Mn, Cu, Ba са значително по-ниски, в сравнение със законовите норми (Наредба 12/2002) както в р. Искър, така и в язовира. Количествата на Pb и Cd в органите и тъканите на изследваните риби превишават максимално допустимите според действащото законодателство количества (Регламент 1881/2006).
- От установените общо 19 елемента в планктонните проби, 9 са налични на всичките 4 станции (ISRI1, ISRE2, ISRE3 и SHRI4) с изразена пространствена хетерогенност. Количествата на елементите намаляват с 4 до 27 пъти по градиента от втока на р. Искър към средната част на язовира.

8 Приноси

1. Проведено е най-продължителното до момента проучване на зоопланктона и други трофични нива в яз. Искър с фокус върху екотонната зона между р. Искър и яз. Искър.
2. Изследвано е съвременното състояние на зоопланктона в яз. Искър и динамиката на количествените му параметри. На база получените резултати за периода 2009-2017 г. и литературни данни за периода 1961-1962 г. са проучени дългосрочните тенденции в качествените и количествени параметри на зоопланктонните съобщества в яз. Искър.
3. За първи път е приложен индексът RCC в различни зони по протежението на един и същ водоем. Изследвани са неговите пространствени и темпорални вариации във връзка с оценката на трофичното състояние на яз. Искър за периода 2009-2017 г.
4. Получените резултати допълват аргументацията за включване на зоопланктона като задължителен Биологичен елемент за качество при оценката на състоянието на стоящите водни басейни.
5. За първи път е изследван елементният състав, както и съдържанието и разпределението на тежки метали в планктон и тъкани и органи на риби от яз. Искър и р. Искър преди

вливането в язовира. Обогатени са данните за замърсяването с тежки метали, както и елементният състав във водите на изследвания участък от системата.

Излезли от печат публикации по темата на дисертацията

1. **Stefanova, M.**, Kozuharov, D., Rajkova, G. (2015). Changes in the zooplankton community of the ecotone zone between Iskar river and Iskar reservoir and the pelagial of the reservoir, *Annuaire de l'Université de Sofia "St. Kliment Ohridski" Faculte De Biologie* 2015, 100(4), 304-313
2. Kozuharov, D., Raikova, G., **Stefanova, M.**, Fikovska, E. (2016). Dynamics of the zooplankton composition of the system Iskar river Iskar reservoir in relation to some environmental factors, *Comptes rendus del'Académie bulgare des sciences.*, 69(8), 1029 1038
3. **Stefanova, M.**, Kozuharov, D., Stanachkova, M., Andreev, S., Rajkova-Petrova, G. (2021). Zooplankton community response to the ageing of Iskar reservoir (Bulgaria). *Comptes rendus del'Académie bulgare des sciences: sciences mathématiques et naturelles.* 73. 829-838
4. Raikova-Petrova, G., **Stefanova, M.**, Kozuharov, D., Valcheva, R., Rozdina, D., Stanachkova, M., Petrov, I. (2017). Heavy metal content and element composition of plankton and fish from Iskar reservoir and its ecotone. *Ecological Engineering and Environment Protection.* IX. (Suppl. 1) p. 22-31
5. Stanachkova, M., **Stefanova, M.**, Kozuharov, D., Raikova, G., Fikovska, E. (2017). Community structure of zooplankton as key factor for self purification capacity of Iskar reservoir. *Ecological Engineering and Environment Protection*, IX, (Suppl. 1) p. 39-46

Участие в научни конференции

Младежка научна конференция „Климентови дни“, 17-18 октомври 2014, Биологически факултет, СУ "Св. Климент Охридски. „Changes in the zooplankton community of the ecotone zone between Iskar river and Iskar reservoir“ (Доклад).

Забелязани цитирания на трудовете по темата на дисертацията

Raikova-Petrova, G., **Stefanova, M.**, Kozuharov, D., Valcheva, R., Rozdina, D., Stanachkova, M., Petrov, I. (2017). Heavy metal content and element composition of plankton and fish from Iskar reservoir and its ecotone. *Ecological Engineering and Environment Protection.* IX. (Suppl. 1) p. 22-31

Цитирано в:

Angelova, I., Ivanov, I., Venelinov, T. Venelinov. (2020). Origin of Aluminium in the Raw Drinking Water of Sofia City, Bulgaria. *Water, air, and soil pollution*, 231, 455. doi: 10.1007/s11270-020-04819-0

Uzunova, E., Ignatov, K., Dashinov, D., Tasheva-Terzieva, E., Trichkova, T. (2020). The Alien Peipsi Whitefish *Coregonus maraenoides* Polyakov, 1874 (Actinopterygii: Salmoniformes) in Iskar Reservoir, Danube River basin, Bulgaria. *Acta Zoologica Bulgarica.* 72. 103-112.

Благодарности

Благодаря на научните си ръководители доц. д-р Галерида Райкова-Петрова и доц. д-р Димитър Кожухаров за предоставената възможност, отделеното време, търпението, съдействието, ценните съвети и цялостната подкрепа по време на работата ми по дисертационния труд!

Благодаря на колектива на катедра по „Обща и приложна хидробиология“ за професионалните насоки и съвети в хода на разработването на настоящата дисертация.

Благодаря на гл. ас. д-р Мариета Станачкова от катедра „Екология и опазване на околната среда“ за помощта при теренната и лабораторна работа, полезните съвети, креативни дискусии и приятелската подкрепа.

Благодаря на доц. д-р Стоице Андреев от Национален Природонаучен Музей – БАН, за предоставените данни от неговата дипломна работа за извършване на сравнения на зоопланктона в яз. Искър за периода 1961 – 1962 г., дискусиите относно планктона и еволюционните промени в язовира, съавторството и партньорството.

Благодаря на гл. ас. д-р Ралица Вълчева от Институт за ядрени изследвания и ядрена енергетика - БАН за съдействието при извършването на рентгенофлуоресцентен анализ за установяване на елементния състав на пробите от риби и планктон.

Благодаря на г-н Стефан Цонев за оказаната помощ по време на теренната работа.

Благодаря на доц. д-р Елена Ташева от катедра „Зоология и антропология“ за въвеждащите насоки относно статистическите анализи на резултатите.

Благодаря на студентите от магистърска програма Приложна хидробиология и аквакултури Елеонора Фиковска, Мартина Димитрова, Ава Черкез, за помощта при теренната работа и лабораторната обработка на част от зоопланктонните проби.

Благодаря на г-жа Ирена Стоева за оказаното съдействие.

Благодаря на моето семейството за безусловната подкрепа, разбиране и търпение!

Благодаря на всички колеги и приятели, които по един или друг начин помогнаха и ме подкрепиха в изготвянето на настоящата дисертация.

Изследванията в настоящия дисертационен труд са проведени в рамките на следните научни проекти: № 114/19.04.2013 г. на тема: Трансфер на замърсители по хранителни вериги в моделна система река – язовир (р. Искър – яз. Искър) и № 43/03.04.2015 г. – на тема: Трансфер на замърсители на различни трофични нива в екотонни зони на моделна система река Искър– язовир Искър и Защитена местност "Рибарници Орсоя" финансирани от фонд „Научни изследвания“ на Софийски университет „Св. Климент Охридски“ за 2015 г. Публикуването на част от резултатите от проведените изследвания е осъществено по проект „ Жива вода“ на Биологически факултет на СУ „Св. Климент Охридски“ и „Софийска вода“ АД.