

БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
Институт по Биоразнообразие и Екосистемни Изследвания

ПЕНЧО ДАНЧЕВ ИВАНОВ

СТРУКТУРА И ФУНКЦИИ НА ХИДРОЗООЦЕНОЗИТЕ ВЪВ ВРЕМЕННО ПРЕСЪХВАЩИ ВОДНИ ТЕЛА

АВТОРЕФЕРАТ

за получаване на образователна и научна степен „Доктор“

Научна специалност: „Хидробиология“, Код 01.06.11

Научен ръководител:
доц. д-р Лъчезар Пехливанов

СОФИЯ
2024

ПЕНЧО ДАНЧЕВ ИВАНОВ

СТРУКТУРА И ФУНКЦИИ НА ХИДРОЗООЦЕНОЗИТЕ
ВЪВ ВРЕМЕННО ПРЕСЪХВАЩИ
ВОДНИ ТЕЛА

АВТОРЕФЕРАТ

за получаване на образователна и научна степен „Доктор“

Научна специалност: „Хидробиология“, Код 01.06.11

Научен ръководител:
доц. д-р Лъчезар Пехливанов

СОФИЯ
2024

Дисертацията е разработена в рамките на задочна докторантура в Института по биоразнообразие и екосистемни изследвания – БАН.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита на разширено заседание на отдел „Водни екосистеми“ при Института по биоразнообразие и екосистемни изследвания – БАН, състояло се на 11 януари 2024 г.

Дисертационният труд е оформен по изискванията за придобиване на образователна и научна степен „доктор“, прилагани в ИБЕИ. Съдържа 168 страници текст, 79 фигури, 4 таблици и 13 страници приложения. Списъкът с цитираната литература съдържа 111 заглавия, от които 7 на кирилица и 104 на латиница.

Защитата на дисертационният труд ще се състои на 15 май от 10.00 часа в Заседателната зала на Института по биоразнообразие и екосистемни изследвания – БАН, ул. Ю. Гагарин, No 2, на открито заседание на петчленно Научно жури (назначено със заповед на Директора на ИБЕИ – БАН No 18/26.01.2024 г. в състав:

Вътрешни членове:

доц. д-р Весела Василева Евтимова, ИБЕИ-БАН

доц. д-р Лъчезар Златев Пехливанов, ИБЕИ-БАН (научен ръководител)

Външни членове:

проф. д-р Йордан Иванов Узунов, ИБЕИ-БАН (пенсионер)

доц. д-р Димитър Стефанов Кожухаров, БФ, СУ „Св. Климент Охридски“

доц. д-р Йована Тодорова Тодорова, БФ, СУ „Св. Климент Охридски“

Материалите по защитата са на разположение на интересувалите се в библиотеката на Института по биоразнообразие и екосистемни изследвания – БАН, база 1.

ИЗПОЛЗВАНИ СЪКРАЩЕНИЯ И ДЕФИНИЦИИ

ИЗСЛЕДВАНИ ОБЕКТИ – СТОЯЩИ ВОДИ

LIV	Езеро Лилов вир
ALD	Алдомировско блато
ARI	Езеро Ариана
DRA	Драгоманско блато

ИЗСЛЕДВАНИ ОБЕКТИ – РЕЧНИ ТЕЧЕНИЯ

1- BUT	Река Бутамята, пункт 1 (гора)
2- BUT	Река Бутамята, пункт 2 (устие)
1-SIL	Река Силистар, пункт 1 (гора)
2-SIL	Река Силистар, пункт 2 (устие)

ДЕФИНИЦИИ

ХП	Хидропериод (дни). Времето през което водоема е пълен, т.е. продължителността на водната фаза на временния водоем.
----	--

СЪКРАЩЕНИЯ

ANOSIM	Анализ на сходствата
BactP	Бактериопланктон
CF/CL	Филтратори/Колектори
CG	Берящи
COND	Електропроводимост ($\mu\text{S}/\text{cm}^3$)
DEPT	Дълбочина на басейна (m)
DF	Детритофаги
DOM	Разтворена органична материя
NITRA	Концентрация на нитратен азот
NITRI	Концентрация на нитритен азот
Omni	Всеядни
OXYD	Концентрация на разтворен кислород
Phph	Фитопланктонофаги
PPHO	Концентрация на фосфатен фосфор
PR	Хищници
SC	Стържещи
SH	Дробящи
TWAT	Температура на водата ($^{\circ}\text{C}$)
TRAN	Прозрачност (m)
WVOL	Воден обем (m^3). Приблизителен обем на водната маса на водоема.
MЗБ	Макрозообентос

I. УВОД

Пресъхващи водни тела могат да бъдат установени по всички континенти, без изключения. Независимо от специфичните особености на всеки временен водоем, всички те, имат една неотменима характеристика – притежават суха фаза. В някои случаи настъпването на сухата фаза е предвидимо, а също така и продължителността ѝ. В други случаи това е инцидент в еволюцията на съответния водоем и той е непредсказуем.

С оглед последните схващания за промените на климата на Земята, очакванията са за редица промени, които ще доведат до увеличаване на броя на водоемите, които притежават суха фаза. Тези обстоятелства обясняват и засиленият интерес в последните години към изучаването на временните водоеми. В България има единични изследвания върху вътрешно-континенталните временните водоеми, но не конкретно с акцент влиянието на временния характер на водоемите върху формирането на планктонните и бентосните съобщества. Провеждането на задълбочени изследвания на тези обекти в България са важни за изясняване на факторите, влияещи върху структурата и функциите на съобществата на временните водоеми, а оттам и за оценка на тяхното значение за запазване на локалното и глобалното биоразнообразие. Настоящата дисертация има за цел да идентифицира ключови процеси, характеризиращи временни водоеми с различен хидрологичен режим и произход, както и основни фактори, влияещи върху развитието, структурата и функционирането на две основни зоологични съобщества в тях – зоопланктонното и макрозообентосното.

II. ПРЕГЛЕД НА ЛИТЕРАТУРАТА

Разгледани са основните съвременни концепции за функциониране на сладководните екосистеми в контекста на непостоянния хидрологичен режим и динамиката на физико-химичните параметри при различни типове пресъхващи водни тела. Посочени са основните характеристики на качествено моделиране на трофични мрежи и Лоор-анализ. От направения преглед на литературата се установи, че пресъхващите водни тела са изключително разнообразни и класификацията им е много трудна. С оглед настъпващите климатични промени, се очаква още по-широкото им разпространение в целия свят. Различната честота на оводняване и продължителността на водната им фаза са важни фактори за формирането и развитието на съобществата в тях. Тази хетерогенност на хидрологичния режим на пресъхващите водни тела предполага развитието на много и различни адаптации на хидробионтите. Необходимостта от бърза адаптация в силно лимитираните условия на пресъхващите водни тела води до опростяване на трофичните мрежи и намаляване на връзките между отделните им компоненти. Съответно и до по-слабо или даже никакво влияние на биотичните фактори за структурирането на съобществото. Въпреки всички тези специфики, съобществата в пресъхващите водни тела биха могли да бъдат стабилни и жизнеспособни.

В специализираната литература няма информация за изследвания върху структурирането и функционирането на водните животински съобщества в специфичните условия на пресъхващи вътрешно-континентални реки и стоящи водни обекти.

III. ЦЕЛ И ЗАДАЧИ

Изследването има за цел да наблюдава и опише развитието на макрозообентосното и зоопланктонното съобщества във временни водни тела, тяхното видово богатство и функционалност във връзка с хидроложкия им режим и промените във физико-химичните

параметри на водоемите, както и да идентифицира факторите, които управляват развитието на тези ценози.

Задачите които трябва да бъдат изпълнени са:

1. Проучване на видовия състав, структурата и функционалността на съобществата на безгръбначни бентосни и планктонни организми в моделни обекти, представителни за различните категории временни водни тела във вътрешността на страната: карстови езера и блата, изкуствени водоеми и пресъхващи реки.
2. Определяне на водещите фактори на средата, влияещи върху формирането на съобществата от планктонни и бентосни безгръбначни организми.
3. Изследване на въздействието на лимитиращите условия на специфичния воден баланс на изследваните временни водоеми върху трофичната структура на съобществата.
4. Качествено описание на трофичните взаимоотношения в съобществата в изследваните водни екосистеми чрез моделни трофични вериги и мрежи.

Хипотези, върху които се основава изследването

Изследването се базира върху хипотезата, че структурата на хидрозооценозите в пресъхващи водни обекти се влияе преди всичко от специфичният им воден баланс, който е основен екологичен и структуроопределящ фактор. Ефектът на този специфичен воден баланс се изразява най-вече чрез хидропериода (ХП) и измененията на водния обем (WVOL). Различните ХП и непостоянният воден обем в различните години, предполагат формирането на различни съобщества. Но независимо от това, дори и при силно лимитираните жизнени условия на пресъхващите водоеми, съобществата в тях могат да бъдат жизнеспособни и важни за запазването на локалното и глобалното биоразнообразие.

IV. ИЗСЛЕДВАНИ ОБЕКТИ

Подбор на обекти и пунктове за пробонабиране

Обектите за настоящото изследване бяха избрани така, че да предоставят различни хидроложки условия и да бъдат представителни за различните категории временни водни тела. Бяха определени два водоема, отговарящи на категорията „сезонни“ – естественото езеро Лилов вир и изкуственото езеро Ариана и два водоема от категорията „почти постоянни“ – Алдомировското и Драгоманското блата. Определени бяха и две реки – р. Бутамята и р. Силистар с по два пункта за пробовземане на всяка река. Двата пункта на всяка река отстоят на ок. 1.5 км. един от друг и се характеризират с различни физикогеографски особености. Пунктове 1 са разположени в издънкова дъбова гора с гъст подлес от Понтийски тип. Пунктове 2 са в устията на реките със значително обрастване от ограждаща и потопена растителност.

Стоящи води: езеро Лилов вир

Езерото Лилов вир е вътрешно-континентално карстово езеро с площ ок. 1,2 ха и средна дълбочина ок 1,30 м. То се намира край село Карлуково в Северна България (43°10'38" N, 24°4'43" E) в западния Предбалкан на 240 м. надморска височина. Подхранва се основно от пролетното снеготопене, събирайки водите от околните хълмове. Обичайно се напълва в периода април - май и пресъхва в началото или средата на месец август.

Алдомировско блато

Алдомировското блато е разположено в най-западната част на Софийската котловина (42°53'29" N, 23°00'10" E) в южната част на планината Три уши на надморска височина 651

м. Площта му е почти 130 ха. Истинската част, която събира и задържа вода, е над 10 пъти по-малка от цялата повърхност на блатото. Има карстов характер.

езеро Ариана

Езерото Ариана е изкуствено проточно езеро в долната част на Борисовата градина (42°41'22" N, 23°20'12" E) в град София, на надморска височина 550 м. Площта му е 1.3 ха. Намира се в центъра на града, край кръстовището при Орлов мост. Пълни се ежегодно в края на месец май или началото на юни и се източва през септември. Езерото е с бетонно дъно и стени. Има дълбочина ок. 80-90 см. Всяка пролет преди пълнене се почиства от насади и замърсявания.

Драгоманско блато

Драгоманското блато е голямо безотточно карстово блато, образувало се в западната част на Софийска област (42°56'16.2" N, 22°57'6.7" E), в басейна на р. Нишава, с надморска височина 704 м. Разположено е в подножието на карстовата планина Чепън и се простира на площ от около 400 ха. Захранва се от карстови извори, но в него постъпват и повърхностно течащи отпадни води, които се заустват в канал в източния край на блатото. За настоящото изследване е избран именно този канал, който задържа целогодишно вода, с идеята да представлява модел на почти постоянен водоем. Данните представени по долу за Драгоманското блато касаят единствено този, източен дренажен канал и нямат амбицията да описват съобществата в цялото блато.

Водни течения: Река Бутамята

Намира се в планината Странджа, в най-югоизточната част на България, на ок. 1 км. южно от село Синеморец. Има дължина ок. 6 км. През летният сезон (а често и през другите сезони) устието е запушено от пясъчна коса и контакта с морската вода се осъществява единствено през интерстициала. Течението е съвсем слабо, а през летния сезон напълно спира.

Река Силистар

Разположена е също в планината Странджа, на юг от р. Бутамята, на ок. 6 км. от село Синеморец. Има дължина ок. 9 км. Също както р. Бутамята, през летния сезон устието на реката се запушва и течението спира. ЗМ „Силистар“ е част от европейската екологична мрежа NATURA 2000.

V. МАТЕРИАЛ И МЕТОДИ

Събрани проби.

За целите на настоящото изследване са проведени множество теренни експедиции до изследваните обекти, като са събрани и анализирани общо 155 - 79 зоопланктонни и 76 макрозообентосни проби (Табл. 1.).

В 2012 г. пробите от ез. Лилов вир са събирани веднъж седмично. В 2012 г. от ез. Ариана е взета само една проба, а в 2013 г. – три. В останалите години пробите от стоящите води са събирани на всеки две седмици през изследвания ХП. От р. Бутамята и р. Силистар през 2013 г. са взети проби веднъж за ХП, а в останалите години – веднъж месечно за изследвания ХП. Продължителността на ХП на изследваните стоящи води в различните години е показана в Табл. 2.

Таблица 1. Схема на пробонабиранията за 2012-2016 год.. **Легенда:** МЗБ - макрозообентосни проби; ЗПЛ - зоопланктонни проби; ФХ - физ. и хим. измервания.

Водоем	2012 април - август	2013 април - август	2014 април - август	2015 април - август	2016 април - август
ез. Лилов вир	МЗБ+ЗПЛ+ФХ	МЗБ+ЗПЛ+ФХ	МЗБ+ЗПЛ+ФХ	МЗБ+ЗПЛ+ФХ	
Алдомировско блато			МЗБ+ЗПЛ+ФХ	МЗБ+ЗПЛ+ФХ	
ез. Ариана	ЗПЛ+ФХ	МЗБ+ЗПЛ+ФХ	МЗБ+ЗПЛ+ФХ	МЗБ+ЗПЛ+ФХ	
Драгоманско блато					МЗБ+ЗПЛ+ФХ
Поречие		2013 юли	2014 юни - август	2015 юни - август	
р. Бутамята пункт 1		МЗБ+ЗПЛ+ФХ	МЗБ+ЗПЛ+ФХ	МЗБ+ЗПЛ+ФХ	
р. Бутамята пункт 2		МЗБ+ЗПЛ+ФХ	МЗБ+ЗПЛ+ФХ	МЗБ+ЗПЛ+ФХ	
р. Силистар пункт 1		МЗБ+ЗПЛ+ФХ	МЗБ+ЗПЛ+ФХ	МЗБ+ЗПЛ+ФХ	
р. Силистар пункт 2		МЗБ+ЗПЛ+ФХ	МЗБ+ЗПЛ+ФХ	МЗБ+ЗПЛ+ФХ	

Таблица 2. Продължителност на ХП в изследваните езера и блатата.

Обект	Хидропериод (дни)
Лилов вир – 2012 г.	35
Лилов вир – 2013 г.	45
Лилов вир – 2014 г.	100
Лилов вир – 2015 г.	110
Алдомировско блато – 2014 г.	260
Алдомировско блато – 2015 г.	365
Езеро Ариана – 2012-2015	130
Драгоманско блато	365

Методи: Физични и химични анализи

Съгласно изискванията на РДВ 2000/60/ЕС (Чешмеджиев и Маринов, 2008) и Наредба Н4 за характеризиране на повърхностните води при полевите изследвания са измерени следните основни показатели:

- Температура на водата (C);
- Кислороден режим:
- количество разтворен кислород (mg/L),
- насищане с кислород (%);
- рН;
- Електропроводимост ($\mu\text{S}/\text{sm}^3$).

Измервана е дълбочина на водоемите в различни точки (m). Площта е измерена по Google maps (m^2), за да се получи приблизителен воден обем (m^3).

Измерванията на температурата, концентрацията на разтворения кислород, pH и електропроводимост са извършвани електрохимично *in situ* посредством многопараметричен уред **WTW Multi 1975i**.

За оценка на степента на засушаване за речните течения е определен индекс на засушаване на Мскее (SRI), показан в **Табл. 3**. Данните са предоставени от НИМХ.

Таблица 3. Индекс на засушаване (SRI) (НИМХ).

2.00 или повече	Изключително влажно
от 1.50 до 2.00	Много влажно
1.00 до 1.50	Умерено влажно
0 до 1.0	Леко влажно
0 до -1.00	Леко сухо
-1 до -1.50	Умерено сухо
-1.50 до -2.00	Тежко засушаване
-2.00 или по-малко	Изключително сухо

Биогени

Измервани са следните биогенните елементи: нитратен азот (N-NO_3), нитритен азот (N-NO_2), общ азот, общ фосфор, фосфати (P-PO_4) и амониев азот (NH_4). Концентрациите им са измервани фотометрично с фотометър WTW PhotoFlex според методиката за приложение на WTW.

Прозрачност: Прозрачността е измервана с диск на Secchi, SD (m).

Методи за пробонабиране и анализ на основните параметри на зоопланктонните съобщества

За събиране на материал е използвана конична качествена планктонна мрежа тип Apstein с диаметър 25 cm, от мелнично сито с големина на отворите 76 μm . Всички събрани проби са количествени. Пробонабирането е извършено чрез филтриране на обем от 100 l през мрежата. Пробите са консервирани в разтвор на 4% формалин. От четирите изследвани водоема са събрани общо 98 проби планктон и бентос в които са установени общо 107 таксона. От четирите пункта в двете реки са събрани общо 56 проби планктон и бентос в които са установени общо 87 таксона.

Лабораторна обработка на зоопланктонните материали

Работният обем е довеждан до 100 ml. Количествените параметри на зоопланктона са отчитани чрез изброяване на организмите в 10 ml, в камера на Богоров, при увеличение 16x на стерео-микроскоп МБС-9. Останалият обем е преглеждан за допълнително определяне на качествения състав. При някои проби са изброявани организмите в целия (100 ml) обем на пробата. За родова и видова детерминация е използван сложен микроскоп Olympus BX5. Получените стойности са привеждани към $\text{инд}/\text{m}^3$, за да се получи относителното обилие на таксоните.

Таксономична детерминация на зоопланктона

Направена е по Кутикова и Старобогатов (1977) и Bledzki и Rybak (2005). Обработката на зоопланктонните проби и детерминацията на таксоните е извършена от автора и от д-р

Стефан Казаков. Таксономичният статус е взиман от таксономичните бази данни Fauna eugoraea ver. 2.5, ITIS, WoRMS.

Таксономичен състав, обилие и разпространение на зоопланктона

Определяни са следните характеристики: таксономичен състав, общ брой таксони; брой основни групи в състава на зоопланктона. Изчислено е относителното обилие (инд./м^3) на основните таксономични групи и видовете.

Методи за пробонабиране и анализ на основните параметри на макрозообентосните общества.

Макрозообентосните проби са набирани по мултихабитатен метод, широко използван в хидробиологичните изследвания в цяла Европа (ISO- 7828- 1985). Събирани са по методика на Cheshmedjiev et al. (2011). Пробите са консервирани на терен с 4% разтвор на формалин.

Лабораторна обработка на макрозообентосните материали

Включва: сортиране на макрозообентосните проби, разделяне на основни таксономични групи и таксономична детерминация.

Таксономична детерминация на макрозообентоса

Извършена е по Хейсин (1962); Кутикова и Старобогатов (1977); Узунов и кол. (2010). Съвременният систематичен статус на МЗБ е съобразен с Taxonomic Hierarchy ver. 4.1.

Таксономичен състав, обилие и разпространение на макрозообентоса

Определяни са: таксономичен състав, общ брой таксони; брой основни групи в състава на МЗБ. Изчислено е относителното обилие (инд./м^2) на основните таксономични групи и видовете.

Трофична характеристика на съобществата

Принадлежността на установените таксони в състава на съобществата към функционална трофична група (ФТГ) е определяна по Cummins (1973) и Cummins & Klug (1979). Определени са следните функционални трофични групи: дробящи/shredders (SH), стържещи/scrapers (SC), берящи/collectors gatherers (CG), филтриращи/collectors filterers (FL/CL), детритофаги/deposit feeders (DF), хищници/predators (PR).

Статистическа обработка на данните.

Предварителна обработка на данните

Абиотичните данни са нормализирани, а биотичните ($\log+x$) преобразувани като част от стандартните статистически операции.

Едновариантни статистически методи

Индекси за оценка на структурата на съобществата: **Индекс за общо видово богатство (d)** (Margalef, 1958); **Индекс за видово разнообразие на съобществото (H)** (Shannon & Weaver, 1963); **Индекс за изравненост на съобществото (e)** (Pielou, 1966); **Индекс на доминиране (c)** (Simpson, 1949).

К-доминантни криви на числеността (Lambshead et al, 1983). Графично изображение на класификацията на таксоните по намаляване на числеността им в съотношение с общата численост. К-криви (ABC abundance-biomass) на числеността и биомасата (Warwick, 1986). **Геометрични криви на числеността** (Gray and Pearson, 1982). Графично изображение на броя на таксоните, представени с различна численост. Тълкуването се основава на факта, че при обекти без стрес (или със сравнително по-слаб стрес) е по-голям броя на малочислените таксони. При наличие на значителен стрес се наблюдава един или няколко таксона с много висока численост.

Многовариантни статистически методи:

Анализ на сходствата (analysis of similarities)

Функцията ANOSIM на PRIMER v6. е използвана за проверка на нулеви хипотези и установяване на статистическа им достоверност.

Класификационни (Клъстерни) анализи

Основани на специфични коефициенти за сходство, използвани за различните категории данни: за сходство на качествени данни за зообентоса – Sørensen; за качествени данни зоопланктон – Jaccard; за количествени данни – Bray Curtis; за сходство между стойностите на абиотични фактори Euclidean distance.

Йерархични (Hierarchical)

UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean) клъстерни анализи по посочените сходства в режим на пълно свързване (complete linkage) са извършени с PRIMER v6. Статистическите анализи са извършени в съответствие с методите, посочени в ръководството за PRIMER v6 (Clarke & Warwick, 2001).

Ординационни анализи

Стандартизиран ординационен анализ на главните компоненти (PCA) (Chatfield & Collins, 1980; Ter Braak & all, 1995; McGarigal et al, 2000) – осъществен е с PAST 4.03 по стандартния алгоритъм за работа със софтуера.

Неметрично многоизмерно мащабиране (MDS) (Kruskal & Wish, 1978) – с PRIMER v6.

Директен многофакторен анализ

Каноничен кореспондентен анализ CCA (Ter Braak, C.J.F., 1986) – с PAST 4.03.

Други подходи.

Моделиране на трофичните мрежи.

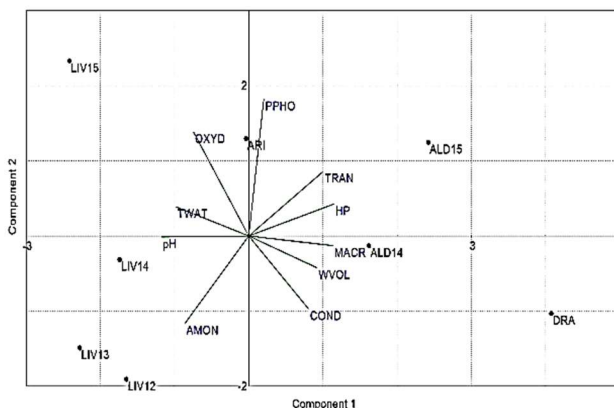
Качественото моделиране на трофичните вериги и мрежи е осъществено с интернет базирания софтуер за Loop Analysis – PowerPlay на Орегонския щатски университет (OSU).

VI. РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

Стоящи води: Физични, химични и хидроморфологични параметри на средата.

Хидрохимичните параметри и концентрациите на биогените са по-стабилни при водоемните с по-дълги ХП и по-голям воден обем. Намаляването на водния обем с напредването на ХП увеличава инсолацията, което повлиява на първичното производство и в комбинация с предизвиканото от вятъра аериране променя концентрациите на разтворените във водата газове. В ез. Лилов вир наблюдаваме изключително променливи стойности както на биогените, така и на другите физико-химични параметри, докато при другите изследвани басейни се наблюдават значително по-стабилни стойности. При сезонните басейни (ез. Лилов вир) се наблюдават два пика в концентрациите на разтворените в-ва, докато при почти постоянните басейни няма ясно изразена такава зависимост. Тези пикове се дължат на процесите на оводняване и пресъхване. Наблюдават се относително високи нива на хранителни вещества в началото на хидратацията с първоначалното им освобождаване на хранителни вещества от минерализацията на мъртва тъкан, натрупана по време на сухата фаза. Така се формира първият пик, който при много къс ХП може да е единствен. С напредването на ХП почвата абсорбира част от утаените хранителни вещества, но изпарението на водата, което води до концентрация на хранителни вещества, поддържа техните нива относително постоянни. В края на ХП концентрациите отново са високи и наблюдаваме втори, по-голям пик, тъй като почвата е пренаситена, изпарението е високо и обемът на водата значително намалява.

Резултатите от анализа на главните компоненти (PCA) са представени като корелационна би-плот диаграма на **Фигура 1**. Първата главна ос съпоставя сезонните и почти постоянните водни тела.



Фиг. 1. Анализ на главните компоненти (PCA) – корелационен би-плот на факторите на средата измерени във всички стоящи водни обекти през периода на изследване. **Легенда:** TRAN - прозрачност [m, Secchi]; TWAT - температура на водата [°C], OXYD - разтворен кислород [mg/l]; pH – активна реакция; MACR – относително покритие с макрофити; HP – хидропериод; WVOL – воден обем; концентрации на NITRI - нитритен азот [mg/l], PPFO - фосфатен фосфор [mg/l], AMON – амоний [mg/l]; TP – общ фосфор [mg/l]. Първите два главни компонента обясняват сумарно 82,24 % от общата вариация и обхващат ефективно тенденциите в изменението на параметрите на средата.

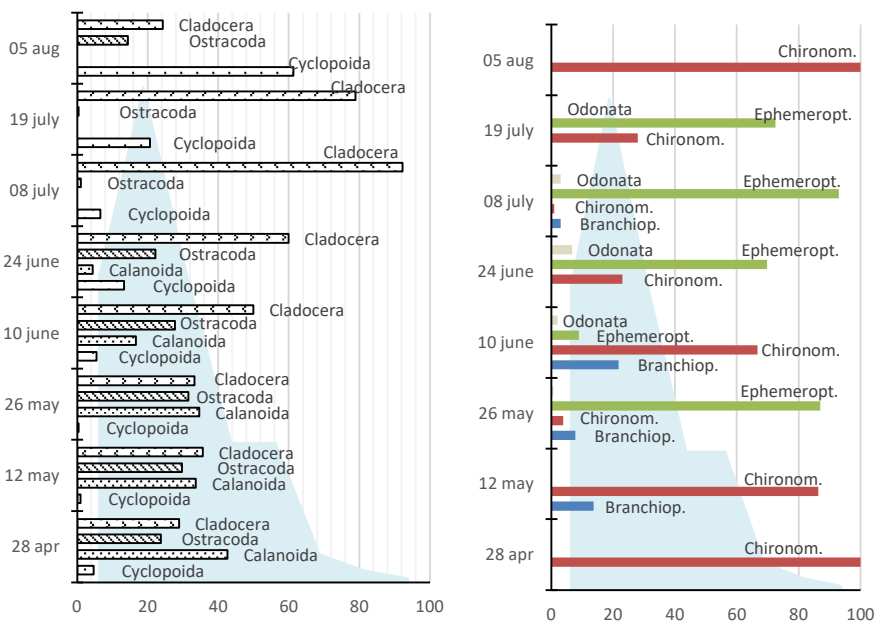
В дясната част на ординационната диаграма, попадат Алдомировското и Драгоманското блато и на тях съответстват висока прозрачност, дълъг ХП, голям воден обем и значително обрастване с макрофити.

В лявата част на диаграмата, попадат и четирите изследвани ХП на езерото Лилов вир, които се характеризират с високи температури, относително висока активна реакция и висока концентрация на амониев азот. Езерото Ариана (стойностите са усреднени за трите изследвани години) се разполага по средата между двете групи, като не съвсем типично сезонно водно тяло. То, макар и с кратък, типично сезонен ХП, не показва сериозна динамика в концентрациите на разтворените вещества. Това се дължи на постоянния воден обем на езерото, който се поддържа изкуствено чрез проточността.

Динамиката на изменението на водния обем и продължителността на ХП са съществени фактори, определящи стабилността на абиотичната среда във временно пресъхващи водоеми.

Състав и структура на съобществата в изследваните стоящи водни обекти

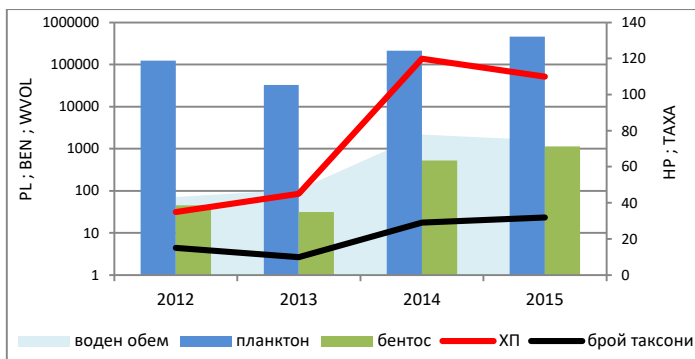
Заселването на пресъхващите водоеми (ез. Лилов вир) протича в няколко форми: възстановяване чрез зрели индивиди, прекарали сушата в близки, алтернативни местообитания; излюпване на яйца преживели засушаването или излизане от етапи на покой и нова колонизация на видове. Това може да доведе до съществени различия във времето на появяване на различните групи организми, което създава силна сезонна последователност (Фиг 2.).



Фиг. 2. Последователност на заселване и относителен дял на числеността на отделните таксони на зоопланктонното (ляво) и бентосното (дясно) съобщества в езерото Лилов вир през 2015 г.

Легенда: WVOL – воден обем (m³).

Тя е характерна за фауната на временните водоеми. От тази гледна точка на поредността на структуриране на съобществото във временните водоеми, може да се разграничат няколко групи хидробионти: първо, това са животни, които могат да бъдат намерени по време на почти цялата водна фаза на езерото и които притежават възможности за преживяване на сухия период. Те се появяват веднага след напълването на езерото. Това са някои олигохети, някои копепода, както и хириномиди. Също и някои кладоцери предимно от родовете *Daphnia*, *Moina* и *Scapholeberis*. В случаите когато ХП е екстремно къс, както е при Лилев вир 2012 и 2013 г. се развиват почти само циклопоидните копепода и хириномидите. Следващата група включва таксоните, развиващи се в рамките на седмица или две след като езерото се запълни през пролетта. Тези видове успяват да завършват жизнените си цикли преди езерото да пресъхне. Това са остракоди, кладоцери, харпактикоиди, хириномиди и някои хетероптери. Третата група включва таксони, появили се 4-5 седмици след образуване на езерото: водни кончета, водни бръмбари (род *Dytiscus*), като някои от последните се появяват само като възрастни при търсене на храна и не се размножават в конкретното езеро. Четвъртата група са таксони, които се появяват в последните седмици преди да пресъхне езерото, приблизително 10 седмици след напълването. Това са някои водни бръмбари (род *Poecilus*, *Gyrinus*, *Haliphus*) и едnodневки (род *Cloeon*). За последните две групи (особено за хищниците) е необходимо ХП на езерото да е поне 100 дни. Това предполага, че богатството на видовете и обилието от хищни безгръбначни се увеличава с увеличаване на ХП. Наблюдава се най-добре в ез. Лилев вир - с увеличаване на продължителността на ХП и водния обем се увеличават численостите на зоопланктона и МЗБ и броя на таксоните (Фиг.3).

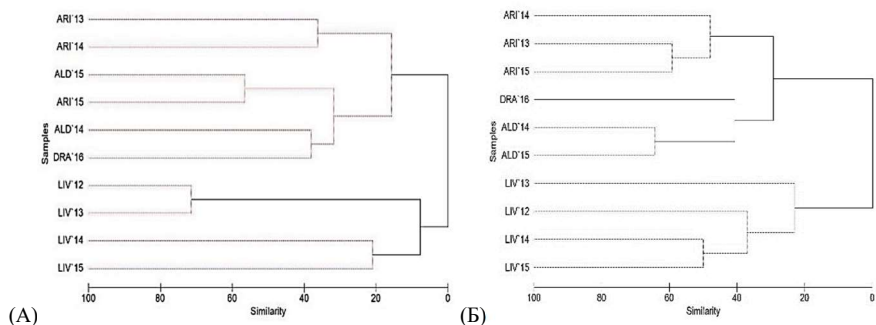


Фиг. 3. Численост на планктона и бентоса в Лилев вир (2012-2015г.) и брой таксони спрямо ХП и водния обем (WVOL) ($\log_{10}$).

Таксономичните сходства между зоопланктонните и МЗБ съобщества в изследваните водни тела разграничават ясно две групи водни тела с нулево сходство – ез. Лилев вир и останалите (Фиг. 4. А, Б).

В състава на зоопланктонните съобщества в изследваните езера и блатата са регистрирани 4 трофични групи: омнифаги (Omni), фитопланктонофаги (Phpv), детритофаги (DF) и хищници (PR).

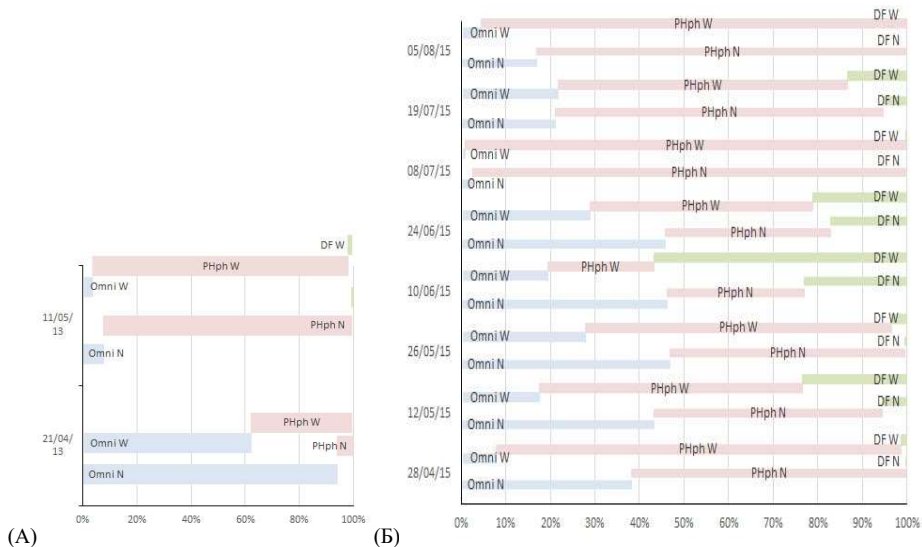
Езерото Ариана показва по-високо таксономично сходство с Алдомировското и Драгоманското блатата - 29%, отколкото с Лилев вир (0%).



Фиг. 4. Дендрограма на клъстерен анализ на таксономичното сходство на зоопланктона по Jaccard (А) и на МЗБ по Sørensen (Б) в изследваните езера и блата. (Complete linkage - режим на клъстериране).

Трофични отношения. Трофична структура.

В нито едно от изследваните езера не се наблюдава пълна трофична структура, тъй като всичките са повлияни по един или друг начин от нерегулярния режим на оводняване и това се отразява на структурата и функционалността на сообществата в тях (Фиг.5. А, Б).

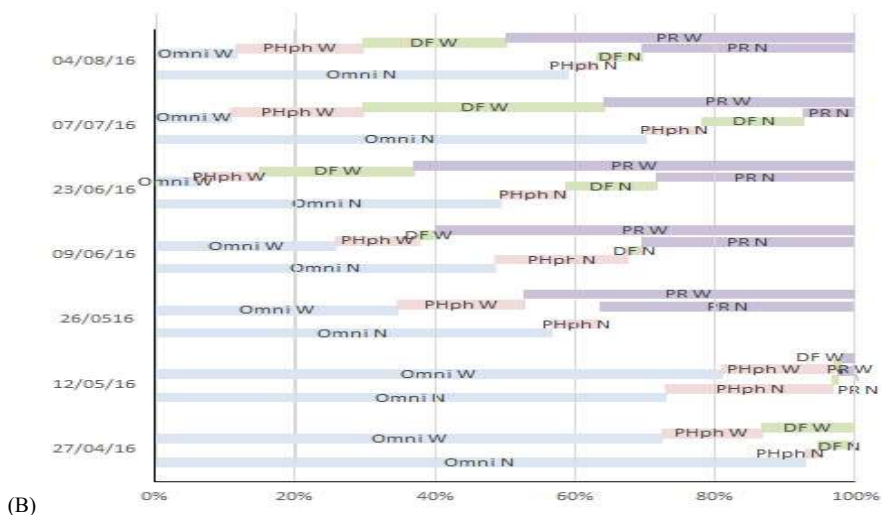


Фиг. 5. Процентни съотношения на численостите и биомасите на отделните трофични групи в състава на зоопланктона в Лиллов вир през (А) 2012 г., (Б) 2015 г. и (В) Драгоманско блато.

Легенда: Omni (всеядни); PHph (фитопланктонофаги); DF (детритофаги); N – численост; W – биомаса.

В Драгоманското блато се наблюдават най голям брой ФТГ, тъй като то е с най-постоянен воден режим в сравнение с останалите езера (Фиг.5. В).

Лилов вир е типично сезонно езеро и се откроява от останалите с по-семплите си като състав и отношения съобщества, очевидно повлияни от крайно тежкия за тях режим на дългосрочно пресъхване и краткотрайно оводняване.



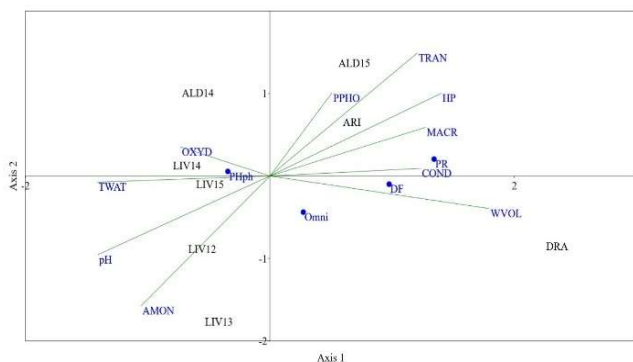
Фиг. 5. Процентни съотношения на численостите и биомасите на m^3 на отделните трофични групи в състава на зоопланктона в Лилов вир през (А) 2012 г., (Б) 2015 г. и (В) Драгоманско блато.

Легенда: Omni (всеядни); PHph (фитопланктонофаги); DF (детритофаги); N – численост; W – биомаса.

Ординационната диаграма на каноничният кореспондентен анализ (ССА) разделя по вертикала водните тела на две групи – такива с променлив и с непроменлив ХП (Фиг. 6.). Езерата в лявата част на диаграмата са със сравнително къси ХП, малки водни обеми, високи температури и високо съдържание на азотни форми (сз. Лилов вир и Алдомировското блато от 2014 г.). За езерата в тази група е характерен висок дял на биомасата на фитопланктоноядните в състава на зоопланктона. Липсата на значима хищническа преса улеснява бурното им развитие.

В дясната част на диаграмата са обекти с постоянен ХП, слабо или неизменен воден обем, висока прозрачност и значително обрастване с макрофити (Драгоманското и Алдомировското от 2015 г. блатата). Това дава възможност за развитие на хищници, а макрофитите, значителните дънни наслаги и по-голямата прозрачност благоприятстват и развитието на детритофагите.

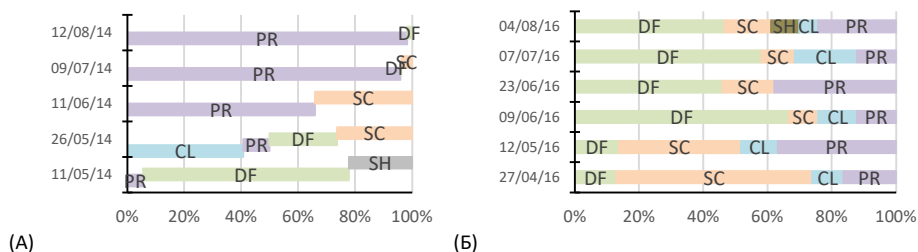
Езерото Ариана се позиционира също в дясната част на диаграмата, благодарение на изкуственото поддържане на постоянен воден обем. Имайки предвид, че всяка година заселването на езерото Ариана стартира „на чисто“, може да допуснем, че хидробионтите, които мигрират към него нямат „усещане“ за сезонността на езерото. И те формират съобщество по-скоро характерно за езеро с непрекъснат хидрологичен режим.



Фиг. 6. Ординационна диаграма (CCA), показваща връзката между процентната биомаса на трофичните групи в състава на зоопланктонните съобщества, факторите на средата и пунктовете. Легенда: OMNI – омнифаги; DF – детритофаги; PHph – фитофаги; PR – хищници; : TRAN - прозрачност [m]; TWAT - температура на водата [°C], OXYD - разтворен кислород [mg/l]; pH – активна реакция; COND – електропроводимост [$\mu\text{S}/\text{sm}^3$]; MACR – относително покритие с макрофити; HP – хидропериод; WVOL – воден обем [m^3]; концентрации на PPHO - фосфатен фосфор [mg/l], AMON – амониен азот [mg/l]. Първите две оси на анализа обхващат 95.81% от вариацията на претеглените средни на трофичните групи по отношение на променливите на средата.

В състава на МЗБ съобщества в изследваните езера и блата са регистрирани 5 трофични групи: филтриращи/ collectors (CL), стържещи/ scrapers (SC), дробящи/ shredders (SH), детритофаги/ deposit feeders (DF), хищници/ predators (PR).

В късите ХП на Лилев вир се намират само единични бройки макрозообентосни хидробионти. При по-дългите ХП имат по-значителна колонизация от хищници, основно представители от разредите Odonata и Ephemeroptera и подразред Heteroptera. (Фиг. 7. А.). В Драгоманското блато групите са доста по-балансирано представени (Фиг. 7. Б.) Почти 100-процентното обрастване в блатото и голямото количество ГНОМ и ФНОМ благоприятстват стържещите и дробящите, а огромното количество депонирана органика предполага значителен дял на детритофагите.



Фиг. 7. Процентни съотношения на числеността на m^2 на отделните ФТГ в състава на МЗБ в Лилев вир 2014 г. и Драгоманското блато. **Легенда:** CL - колектори; SC – стържещи; SH – дробящи; DF – детритофаги; PR – хищници.

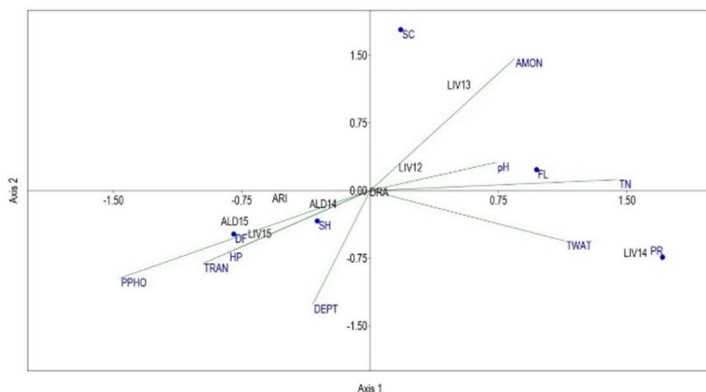
При временни водоеми, където сухата фаза заема съществена част от съществуването на басейна, голямо значение има сухоземния хабитат. Неговото минерализиране и включване

в хранителния цикъл предполага доминирането на детритофаги, а филтриращите и дробящите бентобионти са благоприятствани от ФНОМ и ГНОМ съответно.

Най-значимите фактори на средата и корелацията им с относителния дял на числеността на трофичните групи в състава на МЗБ съобщество е показана на ординационната диаграма на каноничния кореспондентен анализ (Фиг. 8.).

Първата ос е свързана в по-голяма степен с фосфатния фосфор, прозрачността, ХП и дълбочината. В тези МЗБ съобщества, в лявата част на диаграмата, са добре представени детритофагите и дробящите. Присъствието на ез. Лилков вир от 2015 г. тук заедно с Алдомировското блато и езерото Ариана е в резултат на наличието на два поредни продължителни ХП (в 2014 г. и 2015 г.), което заедно с разграждането на остатъците от сухоземната ценоза, дава възможност за натрупване на детрит.

В дясната част на диаграмата са късите ХП на Лилков вир, както и първият дълъг след дълго засушаване (между 21 май 2013 г. и 11 май 2014 г.) ХП. При тях МЗБ съобщество е формирано основно от филтратори, стържещи и колонизиращи хищници. През тези ХП почти липсват дънни наслаги, дъното е каменисто, остатъка от сухоземната ценоза – треви и тръни не е имала време да се разгради поради краткия ХП.



Фиг. 8. Ординационна диаграма (CCA), показваща връзката между относителния дял на числеността на отделните трофични групи в състава на макрозообентосните съобщества, факторите на средата и пунктовете. **Легенда:** SH – дробящи; SC – стържещи; DF – детритофаги; PR – хищници; TWAT – температура на водата [°C]; TRAN – прозрачност [m]; pH – активна реакция; DEPT – дълбочина на басейна [m]; HP – хидропериод; концентрации на TN – общ азот [mg/l]; PPHO – фосфатен фосфор [mg/l], AMON – амониев азот [mg/l]. Първите две оси на анализа сумарно обхващат 97.59% от вариацията на претеглените средни на трофичните групи по отношение на променливите на средата.

По хоризонтала, втората ос, разделя басейните на такива със сравнително добре развита структура на МЗБ и такива с непълна, представена от отделни групи структура. Поради стреса от непостоянния хидрологичен режим, който търпят езерата в повечето от изследваните ХП, може да се каже, че нито едно от тях няма пълна, добре развита и балансирана структура на МЗБ съобщества. Но в сравнителен аспект кратките ХП на ез. Лилков вир (от горната страна) се открояват, като такива с особено слабо развита и непълна структура на МЗБ съобщества. Драгоманското блато (дренажния канал, който е предмет на изследването) е представено с най-пълна и добре балансирана структура на МЗБ съобщество, но то е подложено на антропогенен стрес от зауставането на отпадните води на селището в него. Това се отразява на пълнотата на структурата на МЗБ съобщество.

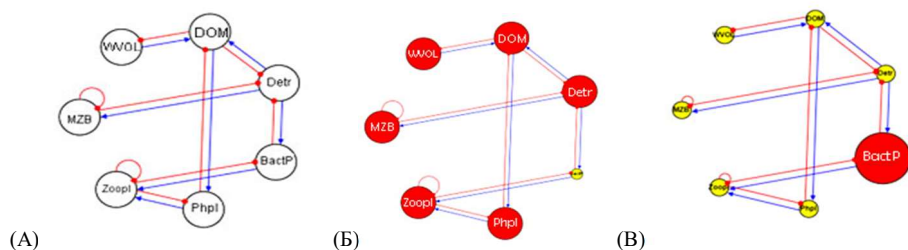
Трофични вериги в стоящи води.

Интересно би било да се сравни как се променя структурата на хранителните мрежи по градиента на устойчивост на водното тяло. Според Schneider (1997) хранителните мрежи показват сложна връзка с променливостта на местообитанията, като връзката е най-висока при краткотрайни, силно променливи местообитания и най-ниска при местообитания, които са междинни по продължителност и променливост. Освен това, броят на връзките в трофичната мрежа се увеличават с увеличаване на продължителността на съществуване на басейна.

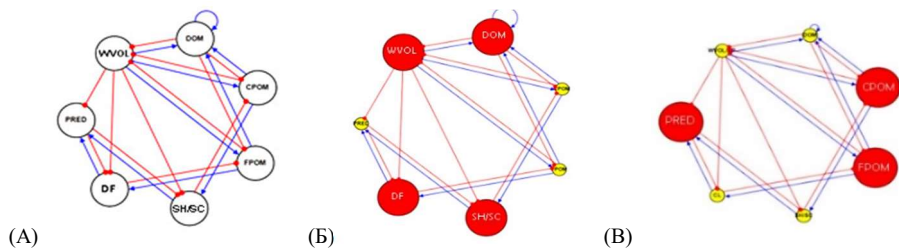
Моделираните основни трофични вериги в стоящи води представени по-долу се състоят от 5 основни звена – детрит (Detr); бактериопланктон (BactP); фитопланктон (Phpl); зоопланктон (Zoopl) и макрозообентос (MZB). При Алдомировското и Драгоманското блато се включва и звеното Макрофити (Macroph), а при Драгоманското и звеното риби (Pisc). За опростяване на модела, бактериопланктона е посочен като хранителен ресурс за дребно размерните групи от състава на зоопланктона. Допълнително се включва звеното Воден обем (WVOL), с изключение на езерото Ариана и Драгоманското блато, като значим фактор, влияещ върху формирането на хранителните вериги. Звеното, разтворени органични вещества DOM, може да се разглежда не само като естествен елемент, а и като резултат от алохотонен вток на биогени. Моделираните трофични вериги показват предвижданията за промяна в тежестта на факторите при смущения във функционирането, свързано с натиск върху екосистемата.

Лилов вир. Засилената динамика на водния обем в ез. Лилов вир се отразяват негативно на почти всички групи организми с изкл. на бактериопланктона. Моделираната основна трофична верига в стоящи води е представена на Фиг. 9. Представени са две основни трофични нива – продуценти: фитопланктон и консументи от първи ред: зоопланктон и МЗБ. Ключова роля има зоопланктона от гледна точка на броя връзки с други елементи от веригата. Кратките ХП и засилената динамика на водния обем не предоставят добри условия за разгръщане на трофичната верига в бентала - разчита се основно на колонизиране от съседни водоеми (Фиг. 10.).

Според критериите за стабилност на Ruth-Hurwitz ако коефициентите на характеристичния полином, на базата на които се получават моделираните трофични вериги, са положителни, системата е стабилна. Пелагиала на ез. Лилов вир отговаря на критериите за *стабилна* система ($\alpha > 0$), докато в бентала системата е *нестабилна* ($\alpha < 0$).

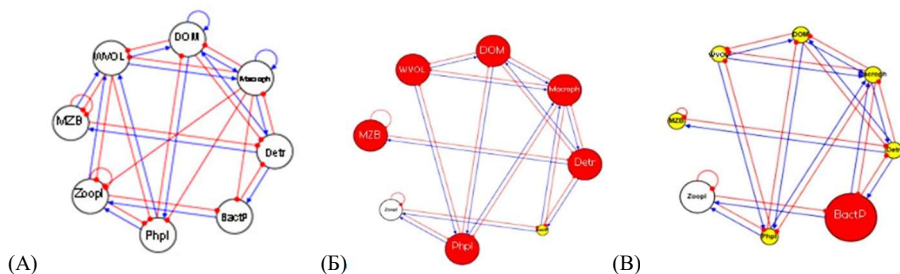


Фиг. 9. Основна трофична верига в ез. Лилов вир (А). Сценарии за промяна на основната трофична верига при позитивен (Б) и (В) негативен импакт на фактора воден обем (WVOL). **Легенда:** DOM /Разтворена органична материя/; Detr /Детрит/; BactP /Бактериопланктон/; Phpl /Фитопланктон/; Zoopl /Зоопланктон/; MZB /Макрозообентос/.



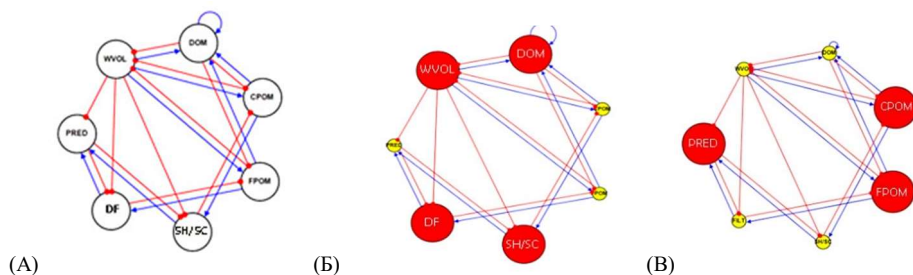
Фиг. 10. Основна трофична верига в бентала на ез. Лилов вир (А). Сценарии за промяна на основната трофична верига в бентала при позитивен (Б) и негативен (В) импакт на фактора воден обем. **Легенда:** WVOL /воден обем/; DOM /Разтворена органична материя/; CPOM /Грубонаделена органична материя/; FPOM /Финонаделена органична материя/; SH/SC /Дробящи/Стържещи/; DF /Детритофаги/; PRED /Хищници/.

Алдомировско блато. В Алдомировското блато трофичната верига притежава повече голям брой връзки между отделните елементи (Фиг. 11.). Тук значима роля играе фитопланктонът, като първичен продуцент, но тази роля се изнемва в голяма степен от макрофитите, обхващащи по-голямата част от блатото. При по-висок воден обем макрофитите заемат повече от 80% от обема на блатото и потискат развитието на фитопланктона, засенчвайки го. При намаляване на водния обем и при засушаването на блатото те изсъхват, отмират и играят значителна роля за формирането на детритния слой. Стабилността на системата тук е нееднозначна ($\alpha=0$), т.е. чувствителността на съобществото е завишена и сравнително малко въздействие би могло да тласне системата в едната или в другата посока.



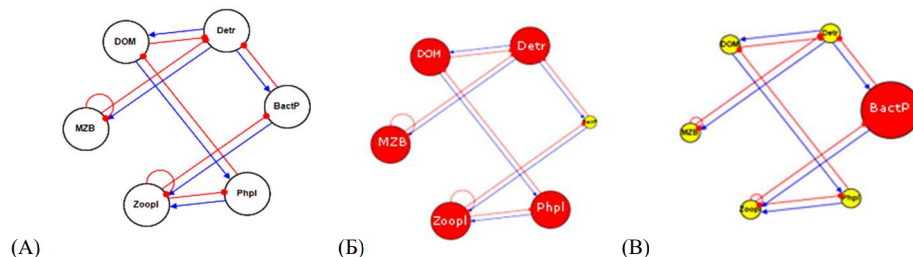
Фиг. 11. Основна трофична верига в Алдомировско блато (А). Сценарии за промяна на основната трофична верига при позитивен (Б) и негативен (В) импакт на фактора воден обем. **Легенда:** WVOL /воден обем/; DOM /Разтворена органична материя/; Macropl /Макрофити/; Detr /Детрит/; BactP /Бактериопланктон/; Phpl /Фитопланктон/; Zoopl /Зоопланктон/; MZB /Макрозообентос/.

В бентала на Алдомировското блато, отново, както и в Лилов вир, имаме непълна трофична структура с доминация на детритофагите (Фиг. 12.). Стържещите и дробящите са най добре застъпени с оглед значителното покритие от макрофити в блатото. Има повече връзки и по-голяма свързаност между компонентите, но системата е *нестабилна* ($\alpha<0$).



Фиг. 12. Основна трофична верига в бентала на Алдомировско блато (А). Сценарии за промяна на основната трофична верига в бентала при позитивен (Б) и негативен (В) импакт на фактора воден обем. **Легенда:** WVOL /воден обем/; DOM /Разтворена органична материя/; CPOM /Грубонаделена органична материя/; FPOM /Финонаделена органична материя/; SH/SC /Дробящи/Стържещи/; DF /Детритофаги/; PRED /Хищници/.

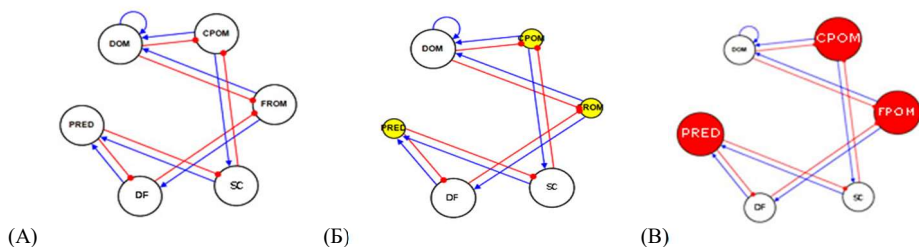
Езеро Ариана. В ез. Ариана няма промяна на водния обем, който се поддържа чрез проточността на езерото. Тук влияние върху развитието на съобществата може да имат разтворените органични вещества, постъпващи с втока, листния опад и колонизацията. В този смисъл показаните по-долу модели могат да се считат за прогнозни (Фиг 13.).



Фиг. 13. Основна трофична верига в ез. Ариана (А). Сценарии за промяна на основната трофична верига при позитивен (Б) и негативен (В) импакт на DOM. **Легенда:** DOM /Разтворена органична материя/; Detr /Детрит/; BactP /Бактериопланктон/; Phpl /Фитопланктон/; Zoopl /Зоопланктон/; MZB /Макрозообентос/.

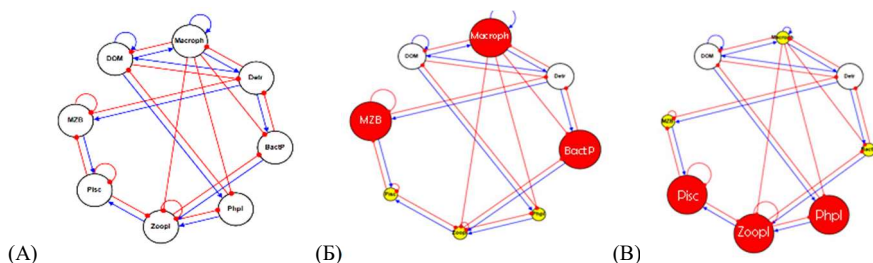
Поради абсолютната липса на дънни наслаги, бентосното съобщество не успява да изгради функционална трофична верига, поради което и тук, както в Лилов вир, екосистемата функционира основно в пелагиала и съответно планктона има водеща роля за продукцията на екосистемата. Това потвърждава и модела на трофичната верига в пелагиала, който показва че системата е *стабилна* ($a > 0$).

В бентала трофичната верига е много семпла и непълна (Фиг. 14.). Тя се формира изцяло от колонизиращи хидробионти, от околната на езерото среда. Системата на бентала е *нестабилна* ($a < 0$).



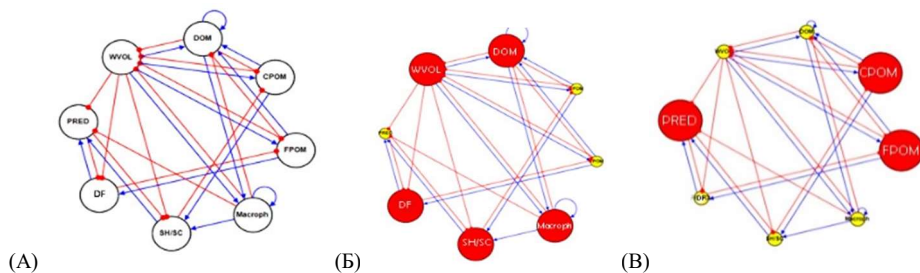
Фиг. 14. Основна трофична верига в бентала на ез. Ариана (А). Сценарии за промяна на основната трофична верига в бентала при позитивен (Б) и негативен (В) импакт на DOM. **Легенда:** DOM /Разтворена органична материя/; CPOM /Грубонаделена органична материя/; FPOM /Финонаделена органична материя/; SC /Стържеци/; DF /Детритофаги/; PRED /Хищници/.

Драгоманско блато. В Драгоманското блато се наблюдава малко по-пълна и балансирана картина на трофичните връзки (Фиг 15.). Подобно на Алдомировското блато има по-голяма свързаност – повече връзки между отделните компоненти на системата.



Фиг. 15. Основна трофична верига в Драгоманско блато (А). Сценарии за промяна на основната трофична верига при позитивен (Б) и негативен (В) импакт на макрофитите. **Легенда:** DOM /Разтворена органична материя/; Macropl /Макрофити/; Detr /Детрит/; BactP /Бактериопланктон/; Phpl /Фитопланктон/; Zoopl /Зоопланктон/; Pisc /Риби/; MZB /Макрозообентос/.

Предвид почти пълното му обрастване с макрофити, те се явяват основен продуцент в системата. Представените модели с позитивен и негативен импакт на макрофитите, показват прогноза при цъфтеж, предизвикан вероятно от антропогенния вток на органика. Трофичните вериги в зоопланктонното съобщество не се развиват пълноценно. Пълното покритие с водна леща (*Lemna* sp.) в края на ХП, води до изчерпване на кислорода, тотално засенчване на фитопланктона и слабо развитие на трофичните вериги в пелагиала. Системата е *нестабилна* ($\alpha < 0$). Зоопланктонното съобщество играе по-незначителна роля, за сметка на бентосното. В бентала трофичната верига е усложнена в сравнение с останалите изследвани езера (Фиг. 16.). Тук водеща е детритната хранителна верига. Драгоманското блато предоставя стабилни хидроложки, но антропогенния натиск и летните цъфтежи повлияват трофичната структура на МЗБ, тя също е непълна и системата е *нестабилна* ($\alpha < 0$).



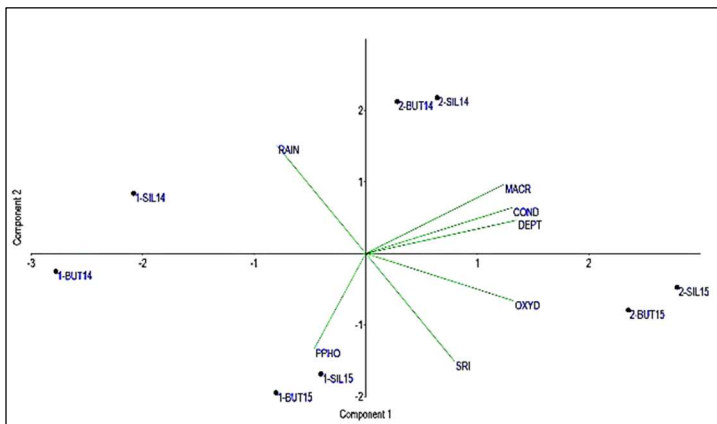
Фиг. 16. Основна трофична верига в бентала на Драгоманско блато (А). Сценарии за промяна на основната трофична верига в бентала при позитивен (Б) и негативен (В) импакт на макрофитите.
Легенда: DOM /Разтворена органична материя/; CPOM /Грубонаделена органична материя/; FPOM /Финонаделена органична материя/; Macrof. /Макрофити/; SH /Дробящи/; DF /Детритофаги/; PRED /Хищници/.

Ако проследим структурата на хранителните мрежи по градиента на продължителността на местообитанията във временни езера, ще видим, че в представените модели ясно се откроява повишаването на сложността на трофичните мрежи и увеличаването на броя на връзките в мрежата с увеличаване на ХП и водния обем на басейна. Трофичните вериги са по-къси, а свързаността намалява с увеличаване на неустойчивостта на басейна. Виждаме обаче, че слабата свързаност и по-малкият брой връзки в една система (ез. Лилев вир) не водят задължително до нестабилност на системата. Напротив, наличието на по-малък брой таксони със слаба свързаност помежду им създава стабилно съобщество, използвайки максимално лимитираните условия на пресъхващите водоеми. Късите ХП не създават добри възможности за развитие на хищници, които са с по-дълъг цикъл на развитие. Това води до съществено намаляване на хищническия натиск и съответно отслабване на влиянието на биотичните отношения при структуриране на съобществото. В такива басейни, като Лилев вир, съобществата ще бъдат контролирани основно от физичните фактори (изменения във водния обем, продължителност на ХП и засушаване). Видовете ще бъдат адаптирани към пресъхване на басейна, с бързо развитие и жизнен цикъл включващи устойчиви на засушаване стадии. При басейни с по-дълъг ХП и по-постоянен воден обем, като блатата Алдомировско и Драгоманско, съобществата ще са по-богати на видове, с по-добре развити биотични отношения (хищничество и конкуренция) и ще бъдат преди всичко биотично контролирани.

Речни течения: Физични, химични и хидроморфологични параметри на средата

Анализът на главните компоненти (PCA) е представен на би-плот диаграмата на Фиг.17. Първата главна ос е свързана с високо относително покритие с макрофити, по-голяма дълбочина, кислородно съдържание и проводимост, а също така и с индекса на засушаване (SRI). От друга страна тази ос е свързана с количеството валежи за пролетно-летния сезон и концентрацията на фосфатния фосфор. По тази ос се съпоставят двата типа пунктове – отядно устийните, отляво – горските. Вторите са с по-малка дълбочина и при недостатъчно валежи течението лесно се накъсва и спира, а в някои участъци може да се стигне до пълно пресъхване.

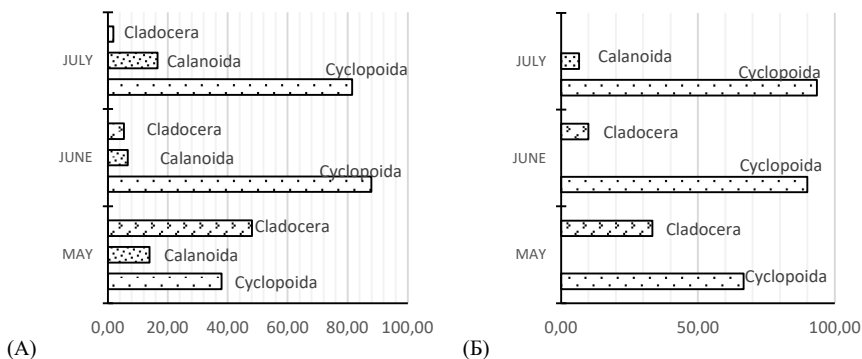
По хоризонтала пунктовете се разделят по години – 2014 г. срещу 2015 г. Това разделяне има връзка с количеството валежи което в периода април – юли, 2014 г. е 249 l/m², а в 2015 г. е 67 l/m².



Фиг. 17. Анализ на главните компоненти (PCA) – корелационен биplot на факторите на средата измерени в четирите пункта на изследваните речни течения през периода на изследване. **Легенда:** RAIN – количество валежи [l/m²]; MACR – относително покритие с макрофити; COND – електропроводимост [μS/cm]; DEPT – дълбочина [m]; концентрации на OXYD - разтворен кислород [mg/l], PPHO - фосфатен фосфор [mg/l]; SRI – индекс на засушаване. Първите два компонента обясняват сумарно 90,20% от общата вариация и ефективно обхващат тенденциите в изменението на параметрите на средата.

Състав и структура на съобществата в изследваните водни течения.

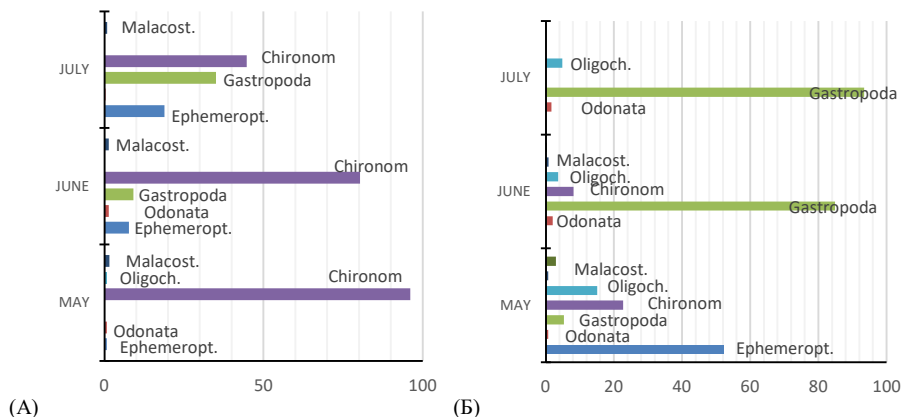
Зоопланктонните съобщества и в двете реки са представени основно от копеподи и кладоцери (Фиг. 19 А, Б).



Фиг. 19. Последователност в появата и относителен дял на числеността на отделните таксони на зоопланктонните съобщества в изследваните реки през 2015 г. **Легенда:** (А) р. Бутамята; (Б) р. Силистар

Срещат се и единични екземпляри харпактикоиди в устията. В горските пунктове са установени по-голям брой таксони отколкото в устията, но като цяло, за реките броя е еднакъв.

В МЗБ съобщества основни представители са хириномидите и охлювите (в р. Силистар) (Фиг. 20, А Б). Срещат се и водни кончета, както и някои полихети (р. *Hediste*, р. *Neanthes*) и миди (р. *Dreissena*). В горските пунктове броя на таксоните е значително по-голям от този в устията. Като цяло броя на таксоните МЗБ в река Силистар е по-голям от този в река Бутамята.

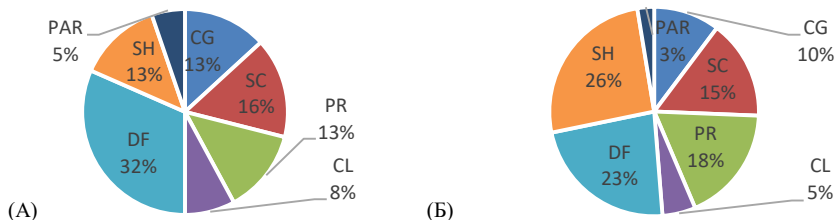


Фиг. 20. Последователност в появата и относителен дял на числеността на отделните таксони на МЗБ съобщество в р. Бутамята и р. Силистар през 2014 г. **Легенда:** (А) р. Бутамята; (Б) р. Силистар

Стойностите на коефициента на сходство по Sørensen между таксономичните списъци на МЗБ в четирите пункта на двете реки във всички изследвани години са над 50%. Т.е. не може да се твърди, че има значима разлика между МЗБ съобщества в горската част и устията.

Трофична структура на макрозообентоса

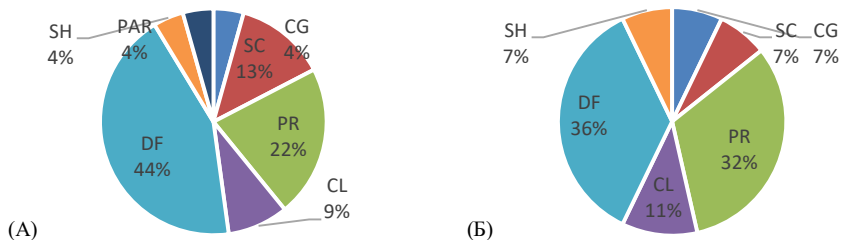
В двете изследвани реки се установяват и 6-те ФТГ: дробящи (SH), стържещи (SC), филтриращи (CF), берящи (CG), детритофаги (DF), хищници (PR) (Фиг. 21. А, Б).



Фигура 21. Относителен дял на броя на таксоните от различните ФТГ в трофичната структура на МЗБ на изследваните реки - горски пунктове. **Легенда:** (А) р. Бутамята; (Б) р. Силистар.

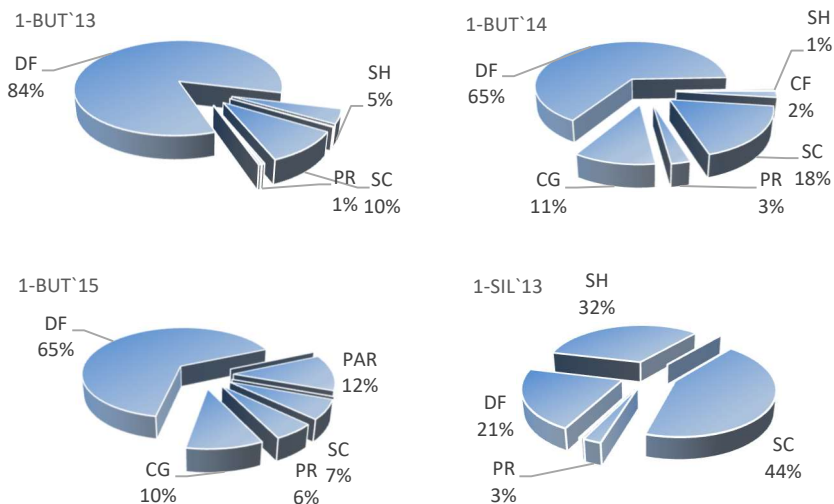
В горските пунктове разпределението по брой таксони от различните трофичните групи е по-равномерно и балансирано въпреки доминирането на детритофагите.

Там дробящите, стържещите, берящите и хищниците имат сходно относително участие, като малко по-високо е това на дробящите в р. Силистар. В устията (Фиг. 22, А, Б) доминирането на детритофагите е по-чувствително изразено, а също така е засилено и относителното участие на хищниците в съобществото. Колекторите също са представени малко по-добре в устията отколкото в горските пунктове.



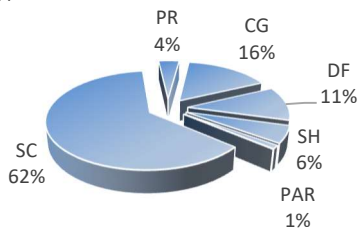
Фигура 22. Относителен дял на броя на таксоните от различните ФТГ в трофичната структура на МЗБ на изследваните реки – устийни пунктове. **Легенда:** (А) р. Бутамята; (Б) р. Силистар.

В отделните пунктове и в различните години, обаче, има различно представяне на относителния дял на отделните ФТГ (Фиг. 23). Като цяло, в горските пунктове трофичните групи са по-добре представени, но при по-малка плътност на индивидите.

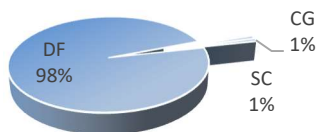


Фигура 23. Относителен дял на отделните ФТГ в трофичната структура на МЗБ в изследваните пунктове на р. Бутамята и р. Силистар през 2013-2015 г. **Легенда:** 1-BUT – р. Бутамята, пункт 1 (гора); 1-SIL – р. Силистар, пункт 1 (гора).

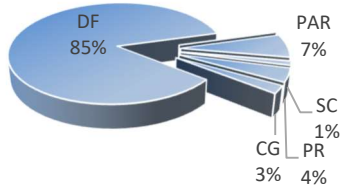
1-SIL`14



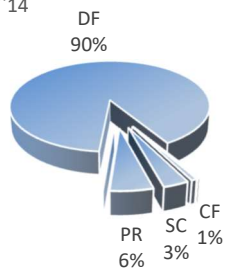
1-SIL`15



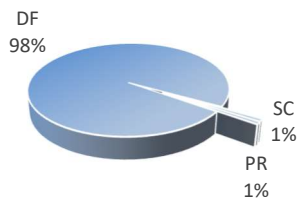
2-BUT`13



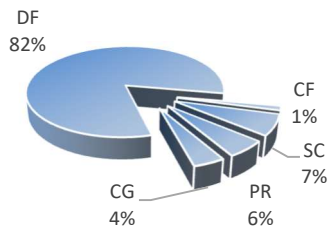
2-BUT`14



2-BUT`15



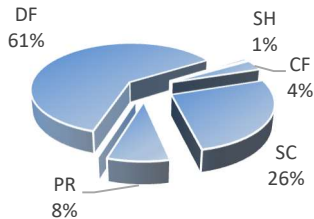
2-SIL`13



2-SIL`14



2-SIL`15



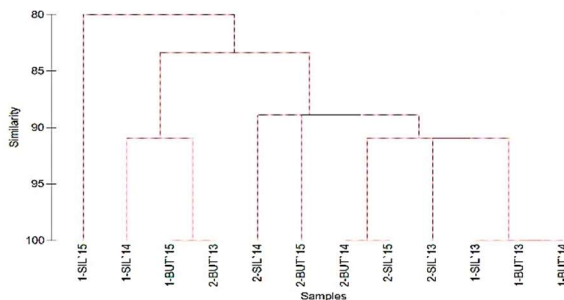
Фигура 23. (Продължение). Относителен дял на отделните ФТГ в трофичната структура на МЗБ в изследваните пунктове на р. Бутамията и р. Силистар през 2013-2015 г. **Легенда:** 1-SIL – р. Силистар, пункт 1 (гора); 2-BUT – р. Бутамията, пункт 2 (устие); 2-SIL – р. Силистар, пункт 2 (устие).

Докато в устията плътността е по-висока, но във всяка една от пробите липсват представители на една или повече трофични групи. В устията хищниците са представени значително по-добре отколкото в горските пунктове.

Структурата и функционирането на градиентите на основните физични и химични фактори по протежение на речния континуум са свързани с достъпните ресурси в екосистемата, чийто качество и количество се изменят по протежение на речното течение (Vannote et al., 1980). В настоящото изследване пунктовете за пробонабиране са разположени в долните течения на реките, в издънкови дъбови гори с гъст подлес (пунктове 1) и значително обрастване от ограждаща и субмерзна растителност в устията (пунктове 2). Значителният листен опад и отмирането на водната растителност, съчетано с почти целогодишната липса на течение, води до натрупване на големи дънни наслаги и наличие на значително количество финонаделена органика (FROM), характерна за долните речни течения. Това се отразява в чувствителното присъствие на детритофаги, които доминират в МЗБ съобщество. Стържещите са по-добре представени в горските пунктове и особено в р. Силистар. Дробящите са почти изцяло само в горските пунктове по-застъпени отново в р. Силистар, което е в съгласие с КРК. Като цяло, трофичната структура на МЗБ на двете реки е пълноценна, характерна на долни поречия и приустиеви участъци.

Сходство на изследваните пунктове по плътността на основните ФТГ.

На дендрограмата от клъстерния анализ на сходствата в числеността на квадратен метър на основните ФТГ (Фиг. 24) се вижда, че сходството е високо между отделните пунктове в различните години. Едновариантният анализ на сходствата показва, че няма статистически достоверно разделяне на пунктовете (ANOSIM R: -0,043, $p=0.5$).

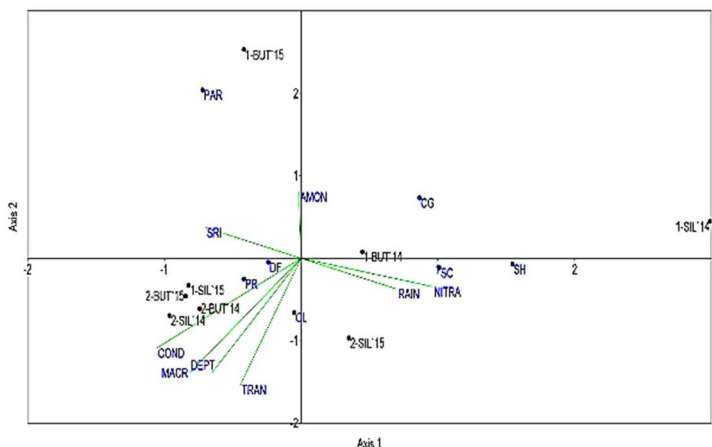


Фиг. 24. Дендрограма на UPGMA клъстерен анализ на сходствата по Bray Curtis на плътността на основните ФТГ [инд./m²] за изследваните пунктове на р. Бутамята и р. Силистар през 2013-15 г.

Легенда: 1-BUT – р. Бутамята, пункт 1 (гора); 1-SIL – р. Силистар, пункт 1 (гора); 2-BUT – р. Бутамята, пункт 2 (устие); 2-SIL – р. Силистар, пункт 2 (устие).

Основни закономерности при формиране на трофичната структура на речния макрозообентос

На ординационната диаграма на Фиг. 25. е представена корелацията на най-значимите фактори на средата с относителният дял на числеността на трофичните групи в състава на МЗБ съобщество чрез каноничния кореспондентен анализ (CCA).



Фиг. 25. Ординационна диаграма (CCA), показваща връзката между относителния дял на числеността на отделните трофични групи в състава на макрозообентосните съобщества, факторите на средата и пунктовете. **Легенда:** SH – дробящи; SC – стържещи; DF – детритофаги; PR – хищници; CG – берящи; CL – колектори; PAR – паразити; TRAN – прозрачност [m]; RAIN – количество валежи [l/m²]; DEPT – дълбочина на басейна [m]; MACR – относително покритие с макрофити; COND – електропроводимост [μS/cm]; SRI – индекс на засушаване; концентрации на NITRA – нитратен азот [mg/l]; AMON – амониев азот [mg/l]. Първите две оси на анализа обясняват сумарно 91,61% от вариацията на претеглените средни на трофичните групи по отношение на променливите на средата.

Първата ос е свързана с концентрацията на нитратен азот и количеството валежи, от една страна и с индекса на засушаване от друга. В дясната част на диаграмата са разположени предимно горските пунктове където преобладават берящите, стържещите и дробящите. В лявата част на диаграмата са предимно пунктовете при устията на реките, където дълбочината и електропроводимостта са по-големи и обрастванията с макрофити са значителни. Там преобладават колекторите, детритофагите и хищниците.

VII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Резултатите от настоящото изследване потвърждават основната хипотеза, че структурата и функционирането на съобществата на зоопланктона и МЗБ, зависят пряко от измененията на хидрологичния режим на езерата. Динамиката на хидрозооценозите в изследваните временни водоеми се определя от наличието на два ясно разграничени периода – сух и воден, при което измененията на физико-химичните параметри на водата и на концентрацията на хранителните вещества зависи най-вече от продължителността на заливане, наричана тук хидропериод (ХП) и водния им обем.

Процесът на структуриране на съобществата включва следните етапи на заселване на басейна след напълването му с вода:

а) в първите дни заселват басейна някои представители на разред Cyclopoida (*Acanthocyclops* sp., *Thermocyclops* sp.), сем. Chironomidae и клас Oligochaeta (родовете *Lumbriculus*, *Nais* и сем. Enchytraeidae);

б) следват представители на разред Calanoida (под *Arctodiaptomus*) и Cladocera предимно от родовете *Daphnia*, *Moina* и *Scapholeberis*;

в) седмица-две след напълването се появяват представители от клас Ostracoda, разред Harpacticoida, някои водни дървеници (родовете *Sigara*, *Notonecta*), понякога и водни кончета (под *Libellula*);

г) 4-5 седмици след напълването могат да се включват водни кончета от род *Lestes* и водни бръмбари от род *Dytiscus*;

д) ако хидропериодът е достатъчно дълъг, 10 седмици след напълването може да се появят различни представители на разредите Coleoptera (под *Poecilus*, *Gyrinus*, *Haliplus*) и Ephemeroptera (под *Cloeon*).

Зависимостта на хидрологичния режим на басейните от локалния климат и геоложкия строеж на района, предполага всяка година различни условия на средата, които ще формират различни по структура съобщества. Хидрохимичните параметри на временните водоеми имат голяма динамика през ХП и през различните години. Тази динамика се отразява директно и на функционирането на съобществата – по-дългите ХП са предпоставка за по-стабилни условия и дават възможност за развитие на видове с по-дълъг жизнен цикъл и повече време за колонизиране на басейна. Късите ХП изключват развитието на много видове, особено хищни и така дават възможност за бързо и масово развитие на останалите видове. Съответно трофичните вериги стават къси, а свързаността намалява. Може да се очаква, че в тези условия хидрозооценозите ще са нестабилни, но въпреки това моделите показват че системата може да бъде устойчива и да се възстановява по-бързо след екстремни въздействия. Поради липсата на хищнически натиск при късите ХП на сезонните езера и изключително разнообразните ежегодни условия факторите на средата стават лимитиращи за хидрозооценозите.

При изследваните речни участъци няма стадий на пълно пресъхване, както е при временните лентични басейни. С намаляване на валежите и увеличаване на слънчевото греене и температурите в пролетно-летния сезон, реките намаляват водното си ниво, течението спира изцяло и речното тяло се фрагментира. В пониженията се формират изолирани вировете, разделени с пресъхнали участъци. МЗБ съобщество обаче не реагира на този стрес, а в запазените вировете развива стабилно и разнообразно съобщество, в съответствие с КРК. Трофичните групи са пълноценно представени и разпределението им е характерно за долните и приустиевите зони на този тип реки. Всичко това предполага, че намаляването на водното ниво и фрагментирането на реките, не предизвиква значим стрес, който да оказва влияние върху формирането и функционирането на МЗБ съобщество. Отсъствието на течение и чувствителното намаляване на хищническия натиск в запазените вировете на фрагментираното водно тяло, дава възможност за развитие на зоопланктонно съобщество. В крайна сметка, в частично пресъхващи участъци на малките черноморски реки няма данни за значимо влияние на вариабилния хидрологичен режим върху формирането и функционирането на МЗБ и зоопланктонното съобщество.

VIII. ИЗВОДИ, ПРИНОСИ И ПРЕПОРЪКИ

Изводи

1. Зоопланктонното и макрозообентосното съобщества в изследваните пресъхващи езера (блата) и реки се формират основно от три компонента:
 - а) еврибионтни видове с широко разпространение;
 - б) видове, които се срещат изключително или преимуществено във временни водоеми;

в) колонизиращи (пионерни) видове, основно от клас Insecta.

2. С увеличаване на ХП се увеличава броя на таксоните включени в зоопланктонното и МЗБ съобщества. Хидропериоди по-дълги от 100 дни са предпоставка за по-голямо видово богатство, а по-късите – за по-малък брой таксони, но с по-висока численост.
3. Постоянството на водният обем на басейна, при временни водни тела, напр. при проточно езеро, осигурява по-стабилни физико-химични и хидрологични параметри на средата, които могат до голяма степен да неутрализират ефекта от временния характер на басейна по отношение на структурирането на съобществата.
4. Нестабилният хидрологичен режим на временните вътрешноконтинентални водоеми възпрепятства развитието на пълноценна трофична структура. При ХП с продължителност по-малка от 100 дни няма условия за включване на хищници в съобществото на МЗБ. Независимо от късите трофични вериги и слабата свързаност обаче, при определени условия хидрозооценозите могат да са стабилни и устойчиви.
5. Сложността на трофичната структура на хидрозооценозите във временните водоеми е обусловена от динамиката на хидрологичния режим. По-голямата годишна и сезонна повторемост на водните и сухите периоди е предпоставка за формиране на по-сложна трофична структура на съобществата.
6. В условията на кратък ХП и малък воден обем нестабилният хидрологичен режим и големите флуктуации на физико-химичните параметри на временните водоеми, абиотичните фактори са лимитиращи за развитието на зоопланктонното и МЗБ съобщества, докато биотичните фактори играят второстепенна роля. При съвсем къси ХП биотичните отношения на практика отсъстват или не са значим фактор.
7. При частично пресъхващи реки намаляването на водния отток, спирането на водното течение и фрагментирането на потока не оказват значимо въздействие върху формирането и функционирането на МЗБ съобщество, но благоприятстват развитието на зоопланктонно съобщество.

Приноси

1. За първи път в България и региона са изследвани структурните и функционалните характеристики на животинските съобщества в разнообразни временно пресъхващи водни тела;
2. Описани са етапите на заселване и процесът на структуриране на съобществата от водни безгръбначни в пресъхващи басейни след напълването им с вода;
3. Описана и анализирана е ролята на режима на оводняване, динамиката на водния обем и времето за престой на водата (хидропериода) за формиране на състава и структурата на хидрозооценозите във временно пресъхващи водни тела;
4. Идентифицирани и оценени са лимитиращите фактори за развитието на хидрозооценозите във временно пресъхващи водни тела при различен хидрологичен режим;

5. Разработени са качествени модели на хранителните мрежи в хидрозооценозите и е направен сравнителен анализ на тяхната структурата в различни типове временно пресъхващи водни тела;
6. Получена е нова информация относно влиянието на частичното пресъхване върху съобществата на водни безгръбначни в долните участъци на малки черноморски реки;
7. За първи път е установено, че в частично пресъхващи малки черноморски реки намаляването на водния отток, спирането на водното течение и фрагментирането на потока не оказват значимо въздействие върху формирането и функционирането на МЗБ съобщество, но благоприятстват развитието на зоопланктонно съобщество.

Препоръки

- ✓ Специфичните характеристики на вътрешно-континентални временни водоеми създават разнообразни и стабилни зоопланктонни и МЗБ съобщества, които допринасят за локалното биоразнообразие и могат да бъдат важен ресурс и резервоар за други водоеми в съответния район, а също така и местообитание за редица земноводни, влечуги и птици.
- ✓ Изключително широкото разпространение на временните водоеми, още повече с оглед глобалното повишение на температурите, ги прави важен компонент за запазване на биоразнообразието. Затова е необходимо да бъдат изследвани, картографирани и класифицирани и защитени.

Консервационни мерки за защита и опазване на пресъхващите водни тела

- ✓ да не се изграждат съоръжения, нарушаващи надлъжната свързаност на временно пресъхващи реки;
- ✓ решения за водочерпене от водосборите на временно пресъхващи естествени стоящи водоеми да се вземат след предварителна оценка на водните количества, необходими за поддържане на водната екосистема.

IX. ДРУГА АДМИНИСТРАТИВНА ИНФОРМАЦИЯ

Публикации по темата на дисертацията

Georgieva, G., **Ivanov**, P., Uzunov, Y., Pehlivanov, L. *First data on the Oligochaeta (Annelida: Clitellata) complex in some Bulgarian ephemeral water bodies*. Proceedings of Seminar of Ecology – 2016, with international participation, ФАРАГО, 2017, ISBN:979-853476-132-4, 53-61.

Ivanov, P., Ihtimanska, M., Zaccagnino, D., Marcato, S., Pehlivanov, L. 2015. *Development of macrozoobenthos community in the ephemeral Aldomirovsko Lake (Northwest Bulgaria)*. Proceedings of Seminar of Ecology – 2015, with international participation, ФАРАГО, 2015, ISBN: 979-853-476-132-4, 65-71.

Ivanov, P., Pehlivanov, L. (In press). *Structure of zoocenoses in the ephemeral pond Lilov vir, Western Bulgaria*. Proceedings of the Bulgarian Academy of Sciences.

Представени доклади

Семинар по екология с международно участие – 2015, 23-24 април, София:

Development of macrozoobenthos community in the ephemeral Aldomirovsko Lake (Northwest Bulgaria)–Pencho Ivanov, Mila Ihtimanska, Domenica Zaccagnino, Silvestre Marcato, Luchezar Pehlivanov

Семинар по екология с международно участие – 2016, 21-22 април, София:

First data om the Oligochaeta (ANNELIDA: CLITELLATA) complex in some Bulgarian ephemeral water bodies – Galia Georgieva, Pencho Ivanov, Yordan Uzunov, Luchezar Pehlivanov

STRUCTURE AND FUNCTIONS OF HYDROZOOCENOSES IN TEMPORARY DRY WATER BODIES

The findings of the study confirm that the structure and functioning of zooplankton and macrozoobenthos (MZB) communities are directly influenced by changes in the hydrological regime of lakes. In the studied temporary water bodies, the dynamics of the hydro zoocenoses are determined by two distinct periods - dry and wet, where the duration of flooding (hydropereod) and the water volume affect the changes in the water's physicochemical parameters and nutrient concentration. The process of structuring the communities involves three stages of settlement of the basin after it is filled with water. These stages are as follows:

- Eurybiont species with a wide distribution;
- Species found exclusively or predominantly in temporary water bodies;
- Colonizing (pioneer) species, mainly from the class Insecta.

The hydrological regime of the basins depends on the local climate and the area's geological structure. Therefore, different environmental conditions will form communities with diverse structures each year. The hydro-chemical parameters of temporary reservoirs are highly dynamic during the hydropereod and over the years. These dynamics directly affect how the community functions - longer hydropereods provide the basis for more stable conditions and allow the development of species with longer life cycles and more time to colonize the basin. In contrast, short hydropereods exclude the development of many species, especially predatory ones, and allow other species' rapid and mass development. As a result, the trophic chains become shorter, and the connectivity decreases. It can be expected that hydro zoocenoses will be unstable under these conditions. However, despite this, the models show that the system can be resilient and recover more quickly after extreme impacts. Due to the lack of predatory pressure in the short hydropereods of seasonal lakes and the various annual conditions, environmental factors become primary limiting factors for the hydrozoocenoses, while biotic factors have little or no significance.

In the studied river sections, there is no stage of complete drying up, similar to the temporary lentic basins. With the decrease in precipitation and increase in solar heating, the spring-summer season causes the temperatures to rise. Consequently, the studied rivers reduce their water level to the point of total flow stopping, and the river body fragments. However, the MZB community does not react negatively to this stress, and in the preserved water basins, a stable and diverse community develops following the River continuum concept. The trophic groups are fully represented, and their distribution is typical of the lower and estuarine zones of such a river type. The absence of flow and a significant reduction in predatory pressure in the preserved water pools allow the development of a zooplankton community. Ultimately, there is no data for a substantial influence of the variable hydrological regime on the formation and functioning of the MZB and zooplankton community in the partially drying sections of the small rivers flowing into the Black Sea.