

БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
ИНСТИТУТ ПО БИОРАЗНООБРАЗИЕ И ЕКОСИСТЕМНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ
ОТДЕЛ „ВОДНИ ЕКОСИСТЕМИ“

**СЪСТАВ И ФИТОЦЕНОТИЧНА СТРУКТУРА НА
МАКРОФИТНИ СЪОБЩЕСТВА В РАЗЛИЧНИ ТИПОВЕ
ВОДНИ ОБЕКТИ ВЪВ ВОДОСБОРА НА БЪЛГАРСКИЯ
УЧАСТЪК НА РЕКА ДУНАВ**

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертация за придобиване на образователна и научна степен „доктор“

Борислава Петрова Гьошева

Научна специалност:

01.06.11 „Хидробиология“

Научен ръководител: доц. д-р Владимир Вълчев

Научен консултант: проф. д-р Росен Цонев



София, декември, 2024 г.

Дисертационният труд съдържа 263 страници, 56 фигури, 20 таблици и 5 приложения. Списъкът с цитираната литература съдържа 312 заглавия, от които 72 на кирилица и 240 – на латиница.

Дисертацията е разработена в рамките на редовна докторантура в Института по биоразнообразие и екосистемни изследвания при БАН в периода 2014-2016 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен към защита на разширено заседание на отдел „Водни екосистеми“ на Института по биоразнообразие и екосистемни изследвания при БАН, състояло се на 09.01.2025 г.

Основните полеви изследвания в този дисертационен труд са финансирани по проект: „Актуализиране на план за управление на поддържан резерват „Сребърна“ и разработване на план за управление на защитена местност „Пеликаните“, включително и всички необходими геодезически заснемания.“, финансиран от Министерство на околната среда и водите. Оперативна Програма „Околна среда“, 2014–2015, ОПОС-20-УПРР/17.04.2 В-13-ЛПЕХ-060.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 16.04.2025 г. от 13:00 ч. в Заседателната зала на База 1 на ИБЕИ - БАН, София, ул. "Майор Юрий Гагарин" № 2 на открито заседание на петчленно научно жури, назначено със заповед на Директора на ИБЕИ-БАН № 15/14.02.2025 г. в състав:

1. Доц. д-р Николай Велев (ИБЕИ-БАН) – председател, рецензент
2. Доц. д-р Гана Гечева (ИБЕИ-БАН)
3. Проф. д-р Петър Желев (ЛТУ) – рецензент
4. Доц. д-р Анита Тошева (СУ „Св. Климент Охридски“, БФ)
5. Проф. д-р Росен Цонев (СУ „Св. Климент Охридски“, БФ)

Резервни членове:

1. Проф. д-р Йордан Узунов (пенсионер)
2. Проф. д-р Светлана Николова (ИБЕИ-БАН)

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в библиотеката на Института по биоразнообразие и екосистемни изследвания, БАН, София, ул. „Майор Юрий Гагарин“ № 2.

1. Увод

Река Дунав, нейните притоци и заливни низини са сред най-важните сладководни местообитания в Европа. Неповлияните реки в своите долни течения образуват множество меандри и странични ръкави, оформяйки в пространството комплекс от лотични, полу-лотични и лентични водни тела. Речните заливни тераси са едни от най-разнообразните екосистеми на Земята, съхраняващи голямо биоразнообразие и отличаващи се с висока продуктивност. На глобално ниво заливните зони на реките са застрашени от деградация, което е свързано със заплахата за екосистемите разположени в тях, както и за намаляването на биоразнообразието и загубата на ценни растителни и животински видове.

В Европа до 90% от заливните низини са „култивирани“ (Tockner and Stanford, 2002). Речната регулация на р. Дунав протекла през XIX и XX век води до формиране на нови повлияни водоеми и влажни зони в заливната тераса. Построяването на диги силно ограничава бившите крайречни зони. В следствие на това се оформят различни водни местообитания, които са повлияни както от земеделски практики в района, така и от различни видове ползване от човека. Дългият период на еволюция на откъснатите от главното течение мъртвици, странични ръкави, крайречни езера и блата, създават условия за развитие на макрофитни видове в тях и развитие на техни съобщества. Въпреки, че по своя произход някои са антропогенно създадени, а други са силно модифицирани и повлияни, тези местообитания са се превърнали във важни центрове, съхраняващи ценни местообитания и видове, опазвани от закона и различни директиви, като Директивата за опазване на естествените местообитания на дивата флора и фауна (92/43/ЕЕС) и Рамковата Директива за Водите (РДВ). Повечето от Дунавските влажни зони са част от Натура 2000 мрежата в България.

Водните растения, като един от най-важните градивни елементи на екосистемата, са важна част от водните местообитания в заливната тераса на р. Дунав. Тяхното проучване е необходима предпоставка за опазването на редки видове и значими местообитания.

Настоящият труд допринася за изучаването на водните растения, като дава важна информация за развитието и функционирането на макрофитните съобщества в тези така ценни и изчезващи в наше време водоеми и влажни зони в заливната тераса на р. Дунав.

В дисертационния труд е представено проучване на макрофитните съобщества от екологична гледна точка, изследвайки ги чрез два различни подхода. Единият подход е въведен чрез Рамковата Директива за Водите (РДВ), в който макрофитите се използват за мониторинг и оценка на екологичното състояние на водоемите и представляват един от четирите биологични елемента за качество (БЕК). Другият метод, който използвахме, е класическият метод на фитоценологичните проучвания (Braun-Blanquet, 1964), чрез фитоценологични описания в представителни, избрани пробни площи. Целта на използване на двата подхода е максимално детайлно и разностранно да бъдат проучени съобществата на макрофити в различни водоеми в заливната тераса на р. Дунав.

2. Цел, задачи и работна хипотеза

2.1. Цел

Проучване на видовия състав и фитоценотична структура на макрофитните съобщества в различни по своите хидроморфологични особености водни обекти в

заливната тераса на българския сектор на р. Дунав и нейни притоци, и определяне на връзката на тези съобщества с абиотични фактори на средата.

2.2. Задачи

1. Определяне на видовия състав и структура на макрофитните съобщества в различни категории водни басейни в заливната тераса на р. Дунав и нейни притоци, използвайки методи за БЕК макрофити, съгласно изискванията на РДВ.
2. Характеризиране на фитоценотичната структура на макрофитните съобщества - синтаксоните на хидрофитна и хелофитна растителност в изследваните водоеми.
3. Определяне на морфометричните и хидрологични характеристики на водните местообитания и измерване на физични и химични параметри на водата.
4. Определяне на екологичното състояние на проучваните водоеми чрез прилагане на Референтен индекс за оценка на екологичното състояние по БЕК Макрофити.
5. Установяване на зависимостите на макрофитните съобщества от абиотичните фактори на средата на база видов състав.
6. Установяване на зависимостите на макрофитните съобщества от абиотични параметри на средата на база фитоценотичната структура на хидрофитни и хелофитни ценози.

2.3. Работна хипотеза

В резултат на антропогенно повлияното хидрологично състояние на главната река, се създава разнообразие от естествени или изкуствени местообитания, със специфични комплекси от хидроморфологични характеристики и екологични условия в тях. Ние предполагаме, че макрофитните съобщества и техните фитоценози в различни водоеми във водосбора на река Дунав, се повлияват от комбинация от фактори на околната среда, но в по-голяма степен от хидроморфологичните в сравнение с физико-химичните условия.

3. Литературен преглед

Представен е обстоен преглед на историческите изследвания върху макрофитни съобщества и фитоценози във водоеми в заливната тераса на р. Дунав, както в българския сектор на р. Дунав, така и в Европа. Посочени са проучвания в заливната тераса на реката, с фокус на влиянието на фактори на околната среда върху съобществата на водните растения и техните ценози.

4. Район на изследването

4.1. Физикогеографска характеристика на района

Представена е кратка характеристика на района на изследване: граници, райониране, климат, релеф и почви.

4.2. Обекти на изследване

Проучваните водни обекти са разположени по поречието на река Дунав и нейните притоци (Фиг. 1; Табл. 1). Проучени са следните групи водоеми (в скоби са дадени кодовете на пунктовете) (Фиг. 1): четири мъртвици, разположени на реките Вит (Dvit), Осъм (Os) и Янтра (Yan 2, Yan 3); два речни залива, разположени на р. Дунав (НТК) и р. Янтра (Yan1); р. Вит, при с. Гулянци (VITG); девет канала, разположени на: остров

Белене (BCh1, BCh2), до гр. Белене (GOK), и в ЗМ „Калимок Бръшлен“ (KCh1, KCh2, KCh3, KCh4, KCh5, BrCh); Гарванско блато (G); блата в зона „Калимок – Бръшлен“ (Ksw1, Ksw2, Ksw3, BrSw); блата на остров Белене – Песчин, блато до Песчин и Мъртво блато (BSw1; BSw2; BSw3); ез. Сребърна (Sr1, Sr2, Sr3, Sr4, Sr5, Sr6); езеро Малък Преславец (MP).

Повечето от изследваните водоеми са част от мрежата Натура 2000. Голяма част от тях са определени като природно местообитание от Приложение 1 на Закона за биологичното разнообразие „3150 Естествени еутрофни езера с растителност от типа *Magnopotamion* или *Hydrocharition*“. По определение тези местообитания представляват мезотрофни до еутрофни крайречни езера и блата, старици – най-разпространени по поречието на реките и по брега на Черно море. В тази група се включват и водоеми с частично антропогенен произход (например изоставени наводнени баластриери, стари речни корита), някои блата, които са били използвани като рибарници в миналото, ако в тях се развиват типични хидрофитни ценози.

Направено е отделно описание на всеки водоем, който е включен в проучването.

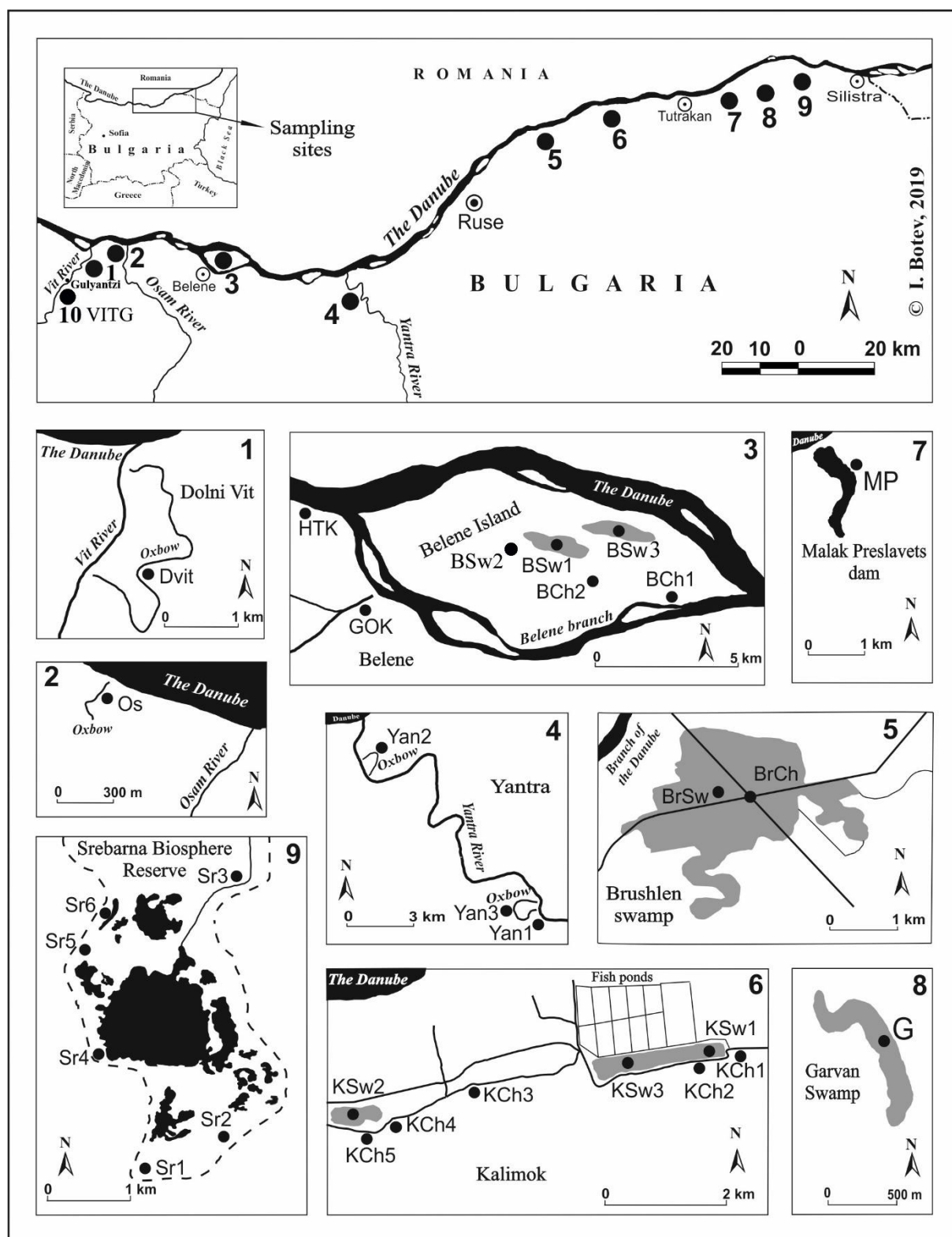
Съществуват различни подходи за класификации на влажните зони и типовете водоеми, но никоя от тях не разграничава и не обхваща напълно спецификите на изучаваните от нас водоеми. Крайречните водни тела в българския участък на река Дунав са класифицирани като тип L5 – крайречни езера и блата в екорегия 12 - Понтийска провинция (Наредба № Н-4 от 14.09.2012 г.). Въпреки това се наблюдават съществени разлики по отношение на морфологията, хидрологичния режим, физичните и химичните параметри, които предопределят и разликите в структурата на населяващите ги съобщества, което потвърждава и Казаков (2017) в своя дисертационен труд, посветен на Дунавските влажни зони. Изследваните в настоящото проучване водоеми се различават по своите хидрологични и морфологични характеристики (произход, дълбочина, размер, форма, свързаност с главната река, субстрат, присъствие/отсъствие на изкуствени конструкции). В зависимост от тези характеристики ние разделихме водоемите на няколко категории ¹ (Табл. 1): **блата** – плитки водоеми с повече или по-малко окръглена форма, като покритата с растителност част надвишава отвореното водно огледало; **мъртвици** – водоеми, които имат типична подковообразно оформена морфология, произхождащи от стар меандър на реката, който след изправяне на коритото на реката, остава свързан с нея, само в долния си край; **речни заливи** – стоящи водни басейни, вдадени в сушата, с антропогенен произход, формирани в резултат от изкопни дейности в речното корито в посока към сушата, при високи речни води се оводняват/заливат от самата река; **канали** – изкуствени водоеми, които могат да бъдат отводнителни или напоителни; **язовир** – силно модифицирано водно тяло, характеризиращо се с наличието на преградна дига и с по-голяма дълбочина спрямо останалите проучвани водоеми; **реки** – лотични водоеми.

Таблица 1. Хидроморфологични характеристики на изследваните водоеми

Номерация на изследвания район (Фиг. 1)	Код на пункт	Категория водоем	Свързаност с реката	Субстрат	Пресъхване

¹ Категория – група, която обединява водни обекти с общи характеристики. Терминът не е използван по смисъла на Наредба № Н-4 от 14.09.2012 г. за характеризирание на повърхностните води.

1	Dvit	мъртвица	естествена/временна	тиня	да
2	Os	мъртвица	естествена/временна	тиня & пясък	да
3	HTK	речен залив	естествена/постоянна	тиня & пясък	да
3	BSw1, BSw2, BSw3	блато	изкуствена/временна	тиня	да
3	GOK, BCh1, BCh2	канал	изкуствена/временна	тиня & пясък	да
4	Yan1	речен залив	естествена/постоянна	тиня & пясък & камъни	да
4	Yan2, Yan3	мъртвица	естествена/временна	тиня & пясък	не
5	BrSw	блато	изкуствена/временна	тиня	да
5	BrCh	канал	изкуствена/временна	тиня	да
6	KSw1, KSw2, KSw3	блато	изкуствена/временна	тиня	да
6	KCh1, KCh2, KCh3, KCh4, KCh5	канал	изкуствена/временна	тиня	да
7	MP	язовир	липсва връзка	тиня	не
8	G	блато	липсва връзка	тиня & червена тиня	да
9	Sr1, Sr2, Sr3, Sr4, Sr5, Sr6	блато	изкуствена/временна	тиня	не
10	VITG	Река	естествена/постоянна	тиня & пясък & камъни	не



Фигура 1. Разположение на пунктовете в изследваните водоеми. Със символ „●“ са отбелязани 31 пункта от 26 водоема. Всеки пункт е означен с код на латиница.

5. Методи

5.1. Методи за изследване на макрофити чрез трансектен подход и метод на Köhler (1978), в контекста на РДВ и оценка на екологичното състояние на водоемите по БЕК Макрофити

5.1.1. Пробонабиране на макрофити

Теренните проучвания са проведени през лятото и есента на 2014 г. и 2015 г., и през лятото на 2016 г. Изследванията са направени в 26 водоема, разположени в заливната тераса на р. Дунав и нейните притоци (Фиг. 1, Табл. 1). Пробонабирането на макрофитите, включващо и крайбрежната растителност, е извършено по трансектния метод (Гечева и др., 2013; Schaumburg et al., 2014a, b; Schmedtje et al., 2001).

5.1.2. Определяне на видов състав

Видовият състав е определян на място. При нужда от допълнително детерминиране са събирани екземпляри за лаборатория. Растенията са идентифицирани до най-ниското таксономично ниво. Използвани са: Определител на висшите растения в България (Кожухаров, 1992), Определител на растенията в България (Делипавлов и др., 2003), томове на Флора на НР България I-X: (Йорданов, 1963-1979; Велчев 1982, 1989; Кожухаров, 1995); Атлас на водни и водолюбиви растения в България (Цонева и др., 2012); Flora Europaea (Tutin et al., 1964 – 1980, 1993), за род *Utricularia* – (Taylor, 1989). Таксономичната номенклатура на висшите растения следва Euro+Med PlantBase (europlusmed.org). Използвана е база данни The Plant List (2013) (<https://www.worldfloraonline.org/>).

Данните за обилието на макрофити определени по Köhler (1978) са трансформирани в количество на растенията с помощта на функцията $y = x^3$ (Janauer and Heindl, 1998; Melzer, 1999). Количеството отразява триизмерното развитие на водните растения.

5.1.3. Определяне на индикаторни таксони

В табличен вид е представен списък на индикаторните таксони за реки и езера.

5.1.4. Оценка на екологично състояние/потенциал чрез прилагане на Референтен индекс

За изготвяне на оценка на екологичното състояние/потенциал на водните обекти, са използвани: методика за оценка на Гечева и др. (2013); БДС EN 15460:2008 - Качество на водата. Основен стандарт за изследване на макрофити в езера; БДС EN 14184:2014 - Качество на водата. Указания за изследване на водни макрофити в течащи води; Наредба № Н-4 от 2012 г. за характеризиране на повърхностни води (обн., ДВ, бр. 22 от 2013 г.; изм. и доп., бр. 79 от 2014 г. ; изм. и доп., бр. 85 от 2020 г.).

5.1.5. Растежни форми

Макрофитите са разделени в шест растежни форми.

5.1.6. Измерване на физични и химични параметри на околната среда

На всеки пункт са измерени електропроводимост ($\mu\text{S}/\text{cm}$), pH, разтворен кислород (O_2 mg/L), кислородно насищане (O_2 %), температура на водата ($^\circ\text{C}$) с преносим уред WTW multi1960i. На същото място са измерени и прозрачност на водата (диск на Секи, м) и дълбочина (м) и са взети водни проби за химичен анализ. Концентрацията на главни биогенни елементи: амониеви йони (NH_4 [mg/L]); амониев азот ($\text{NH}_4\text{-N}$ [mg/L]), нитрати (NO_3 [mg/L]), нитратен азот ($\text{NO}_3\text{-N}$ [mg/L]), нитрити (NO_2 , [mg/L]), нитритен азот ($\text{NO}_2\text{-N}$ [mg/L]), фосфати (PO_4 , [mg/L]), фосфатен фосфор ($\text{PO}_4\text{-P}$, [mg/L]), общ азот (N_{tot} [mg/L]), общ фосфор (P_{tot} , [mg/L]) са измерени с апарат спектрофотометър WTW-pHotoFlex1 Turb.

5.1.7. Статистическа обработка и анализ на данните

Индекси за видово разнообразие

Изчислени са стандартни индекси: индекс за видово богатство (S); индекс за обилие (N) - сума от обилието на всички видове; индекс за хетерогенност (H') на Shannon-Weaver (Shannon and Weaver, 1949), индекс на Pielou (J') за изравненост на съобществата. Всички индекси са изчислени чрез програма PRIMER 6 (Clarke and Gorley, 2006).

Многомерни анализи, изследващи влияние на факторите на средата върху структурата на макрофитните съобщества

Изследвана е ординацията и връзката между видовете макрофити и техните растежни форми от една страна, и факторите на средата от друга страна. За целта са използвани парциалните варианти на: анализ на главните компоненти (Principal component analysis (PCA), каноничен кореспондентен анализ (Canonical correspondence analysis (CCA)), RDA (Redundancy Analysis). Използвана е програма CANOCO 4.5 for Windows package (Ter Braak & Šmilauer, 2002). Приложени са парциални многомерни анализи, за да се отчете пространствената и времева структура на данните. В зависимост от дължината на градиента получен от DCA анализа, след това е използван или RDA или CCA. Данните за околната среда са трансформирани чрез логаритмуване и стандартизирани преди PCA, и данните за видовете са трансформирани чрез корен квадратен преди CCA. Изчислено е сходството между водоемите по Брей-Къртис, базирано на относителното обилие на видовете. Направен е анализ на сходството/приликите ANOSIM, за да се тества за разлики, и SIMPER анализ, който показва процента на сходство (PRIMER 6.0 Clarke and Gorley, 2006), за да се оценят видовете, които допринасят най-много за вътрешното флористично сходство и за разликите между хидроморфологично различните водни тела.

Променливи на средата, включени в многомерните анализи

Видовете и техните растежни форми са използвани като зависими променливи, и характеристиките на околната среда - като обяснителни променливи. В статистическия анализ са включени всички параметри на околната среда, които са измерени на място в изследваните водоеми. Почти всички отчетени параметри са количествени, с изключение на три категорийни – „свързаност на водоема с главната река“, „хидроморфология“ и тип на субстрата.

5.2. Методи за проучване на макрофитите чрез класическия подход на фитоценотични проучвания на Браун-Бланке

5.2.1 Теренни проучвания

Теренните проучвания са проведени през летния и есенен сезон на 2015 г., и през летния на 2016 г. Изследвани са 26 водоема. Проучванията са направени от юни до октомври. Извършени са в съответствие с принципите и методите на сигматичната школа (Braun-Blanquet, 1964; Westhoff and van der Maarel, 1973; Mueller-Dombois and Ellenberg, 1974). Направени са общо 482 описания. За целите на работния процес на място е описвана растителността и покритието в проценти на покритие/обилие на популацията на всеки вид в дадената пробна площ (Podani, 2006; Kent, 2012; Dengler and Dembicz, 2023). Тези данни са използвани в статистическия анализ, както и в изготвяне на синоптическата таблица. Размерът на фитоценотичните пробни площи е съобразен с препоръчаните във Westhoff and van der Maarel (1978) и Chytrý and Otyrkova (2003). За всяко описание са включени следните данни: дата на събиране, географски координати, обща растителна покривка (%), площ на фитоценотичната пробна площадка (кв.м.), ниво на водата (м). В допълнение са описани хидроморфологични характеристики на водното тяло, свързаност с главната река, тип на субстрата (Табл. 1). На място са измерени физични и химични параметри на средата описани в подглава 5.1.6.

5.2.2 Класификация на фитоценотичните описания

Въпреки множеството опити за изясняване вкл. и публикувани, съобществата на водните растения остават проблемни при тяхната класификация (Landucci et al., 2015). Те са съставени от малък брой видове с големи, често космополитни ареали, което създава сериозни затруднения за класификацията, използваща флористичните комплекси. До момента няма избран единен подход, който да се смята за най-подходящ за класификация на водните растения.

Поради тези причини за класифициране на направените от нас описания са използвани формални дефиниции на асоциациите, използвайки „Нов Коктейл“ метод (New Cocktail Method), който е специално разработен от Landucci et al. (2015) за бедната на видове хидрофитна растителност, и Landucci et al. (2020) за хелофитна растителност, който е сходен с предходния и е разработен на база на същите принципи, но включва само асоциации от клас *Phragmito-Magnocaricetea* Klika in Klika et Novák 1941. Новият подход използва формални дефиниции на растителни единици.

В настоящото проучване на водната растителност в различни водоеми в заливната тераса на р. Дунав, за класифициране на хидрофитната и хелофитната растителност, е използвана експертната система разработена от Landucci et al. (2015), и Landucci et al. (2020), чрез програма JUICE 7.

5.2.3. Определяне на диагностичен, константен, доминантен вид

В програма JUICE са зададени прагови стойности за диагностичен, константен и доминантен вид. Праговата стойност, която е зададена за Phi, за да бъде определен един вид като диагностичен, е 24 (Chytrý and Tichý, 2003). Тази стойност е избрана субективно взимайки предвид факта, че малко по-ниски стойности биха включили много видове с широк екологичен обхват, докато малко по-високи стойности няма да могат да бъдат прескочени от много видове, които са екологично специализирани. В дадения набор от данни в настоящото проучване връзката между видовете и всички растителни единици

(асоциации), характеризиращи се с $\Phi > 0,24$, са статистически значими при конвенционални Р нива ($p > 0.001$). Стойностите на праговата честота за константни видове е избрана да е 50 %. В настоящото проучване доминантни видове са определени като тези, които имат процент покритие над 20 %.

След като асоциациите са класифицирани, в програма JUICE 7 е изготвена синтаксономична таблица .

Направен е анализ на асоциациите и е изготвен списък с диагностични видове за всяка група, и техния Φ коефициент, даден в скоби, константните видове, и техния процент на константност (честота на срещане), даден в скоби, и доминантните видове.

Номенклатура

Синтаксономията и номенклатура до голяма степен съвпадат с последната ревизия, извършена в рамките на проекта Растителност на Чехия (Sumberova et al., 2011); синтаксономичните имена на класове, разрези, съюзи следват Mucina et al. (2016), и имената са съгласно кодекса на синтаксономичната номенклатура - четвърто издание на ICPN (Theurillat et al., 2021).

5.2.4. Анализ на данните от фитоценотичното проучване

За статистически анализ на данните, събрани чрез метода на Braun-Blanquet, и за графично представяне на резултатите, е използван софтуерния пакет R v. 4.4.2. (R Core Team, 2024).

5.2.4.1. Анализ на физичните и химичните параметри, измерени във фитоценотичните пробни площи

Направено е сравнение на ценозите на различни хидрофитни и хелофитни асоциации според факторите на средата чрез „боксплотове“.

5.2.4.3. Многомерни анализи на факторите на средата

В статистическия анализ са включени всички параметри на околната среда, които са измерени на място в изследваните водоеми. Почти всички отчетени параметри са количествени, с изключение на три категорийни – „свързаност на водоема с главната река“, „хидроморфология“ и тип на субстрата.

Factorial analysis of mixed data (FAMD) Факторен анализ на данни от смесен тип (включващи количествени и категорийни променливи). Върху параметрите на околната среда на отделните пробни площи е приложен FAMD факторен анализ на количествени и качествени променливи (Pagès, 2015), с цел определяне на факторите, които най-добре обясняват разликите между пробните площи с ценози на отделни асоциации, и вероятно оказват най-голямо влияние на макрофитните ценози.

След това е приложен PERMANOVA тест за определяне на факторите на средата с най-силно въздействие върху структурата на съобществата, на базата на 999 пермутации (Anderson, 2001). Само статистически значимите фактори на средата според PERMANOVA са използвани в последващите ординационни анализи, чиято цел е определянето на факторите, които оказват най-голямо въздействие върху наблюдаваните разлики в структурата на съобществата.

DCA Detrended correspondence Analysis е приложен върху процентните стойности на видовете в площадките, трансформирани с корен квадратен.

CCA (Canonical correspondence Analysis) е използван, за да се изследва връзката между факторите на средата и структурата на макрофитните съобщества. Направен е парциален кореспондентен каноничен анализ (CCA) на ценози на хидрофитни и хелофитни асоциации с абиотични фактори на средата, които са статистически значими според PERMANOVA анализа, като е изключено влиянието на периода на пробовзимане върху разпределението и състава на асоциациите.

6. Резултати и дискусия

6.1. Трансектен подход и метод на Köhler (1978)

6.1.1. Видов състав, консервационно значими и инвазивни видове

По време на проучването са установени общо 115 таксона. Два от видовете са папрати, като единият вид е водна папрат, два вида са чернодробни мъхове, и единият от таксоните представлява макроводорасло от род *Chara* sp. Като цяло видовото разнообразие е сравнително високо. Според Цонева и др. (2012), съвременните данни за водните макрофити в България сочат, че папратообразните и семенните растения в България наброяват около 345 вида, като 68 вида се срещат във водна среда, а 277 понасят засушаване и обитават плитки води по бреговете на различни водоеми и влажни зони. Водните и влаголюбиви мъхове, които са характерни за различни влажни зони наброяват 98 вида. Изследваните в настоящето проучване таксони съставляват около 30 % от общия им брой в страната (Цонева и др., 2012).

Шестнадесет от наблюдаваните видове са редки или имат ограничено разпространение и са консервационно значими видове: *Aldrovanda vesiculosa* L., *Azolla filiculoides* Lam., *Ceratophyllum submersum* L., *Lemna gibba* L., *Nymphaea alba* L., *Nymphoides peltata* (S. G. Gmel.) Kuntze, *Nuphar lutea* L., *Potamogeton gramineus* L., *Potamogeton lucens* L., *Salvinia natans* (L.) All., *Stratiotes aloides* L., *Thelypteris palustris* Schott, *Trapa natans* L., *Typha laxmannii* Lepech., *Utricularia australis* R.Br., *Wolffia arrhiza* (L.) Horkel ex Wimm. (Цонева и др., 2012).

Видът *Nymphaea alba* е включен в Червената книга на Р. България с природозащитен статут *Застрашен* (Пеев, Цонева, 2015), както също така е част и от Червения списък на висшите растения в България (Petrova and Vladimirov, 2009). Видът *Salvinia natans* има статут на *Уязвим* в Червен списък на висшите растения в България, и е включен е в Бернската конвенция. *Lemna gibba* също е вписан в Червен списък на висшите растения в България със статут на *Почти застрашен*. *Lemna gibba* е намерен само в ГОК на гр. Белене и в два пункта в зона Калимок. Изключително редките видове *Stratiotes aloides* и *Aldrovanda vesiculosa*, са установени само в ез. Сребърна, което е едно от двете находища в България на тези видове. Те са вписани в Червена книга на Р. България с природозащитен статут *Критично застрашен* (Димитрова, 2015; Мешинев, 2015), в IUCN Червен списък на застрашените видове със статут *Критично застрашен*, както и в Червен списък на висшите растения в България. *Aldrovanda vesiculosa* и *Trapa natans* са включени в Бернската конвенция. *Nymphoides peltata* има природозащитен статут *Застрашен* в Червена книга на Р. България (Иванова, Цонев, 2015) и в Червения списък на висшите растения в България. *Utricularia australis* е вписан в Червена книга на Р. България с природозащитен статут *Критично застрашен* (Иванова, 2015). *Nuphar*

lutea и *Trapa natans* са включени в Червената книга на Р. България със статут *Застрашен вид* (Пеев, Цонева, 2015). *Nuphar lutea* е наблюдаван само в канал на остров Белене, където всъщност е бил реинтродуциран наскоро. *Thelypteris palustris* има статут на *Уязвим* в Червен списък на висшите растения в България и е наблюдаван само в езерото Сребърна.

Видът *Wolffia arrhiza* е включен в Червен списък на висшите растения в България със статут на *Уязвим* (Petrova and Vladimirov, 2009). През октомври месец 2014 г. е установено находище на *Wolffia arrhiza* на територията на ез. Малък Преславец (Gyosheva and Valchev, 2015). Площта на съобществото е около 4 кв.м. Останалите видове в него са: *Lemna minor* L., *Lemna trisulca* L., *Ceratophyllum demersum* L. и *Spirodela polyrrhiza* (L.) Schleid. През 2015 г. е установено и второ находище на *Wolffia arrhiza* на територията на ез. Сребърна, в района на Старата Дига. Видът е докладван от Кочев и Йорданов (1981) за блато Малък Преславец, но от тогава водоемът е силно модифициран, превърнат в язовир, и растението не е регистрирано. *Wolffia arrhiza* не е включен във важни документи на национално ниво като тези от картирането по Натура 2000, както и в списъка на макрофитите в ез. Сребърна (Valchev et al., 2012). Липсата на информация може да се дължи на малките размери на растението, но е твърде вероятно то да е изчезнало от някои места, където е било разпространено преди 40 години.

Ricciocarpos natans (L.) Corda е включен в списъка на *Недостатъчно проучените* видове мъхове в България (Natcheva et al., 2006). Natcheva and Ganeva (2014) добавят локалитети за блатата в община Белене, Чокльово блато и Драгомаско блато. В настоящото проучване видът е намерен за първи път в две нови находища: блато Гарван и езеро Сребърна (пункт Странична локва (Sr6)). Видът е нов за флористичен район Североизточна България.

Ceratophyllum submersum е рядко срещан вид за България (Цонева и др., 2012). По време на нашето изследване видът е намерен в блато Гарван, канал на остров Белене, блато Песчин, канал в зона Бръшлен, и в ез. Сребърна. Той за първи път е описан от тези водоеми, които са част от флористични райони Североизточна България и Дунавска равнина. В Конспект на висшата флора на България (Асьов и Петрова, 2012) *Ceratophyllum submersum* не е отбелязан в тези флористични райони и следователно е нов вид за тях.

Видът *Azolla filiculoides* също е рядък за България и е открит само в канали и блато в зона Калимок-Бръшлен, в ез. Сребърна, в залив на р. Янтра при с. Ценово, залив на р. Дунав.

Potamogeton gramineus има ограничено разпространение в България и е рядко срещан вид (Цонева и др., 2012). В сегашното проучване е намерен във флористичен район Дунавска равнина - залив на р. Дунав и мъртваца на р. Осъм. В Конспект на висшата флора на България (Асьов и Петрова, 2012), видът е съобщен за Дунавска равнина.

В Приложение № 3 към чл. 37 от ЗБР са включени следните видове: *Nymphaea alba*, *Nymphoides peltata*, *Salvinia natans*, *Stratiotes aloides*, *Thelypteris palustris*, *Nuphar lutea*, *Trapa natans*, *Aldrovanda vesiculosa*, *Utricularia australis*.

Най-много видове със „специален статут“ са открити на територията на ез. Сребърна (10 вида): *Aldrovanda vesiculosa*, *Lemna gibba*, *Nymphaea alba*, *Nymphoides peltata*, *Salvinia natans*, *Stratiotes aloides*, *Thelypteris palustris*, *Utricularia australis*, *Wolffia*

arrhiza. В един от пунктовете на ез. Сребърна е намерено и водорасло от род *Chara* sp., като хабитатите на тези водорасли са вписани в Червена книга на Р. България (Иванов и Темнискова, 2015).

По време на проучването са регистрирани шест вида инвазивни растения, които имат популации в проучените водоеми: *Elodea nuttallii*, *Elodea canadensis*, *Bidens frondosa*, *Paspalum distichum*, *Sorghum halepense*, *Xanthium italicum*. Други два вида са наблюдавани в непосредствена близост. *Amorpha fruticosa* е установен до бреговете на голяма част от изследваните пунктове, особено масово развит в близост с р. Дунав. Видът *Phytolacca americana* е установен по бреговете на ез. Сребърна. *Amorpha fruticosa*, *Bidens frondosa*, *Elodea nuttallii* и *Paspalum distichum* са включени в „топ 10“ на най-проблемни инвазивни чужди видове в България (Петрова и др., 2012). *Elodea nuttallii* е включен в списъка на най-опасните инвазивни чужди видове, застрашаващи биоразнообразието в Европа (Петрова и др., 2012) и се счита за инвазивен чужд вид от Европейско значение (European Commission, Directorate-General for Environment, 2020). В настоящото проучване най-често срещан е инвазивният вид *Elodea nuttallii*, намерен в седем пункта (ез. Малък Преславец, р. Вит при Гулянци, залив на р. Янтра, ез. Сребърна, канал в зона Бръшлен, залив на р. Дунав (НТК)), като най-масово е развит в канал в зона Бръшлен. *Elodea canadensis* е установен в 2 пункта – ез. Малък Преславец и ез. Сребърна, като най-масово е развит в ез. Сребърна. *Paspalum distichum* е открит в мъртваца на р. Янтра при с. Ценово и покрива сравнително големи площи по брега, като се разпространява и навътре в дълбочина на водоема.

6.1.2. Видово богатство и видово разнообразие на съобществата

Най-високо видово богатство през трите години на изследването се поддържа в езерото Сребърна, блато Песчин, ез. Малък Преславец, а най-ниско в залив на р. Дунав. Езерото Сребърна обхваща най-многообразни местообитания, и вероятно това допринася за голямото видово богатство на водни растения в него, като различните части на езерото се характеризират с различни по вид макрофитни съобщества.

Индексът на Шанън (H') показва най-високи стойности за пунктове в езеро Сребърна, като по-голямото видово разнообразие установено там е характерно за неповлияни хидроекосистеми. С най-ниски стойности на индекса е залив на р. Дунав (НТК), което е характерно за повлияни екосистеми.

Изравнеността на съобществата във всички водоеми и през трите години на проучването е висока. В повечето водоеми индексът на Пиелу (J') > 0,5, което показва доминиране в структурата на макрофитните съобщества.

6.1.3. Показатели на околната среда

Средните стойности на амониев азот в различните категории водоеми варират в сравнително тесен диапазон. Най-високи средни стойности на амониев азот са регистрирани в групата на каналите. Стойностите на нитратен азот в категориите на стоящи водоеми варират в тесен диапазон. Концентрацията на нитратен азот е най-висока в категория реки. Средните стойности на общ азот в повечето категориите водоеми варират в тесен диапазон. Концентрацията на общ азот е с най-ниски стойности в групата на речните заливи. Фосфатният фосфор е с най-ниски средни стойности в групата на блатата и с най-високи в групата на мъртвиците. Средните стойности на концентрация на общ фосфатен фосфор са най-високи в групата на мъртвиците. Най-ниски стойности на разтворен кислород са установени в групата на каналите. Най-ниска

прозрачност е измерена в групата на каналите и най-висока в речни пунктове. Средните измерени стойности за рН са най-високи в мъртвици и най-ниски в канали.

6.1.4. Екологично състояние/потенциал на изследваните водоеми

В някои от изследваните водоеми екологичното състояние/потенциал се променя през различните години на проучването. В голяма част от тях преобладава Лошо или Умерено състояние/потенциал. Средните стойности на EQR в групата на блатата е най-висока и съответно в канали и речни заливи най-ниска, което показва, че като цяло състоянието на блатата е най-добро спрямо останалите категории водоеми, а това в каналите и речните заливи е най-влошено.

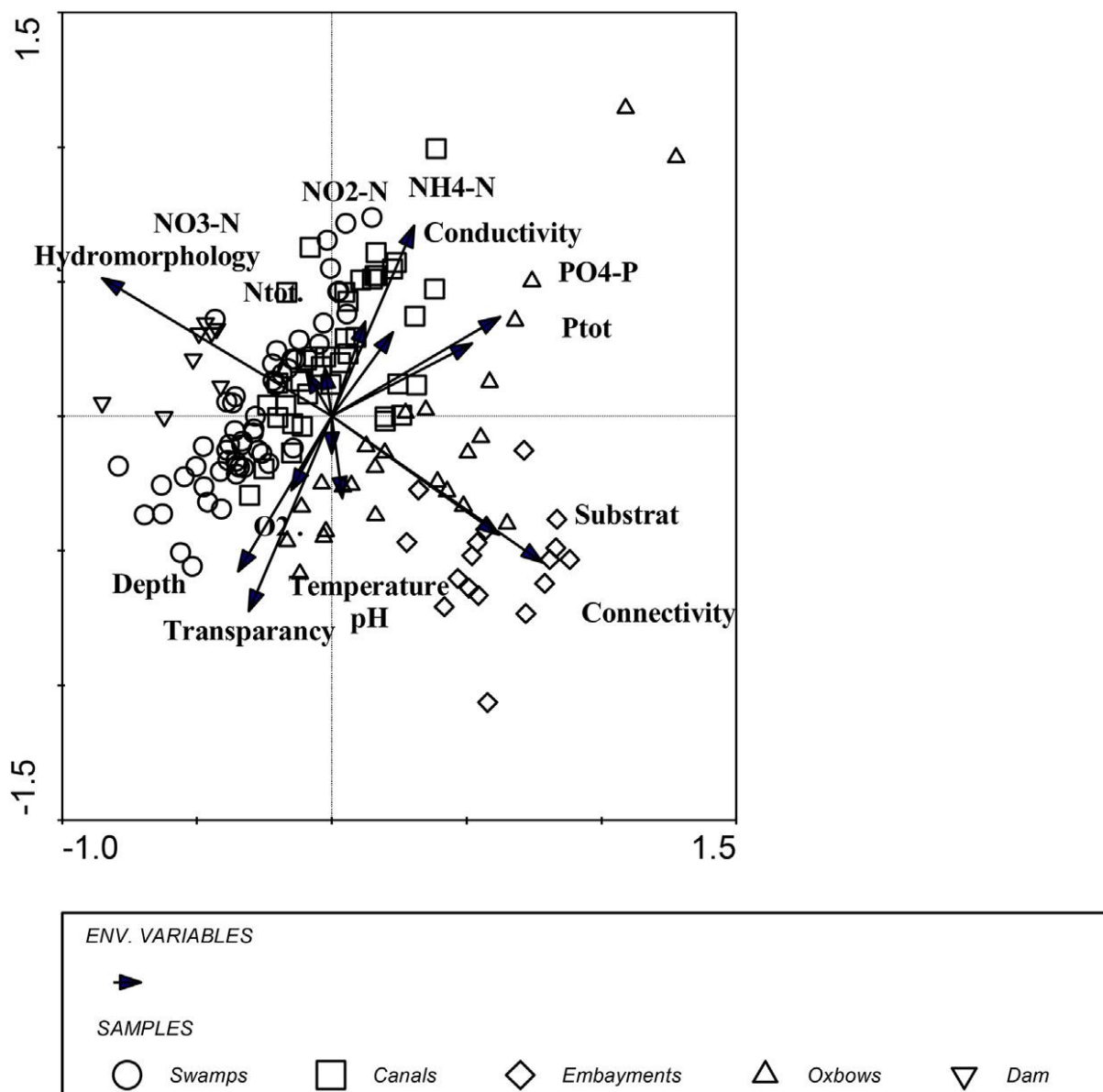
6.1.5. Многомерни анализи

Основната цел на анализите е да идентифицира екологичните фактори, които допринасят за пространствена и времева изменчивост на макрофитните съобщества в стоящи водоеми със специфични хидрологични и морфологични характеристики. Също така е направено сравнение на влиянието на факторите на околната среда върху видовете и техните форми на живот.

Установени са статистически значими разлики между видовия състав на категориите водоеми с различни хидрологични и морфологични характеристики (ANOSIM, $p < 0.01$; глобален $R = 0.457$). Само разликите между категории язовири и канали не са статистически значими ($p = 0.1$). Междугруповата разлика (SIMPER) за различните категории водоеми варира от 85.47% (между категории блатата и заливи) до 64.52% (между категории язовири и канали). Вътрегруповото сходство за всяка категория водоем варира от 30.98% (заливи) до 53.03% (язовири). Най-представителните видове за всяка категория водоем, които съставят 50% от общото вътрегрупово сходство, принадлежат на пет групи растежни форми. Видовете с най-висок принос към вътрегруповото сходство са: *Lemna trisulca* в групата на блатата; *Lemna minor* в каналите; *Ceratophyllum demersum* в язовири; *Lemna minor*, *Spirodela polyrrhiza*, *Salvinia natans*, *Trapa natans* в заливите; *Phragmites australis* и *Myriophyllum spicatum* в мъртвиците. Най-широко представеният вид е *Phragmites australis*, а сред жизнените форми - групите AP и AM, които се срещат в четири от петте типа водни басейни. Видът *Myriophyllum spicatum* и групата SA са представени главно в мъртвиците.

Principal component analysis (анализът на главните компоненти) PCA

PCA (анализ на главните компоненти) показва, че „хидроморфологията“ (Hydromorphology) и „свързаността с главната река“ (Connectivity) са основните екологични фактори, които допринасят за вариацията между пунктовете и за ясното разделяне между петте категории водоеми (Фиг. 11). Тези фактори, както и типът на субстрата, общият фосфор и фосфатния фосфор, имат най-голямо влияние върху PC1. Фактор „свързаност с реката“ е слабо позитивно корелиран с концентрацията на общ фосфор и фосфатен фосфор, докато общият азот е негативно свързан (Фиг. 11). „Свързаността“ е тясно асоциирана с типа на субстрата. Електропроводимостта на водата и азотните съединения от една страна, и физичните променливи (дълбочина, прозрачност, рН, температура) от друга, действащи в противоположни посоки, допринасят за формирането на PC2 (Фиг. 11). От тях, амониевият азот, прозрачността и дълбочината имат по-високи вариации. Електропроводимостта е тясно свързана с концентрациите на азотни йони, особено с амониевия азот.



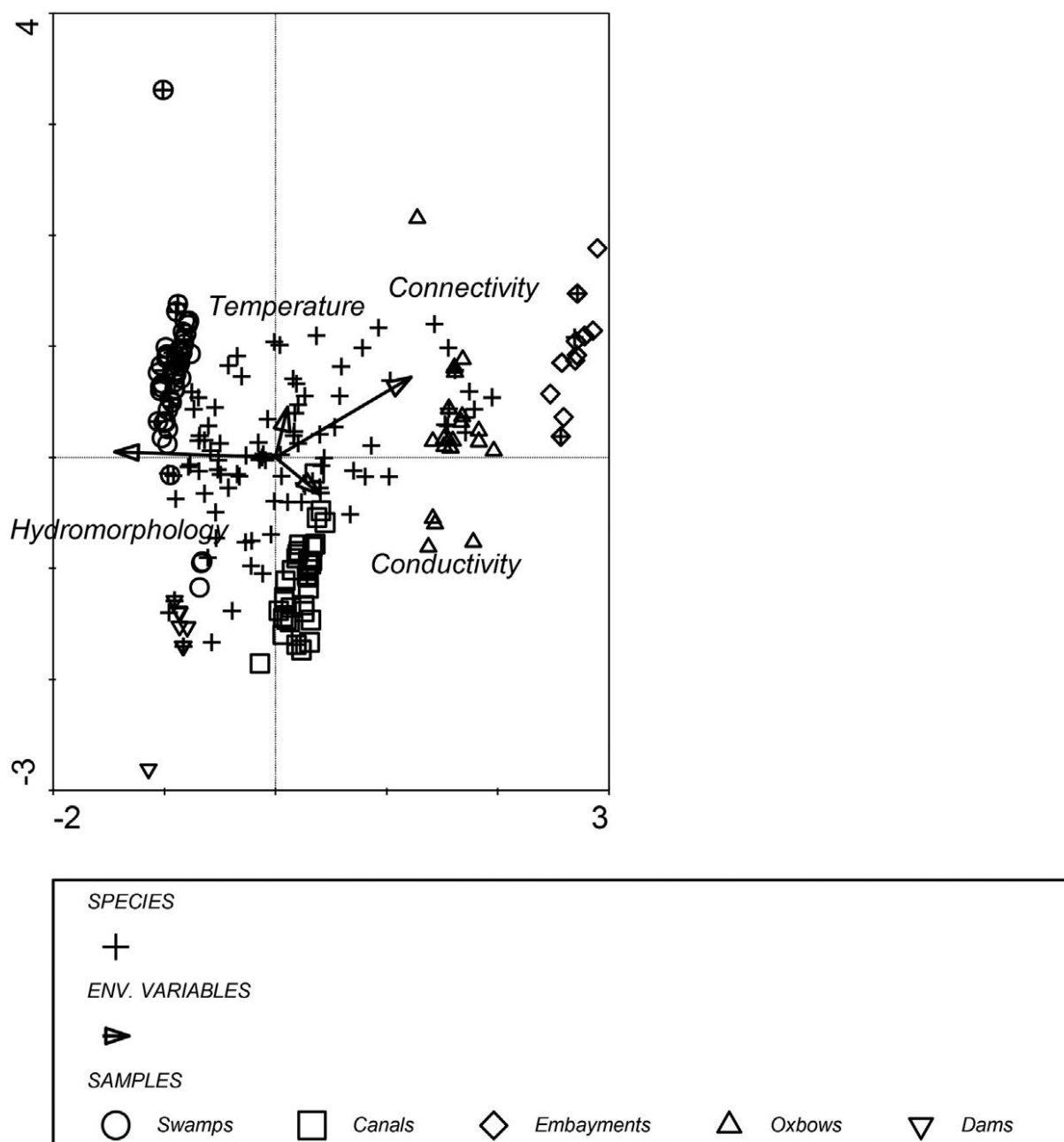
Фигура 11. Ординационна графика на пространствената вариация на проучваните пунктове спрямо факторите на средата. Eigenvalue на първа ос 0.165; eigenvalue на втора ос 0.143. Сума от всички стойности на eigenvalues 0.856.

Каноничен кореспондентен анализ (Canonical correspondence analysis) CCA

Променливите, обясняващи пространствената вариация на макрофитни съобщества (въз основа на видовия състав) са „хидроморфология“ (Hydromorphology) и „свързаност с реката“ (Connectivity) (PC1), и електропроводимост (Conductivity), и температура (Temperature) (PC2) (Фиг. 12). Най-висока проводимост се наблюдава в мъртвици и най-ниска - в блата (Фиг. 12).

Най-характерните видове за каналите, допринасящи най-много за вътрегруповото сходство, са: *Lemna minor*, *Lemna trisulca* и *Ceratophyllum demersum*. Тяхното присъствие кореспондира с високи стойности на електропроводимост и лоши екологични условия,

измерени във водоемите. Тези три вида принадлежат към група С на индикаторни видове (Гечева и др., 2013) и са характерни за повлияни условия.



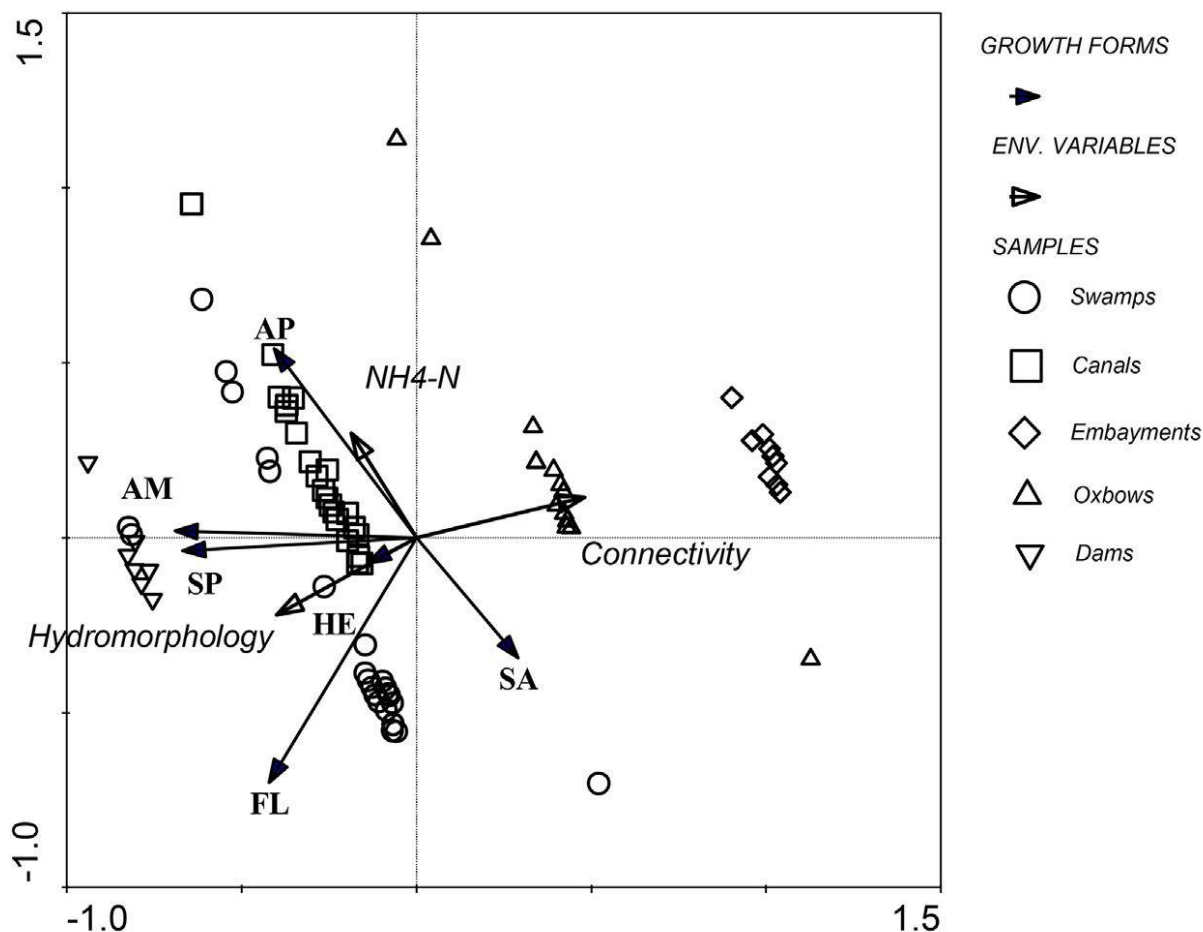
Фигура 12. Парциален ССА ординационен анализ на пространствената вариация на състава и структурата на съобществата на макрофити спрямо фактори на средата. Видовете са зависими променливи, факторите на околната среда и категория водоем са независими. Изключено е влиянието на периода на пробонабиране върху разпределението и състава на съобществата. Eigenvalue на PC1 = 0.225 ($p = 0.002$), на PC2 = 0.113. Обяснена вариабилност: 11.25%.

Също така е известно, че *Ceratophyllum* е нитрофилно растение, което изисква високи нива на неорганичен азот в околната вода поне през част от годината (Goulder and Boatman, 1971). *Ceratophyllum demersum* е и в спиксъка на Европейските толерантни видове (Penning, 2008). В блатата *Lemna trisulca* е най-обилния вид, за разлика от каналите, където е *Lemna minor*. Други характерни видове за блатата са *Hydrocharis*

morsus-ranae и *Salvinia natans*. Видът *Hydrocharis morsus-ranae* е включен в списъка с видове от гр. А, които имат високо обилие в референтни пунктове. Той е чувствителен към различни видове замърсяване, но не е намиран в олиготрофни условия, така че по-скоро е характерен за мезотрофни води (Catling et al., 2003). *Salvinia natans* е рядък вид за България, но като цяло се води толерантен към различни екологични условия на средата (Penning, 2008).

Redundancy Analysis (RDA)

RDA анализът (на база на макрофитни растежни форми) асоциира „хидроморфологията“ и „свързаността с реката“ към първата главна ос (PC1), и амониевия азот към втора главна ос (PC2). Тези променливи достоверно обясняват общо 9,77 % от пространствените вариации (Фиг. 13). Всички групи, с изключение на SA, са обратно корелирани със „степеня на свързаност с реката“ (Фиг. 13). Това важи особено за групата SP, която е свързана предимно с пунктове от категория язовир. Групите макрофити, най-силно корелирани с концентрация на амония (силна положителна спрегнатост), са свободно плаващите видове (AP) и потопените видове SA (силно отрицателна връзка).



Фигура 13. Парциален RDA ординационен анализ на пространствената вариация на растежните форми като зависими променливи. Независими променливи са „категория водоем“, „свързаност с реката“ и амониев азот ($\text{NH}_4\text{-N}$). Изключено е влиянието на периода на пробонабиране. Eigenvalue на PC1 = 0.065 ($p = 0.002$), на PC2 = 0.027. Обяснена вариабилност 9.77%.

ANOSIM и SIMPER анализите показват, че изследваните водоеми достоверно се различават по видов състав на макрофитите, както на ниво видове, така и на ниво растежни форми. Разграничават се 4 или 5 най-представителни вида за всяка категория водоем. Най-важните фактори, обясняващи пространствената вариация на пунктовете, са „свързаността с главната река“ и „хидроморфологията“. Те представят градиента между краткотрайно лотични (при високо ниво на реката) и напълно лентични условия (от речни заливи до блата), като се утвърждават като решаващи за разпределението на видовете между пунктовете за пробонабиране. Покрай намаляващата свързаност с реката, водоемите са подредени в следния ред: речни заливи (постоянно свързани), мъртвици, канали, блата (частично свързани) и язовири (напълно изолирани). В същата посока, се променя и субстратът: от смесен (тиня, пясък и камъни) до предимно тиня.

Всъщност „свързаността с главната река“ определя до голяма степен хидрологичният режим и функциониране на екосистемата на влажната зона (Bornette et al., 1998) и съответно разпространението на макрофитите (Sarbu et al., 2011; Schneider et al., 2018). По този начин, в зависимост от свързаността с реката, влажните зони могат да действат като източници или депа на хранителни вещества (Bondar et al., 2007; Hein et al., 2005). Макрофитите играят важна роля в тези процеси. Във водоемите край р. Дунав промиваният ефект на речните води, измивайки богатите на хранителни вещества седименти, е сведен до минимум или изобщо липсва (Kalchev et al., 2014). Следователно те функционират предимно като депа на биогенни елементи, което води до честа поява на условия на аноксия, благоприятстващи денитрификацията и освобождаването на фосфор от седиментите. Освен това развитието на макрофитите увеличава усвояването на азот, но също така осигурява органична материя, чието разграждане води до по-силно изчерпване на кислорода и стимулиране на денитрификация (Kalchev et al., 2014).

Електропроводимостта и температурата също обясняват пространственото разпределение на пробите (на базата на макрофини видове), но в по-малка степен от хидроморфологичните променливи (Фиг. 12). Основният градиент на електропроводимостта е между канали (най-високите стойности) и блата (по-ниски стойности). Този градиент също е в съответствие с екологичния потенциал/състояние на водоемите, който за повечето канали, е Лош, докато в блатата варира между Лош и Добър, като повечето от тях са оценени в Умерено състояние/потенциал). Вероятна причината за по-висока електропроводимост и Лош екологичен потенциал, установени в каналите е използването на торове в техните водосборни басейни. Една от основните функции на каналите е да дренират обработваемата земя. Като мярка за концентрация на разтворените йони във водата, включително основните хранителни вещества, електропроводимостта може да бъде показател за съдържанието на биогени във водата, а не да бъде фактор, контролиращ присъствието на видовете сами по себе си (Kadono, 1982). Въпреки това, в много проучвания, тя представлява един от основните фактори отговорни за пространствено-времевата вариабилност на макрофитните съобщества (Chappuis et al., 2014; Marchetti and Scarabotti, 2016). Макрофитните видове показват различни граници на толерантност към електропроводимостта (Kadono, 1982). Непряката връзка между градиента на електропроводимостта и екологичното състояние/потенциал ни позволява да разгледаме видовете, представителни за каналите, като свързани с лоши екологични условия, и тези представени в блатата като индикативни за по-добри екологични условия. По този начин нашите резултати потвърждават други данни, че видът *Lemna minor* е добър индикатор за висока проводимост и високо трофично състояние (Onaindia et al., 2005), и че *Lemna minor* и *Lemna trisulca* (представителни за канали) предпочитат различни трофични условия (McIlraith et al., 1989). *Ceratophyllum demersum* (представителен за групата на каналите,

но не и в блата), е също известен като вид, обитаващ еутрофизирани води (Гечева и др., 2013) при високи стойности на проводимост (Kadono, 1982). От друга страна *Hydrocharis morsus-ranae* и *Salvinia natans* (представителни за блата, но не и за канали), се свързват с добро екологично състояние (Гечева и др., 2013) и умерени условия (Pereira et al., 2012) съответно.

Анализът на RDA разкрива променливите, обясняващи пространствените вариации на пунктовете въз основа на макрофитните растежни форми (групи) (Фиг. 13). Въпреки, че процентът на обяснената вариация по групи, е малко по-малка от тази по видове (съответно 9,77 % и 11,25 %), резултатите от двата анализа са доста сходни. При това „хидроморфологията“ и „свързаността с реката“ играят основна обяснителна роля и в двата анализа. Почти всички групи макрофити, с изключение на SA, са отрицателно спрегнати със степента на „свързаност с реката“ и корелират с преобладаващо лентични условия. Увеличаването на „свързаността с главната река“ води до по-голяма нестабилност на хидрологичните условия (воден вток, заливен пулс и колебания във водното ниво). Водният вток може да причини механично увреждане или изкореняване на потопени и вкоренени растения (SP), и би могъл да отмие свободно плаващи видове (AP, SP). Хелофитните видове могат да бъдат „удавени“, ако бъдат залети за дълги периоди. Освен с хидроморфологичните фактори, пространствените вариации на пунктовете са обяснени, също и с концентрацията на амониев азот, вместо елеткропроводимост, както е в случая на базата на макрофитните видове (Фиг. 12 и Фиг. 13). Въпреки това, както електропроводимостта на водата, така и концентрацията на $\text{NH}_4\text{-N}$ са свързани с трофичните и екологични условия и се разграничават предимно между канали и блата. Свободно плаващите растения (AP група), са по-засегнати от наличието на хранителни вещества (Zhou et al., 2017), тъй като те поемат хранителни вещества от водния стълб (Bini et al., 1999), а оттам и тяхната връзка с измерените високи концентрации на биогени е резонна (Pereira et al., 2012). Силната положителна връзка между AP групата и $\text{NH}_4\text{-N}$ вероятно е показател, че по-високата концентрация на амониев азот може да стимулира растеж на AP свободно плаващи растения. Подобни констатации са установени и от други автори (Pereira et al., 2012). Тази връзка също показва, че най-вероятно азотът е ограничаващ фактор и вероятно амониевият азот е предпочитаната форма за макрофитите. Водещата роля на азота за ограничаване на растежа на водните макрофити и предпочитанието им към амониеви йони е демонстрирано в други проучвания (Barko et al., 1991; Spencer and Ksander, 2003). Азотното лимитиране е характерно за еутрофни и хипертрофни води поради ниското им N/P съотношение (Downing and McCauley, 1992). Авторите съобщават 15,028 за средно съотношение N/P на макрофитни тъкани в еутрофни води. Това съотношение варира значително в изследваните от нас влажни зони, но средните му стойности са отчетливо по-ниски от 15 (Фиг. 14). Сравнявайки влажни зони в българския участък на Дунав (Долен Дунав) и унгарския участък (Среден Дунав), Kalchev et al. (2014) също заключава, че в българските дунавски влажни зони азотът е бил лимитиращ фактор. Това се отнася особено за групата на плаващите видове макрофити. От друга страна, вкоренените макрофити изглежда са по-конкурентни при по-ниски концентрации на хранителни вещества във водния стълб, защото използват хранителни вещества от седимента. Това може да обясни високата отрицателна връзка между $\text{NH}_4\text{-N}$ и групата на вкоренени потопени растения (SA) и по-слабата негативна връзка с FL група, състояща се от видове с корени и плаващи листа. В допълнение, амониевият азот може също да има токсичен ефект върху някои видове. Свободно плаващите водни растения обикновено са по-толерантни към амониеви йони в сравнение с потопените растения (Zhou et al., 2017). Значителен брой свободно плаващи видове продължават да растат при относително

високи концентрации на NH_4^+ , но токсичността на амония върху повечето потопени растения се проявява при значително по-ниски концентрации (Zhou et al., 2017).

Времевите вариации (по месеци) са много по-слабо изразени от пространствените и с много по-малък процент на обяснена вариабилност. На едни етапи от жизнения си цикъл макрофитите приемат хранителни вещества за своя растеж, а в други освобождават хранителни вещества в околната среда, особено по време на тяхното гниене (Holmroos et al., 2015 г.). По този начин наблюдаваната от нас вариация съответства на растежния цикъл на макрофитите през сезоните. Интензивният растеж на макрофити води до изчерпване на хранителни вещества, по-специално азот, като ограничаващо хранително вещество. С настъпването на есента повечето макрофити започват да умират, тяхната органична материя се разлага и води до увеличаване на азотни съединения във водата. Така, сезонната динамика на водната растителност е тясно свързана с кръговрата на азота във водата.

6.2. Фитоценоотично проучване на водната растителност

По време на изследването са описани значителен брой синтаксони на хидрофитна и хелофитна растителност. Направени са 482 фитоценоотични описания на растителността в района на проучване. Установените синтаксони са представени от: 4 класа, 7 разреда, 11 съюза, 33 асоциации, 17 съобщества. Няколко синтаксона са описани за първи път за България: асоциация *Najadetum marinae* – установена на територията на залив на р. Янтра при с. Ценово; асоциация *Potamo-Ceratophylletum submersi* Pop 1962 – установена в отводнителен канал на остров Белене, блатото Гарван и мъртваца на р. Янтра при с. Кривина; асоциация *Potametum graminei* Lang 1967 – установена в залив на р. Дунав, в близост до гр. Белене; асоциация *Ceratophyllo demersi-Elodeetum nuttallii* установена от няколко локалитета: канал в зона Бръшлен, ез. Сребърна (пункт Южен шлюз), и ез. Малък Преславец.

Най-често срещани се асоциации на хидрофитна растителност са: *Lemnetum minoris*, *Salvinio natantis-Spirodeletum polyrhizae*, *Lemnetum trisulcae*, *Ceratophylletum demersi*.

Най-рядко срещани се асоциации на хидрофитна растителност са: *Stratiotetum aloidis*, *Potametum graminei*, *Lemnetum gibbae*, *Potametum lucentis*.

Най-често срещани се асоциации на хелофитна растителност са *Phragmitetum australis*, *Typhetum angustifoliae*.

Най-рядко срещани се асоциации на хелофитна растителност са: *Typhetum laxmannii*, *Thelypterido palustris-Phragmitetum australis*.

Най-богато във фитоценоотично отношение е ез. Сребърна, където са установени 17 асоциации и две съобщества

6.2.1. Растителност на изследвания район

В тази подглава е разгледана синтаксономичната принадлежност на фитоценозите в района на изследване на дисертационния труд. Асоциациите и съобществата са разгледани последователно, като всички са описани и разгледани подробно.

6.2.2. Синтаксономична схема на растителността

Клас *Lemnetea* O. de Bolòs et Masclans 1955

Разред *Lemnitalia minoris* O. de Bolos et Masclans 1955

Съюз *Lemnion minoris* O. de Bolòs et Masclans 1955

1. Асоциация *Lemnetum minoris* von Soo 1927
2. Асоциация *Lemnetum trisulcae* den Hartog 1963
3. Асоциация *Lemno-Spirodeletum polyrhizae* Koch 1954
4. Асоциация *Lemnetum gibbae* Miyawaki et J. Tuxen 1960
5. Асоциация *Salvinio natantis-Spirodeletum polyrhizae* Slavnić 1956

Съюз *Utricularion vulgaris* Passarge 1964

6. Асоциация *Lemno-Utricularietum* Soo 1947
7. Асоциация *Spirodelo polyrhizae-Aldrovandetum vesiculosae* Borhidi & Jarai-Komlodi 1959

Съюз *Stratiotion* Den Hartog et Segal 1964

8. Асоциация *Hydrocharitetum morsus-ranae* van Langendonck 1935
9. Асоциация *Stratiotetum aloidis* Miljan 1933
10. Асоциация *Ceratophylletum demersi* Corillion 1957
11. Асоциация *Potamo-Ceratophylletum submersi* Pop 1962

Клас *Potamogetonetea* Klika in Klika & Novák 1941

Разред *Potamogetonetalia* Koch 1926

Съюз *Potamogetonion* Libbert 1931

12. Асоциация *Potametum graminei* Lang 1967
13. Асоциация *Potametum lucentis* Hueck 1931
14. Асоциация *Potamo pectinati-Myriophylletum spicati* Rivas Goday 1964
15. Асоциация *Najadetum marinae* Fukarek 1961
16. Асоциация *Potametum crispum* von Soo 1927
17. Асоциация *Potametum pectinati* Carstensen ex Hilbig 1971
18. Асоциация *Ceratophyllo demersi-Elodeetum nuttallii* Ciocârlan et al. 1997

Съюз *Nymphaeion albae* Oberdorfer 1957

19. Асоциация *Nymphaeetum albae* Vollmar 1947
20. Асоциация *Trapetum natantis* Kárpáti 1963
21. Асоциация *Nymphoidetum peltatae* Bellot 1951
22. Асоциация *Potamo natantis-Polygonetum natantis* Knapp et Stoffers 1962

Клас *Bidentetea* Tx. & al. ex von Rochow 1951

Разред *Bidentetalia* Br.-Bl. et Tx. ex Klika et Hadač 1944

Съюз *Bidention tripartitae* Nordhagen ex Klika et Hadač 1944

23. Съобщество на *Persicaria hydropiper*
24. Съобщество на *Persicaria mitis*
25. Съобщество на *Persicaria lapathifolia*

Разред *Paspalo-Heleochoetalia* Br.-Bl. ex Rivas Goday 1956

Съюз *Paspalo-Agrostion semiverticillati* Br.-Bl. in Br.-Bl. et al. 1952

26. Съобщество на *Paspalum distichum*

Клас *Phragmito-Magnocaricetea* Klika in Klika et Novák 1941

Разред *Phragmitetalia* Koch 1926

Съюз *Phragmition communis* Koch 1926

- 27. Асоциация *Typhetum angustifoliae* Pignatti 1953
- 28. Асоциация *Typhetum latifoliae* Nowiński 1930
- 29. Асоциация *Typhetum laxmannii* Nedelcu 1968
- 30. Асоциация *Phragmitetum australis* Savič 1926
- 31. Асоциация *Glycerietum maximae* Nowiński 1930 corr. Šumberova et al. in Chytrý 2011
- 32. Асоциация *Glycerio-Sparganietum neglecti* Koch 1926
- 33. Асоциация *Schoenoplectetum lacustris* Chouard 1924
- 34. Асоциация *Iridetum pseudacori* Eggler ex Brzeg et Wojterska 2001

Разред *Oenanthetalia aquaticae* Hejný ex Balátová-Tuláčková et al. in Mucina et al. 1993

Съюз *Eleocharito palustris-Sagittarion sagittifoliae* Passarge 1964

- 35. Асоциация *Oenanthetum aquaticae* Soo ex Nedelcu 1973
- 36. Съобщество на *Alisma plantago-aquatica*
- 37. Асоциация *Butometum umbellati* Philippi 1973

Разред *Nasturtio-Glycerietalia* Pignatti 1953

Съюз *Glycerio-Sparganion* Br.-Bl. et Sissingh in Boer 1942

- 38. Съобщество на *Berula erecta*

Разред *Magnocaricetalia* Pignatti 1953

Съюз *Carici-Rumicion hydrolapathi* Passarge 1964

- 39. Асоциация *Thelypterido palustris-Phragmitetum australis* Kuiper ex van Donselaar et al. 1961

Съюз *Magno-Caricion gracilis* Géhu 1961

- 40. Съобщество на *Cyperus longus*

Други съобщества:

Съобщество на *Gratiola officinalis*

Съобщество на *Bidens cernua*

Съобщество на *Juncus conglomeratus*

Съобщество на *Lycopus europaeus*

Съобщество на *Lysimachia nummularia*

Съобщество на *Juncus effusus*

Съобщество на *Carex pseudocyperus*

Съобщество на *Mentha aquatica*

Съобщество на *Bolboschoenus maritimus* agg.

Съобщество на *Xanthium italicum*

6.2.3. Анализ на параметрите на околната среда

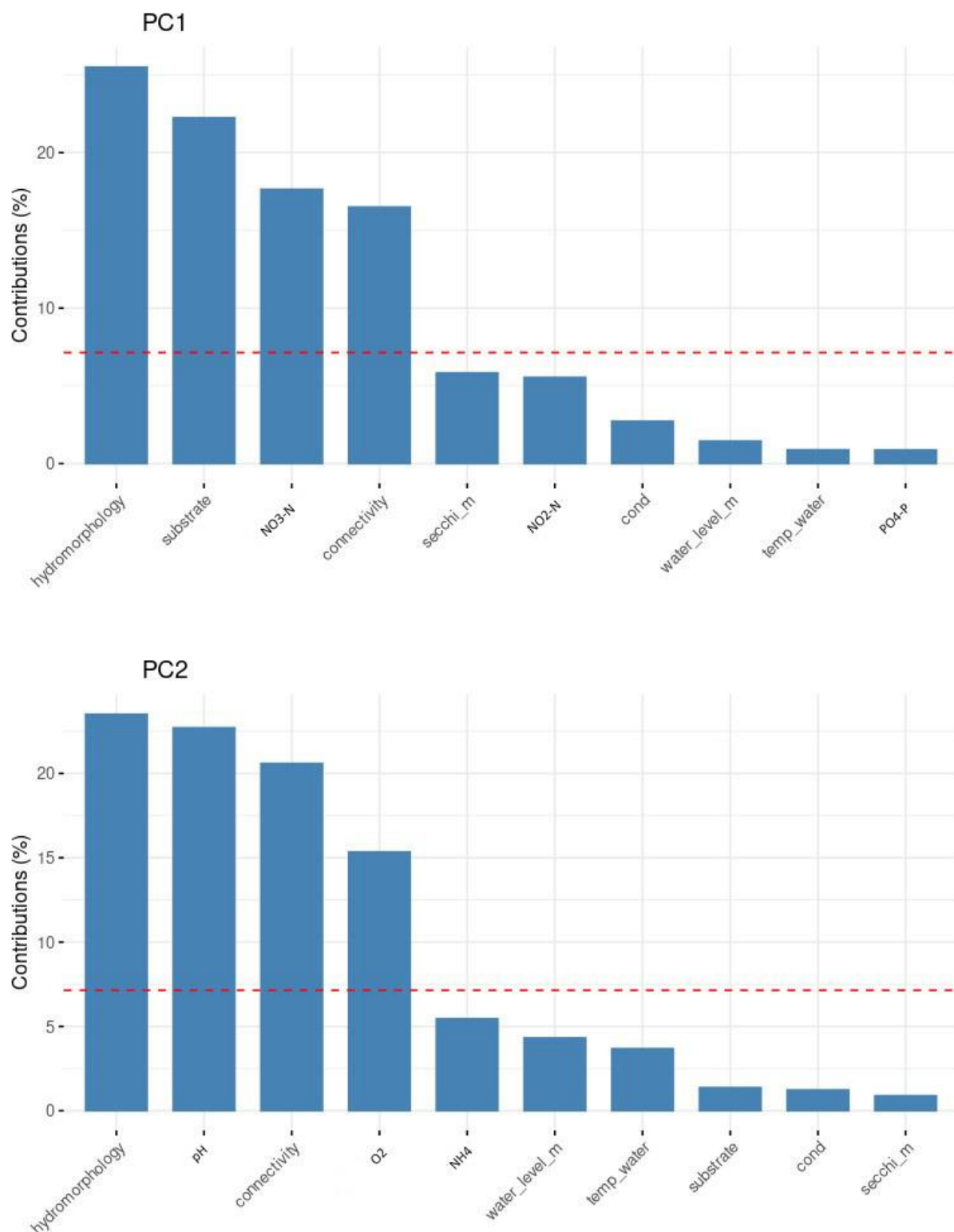
В този раздел е направено сравнение на асоциациите спрямо условията на средата, които те обитават. Показани са границите на измерените фактори на средата, в които обитават изследваните хидрофитни и хелофитни асоциации. В най-широк диапазон на вариране на физичните показатели температура, прозрачност, електропроводимост и дълбочина са установени ценози на *Ceratophylletum demersi* и *Lemnetum minoris*. Ценозите на асоциация *Salvinio natantis-Spirodeletum polyrhizae* се открояват като най-толерантни към най-много показатели на средата - общ фосфатен фосфор, фосфати, фосфатен фосфор, рН, O₂, електропроводимост. Ценозите на *Lemnetum trisulcae* се срещат в широк диапазон на прозрачност, фосфати и амониеви йони. Ценозите на *Lemnetum minoris* се срещат в широк диапазон на температура, общ азот, нитрити, нитритен азот и амониеви йони. В широк диапазон на повечето фосфатни форми се срещат ценозите на *Salvinio natantis-Spirodeletum polyrhizae*. В широк диапазон на повечето азотни форми са срещат ценозите на *Potamo pectinati-Myriophylletum spicati* и *Najadatum marinae*. Общ фосфор и общ азот са в най-широк диапазон за ценозите доминирани от представители на род *Potamogeton* - съответно за общ фосфор *Potametum crispum*, за общ азот *Potametum pectinati*. Ценозите на плаващите на повърхността на водата видове (*Lemna minor*, *Lemna trisulca*, *Salvinia natans*, *Spirodela polyrhiza*) и *Ceratophyllum demersum*, *Myriophyllum spicatum*, *Potamogeton pectinatus*, *Potamogeton crispus*, *Najadatum marinae* са с широк диапазон към различни фактори на средата, което показва, че те явно са по-толерантни към разнообразни условията на водната средата, и някои от тях издържат на по-високи нива на биогени и еутрофикация. Ценозите на различните асоциации са толерантни към отделни фактори на средата, което показва, че комплексните съобщества с повече видове са по-адаптивни към местните условия, и по-добре усвояват различните биогенни вещества и техните форми.

В най-широк диапазон на всички изследвани показатели в пробни площи на ценози на хелофитни асоциации, са установени ценози на асоциация *Phragmitetum australis*. Изключение прави само показател нитрити. Ценозите на *Typhetum laxmannii* са установени във водна среда с широко вариране на концентрацията на нитрити. Ценозите на *Typhetum angustifoliae* също са установени във водоеми, в които повечето от изследваните показатели - температура, фосфати, рН, O₂, общ азот, амониеви йони, електропроводимост и водно ниво варират в широки граници

6.2.5. Многомерни анализи на фактори на средата, влияещи върху фитоценозите на асоциациите

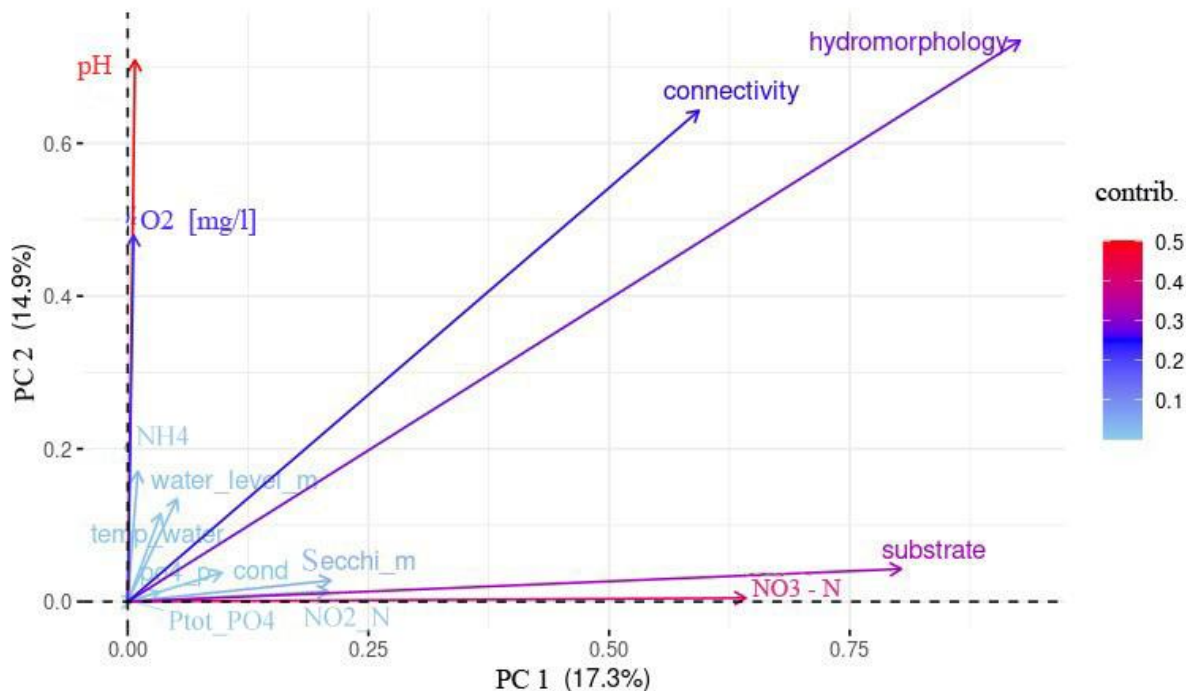
6.2.5.1. Влияние на фактори на средата върху ценози на хидрофитни асоциации

FAMD многофакторен анализ на параметри на околната среда в пробни площи на ценози на хидрофитни асоциации



Фигура 53. А. Графика на фактори на средата, които най-силно допринасят към ос 1 (PC1) и ос 2 (PC2) във FAMD многофакторен анализ с количествени и категорийни фактори на средата в пробни площи на хидрофитни съобщества.

„Хидроморфологията“ (hydromorphology) е водещия фактор за първата ос (PC1), следван от субстрата (substrate), нитратите (NO₃-N) и „свързаността с реката“ (connectivity) (Фиг. 53. А). „Хидроморфологията“ е водещият фактор и за втората ос (PC2), следван от рН, „свързаността с реката“ и кислорода.

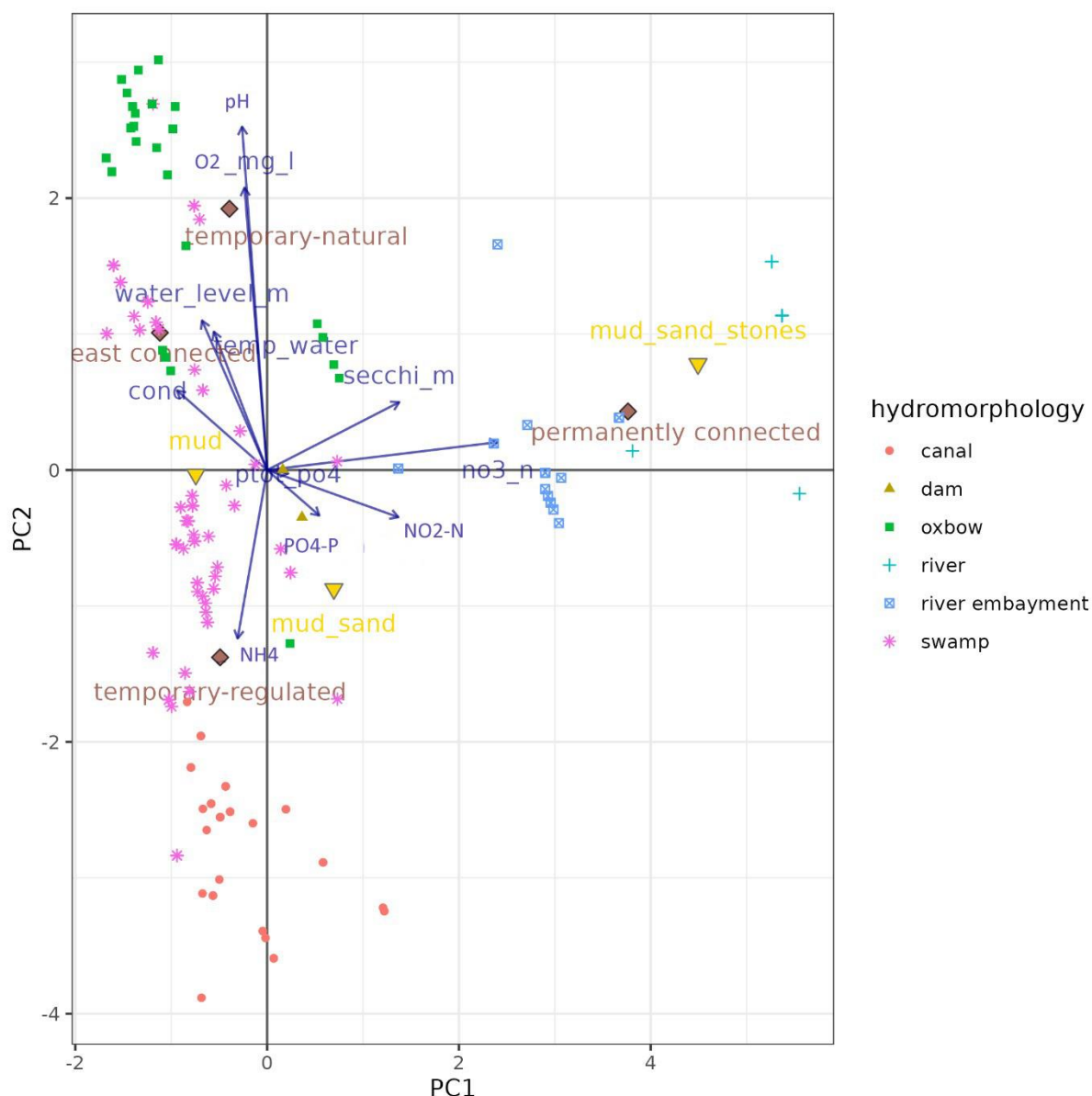


Фигура 53. Б. FAMD. Вектори на факторите на средата представени в комбинирана графика, включваща количествени и категорийни променливи. Първата ос (PC1): eigenvalue 3.631, обяснява 17,29 % от общата вариация; втората ос (PC2): eigenvalue 3.125, обяснява 14,87 % от общата вариация.

Фактори, които са най-силно корелирани с първа ос са: нитрати (NO₃-N), тип на субстрата (substrate), „хидроморфология“ (hydromorphology) и „свързаност с реката“ (connectivity) (Фиг. 53 Б). Фактори, които са най-силно корелирани с втора ос са: рН, кислород, „хидроморфология“ и „свързаност с реката“ (Фиг. 53. Б).

Факторите кислород и рН са корелирани с втората ос, и нарастват в посока на групата на мъртвиците (oxbow) (Фиг. 53. В. б.), където са измерени най-високи стойности на кислород и рН. Двата фактора не са директно взаимно зависими. Но въпреки това, в някои случаи се наблюдава косвена връзка поради влияние на други външни фактори, като например завишено количество на биогенни вещества (Boto and Bunt, 1981), водещо до повишаване на развитие на водорасли. Някои експерименти установяват значима положителна линейна корелация между рН и разтворения кислород за полеви експерименти в затворени помещения (Zang et al., 2011).

Завишените стойности на кислорода в мъртвиците могат да се дължат на постоянната връзка на мъртвицата с реката, което благоприятства постъпването на повече кислород. Постоянният воден вток от реката опреснява водата в мъртвицата и подобрява кислородни условия (Dembowska and Napiórkowski, 2015). Развитието на фитопланктона също е фактор, който би могъл да допринася за повишаване на кислорода.



Фигура 53. В.б. FAMD ординационна графика на пространствената вариация спрямо факторите на средата и проучваните ценози на хидрофитни асоциации. Представяне на резултатите спрямо категориите на променливата „хидроморфология“ („hydromorphology“).

Ниските нива на кислород в каналите и част от блатата може да се дължи на кислороден дефицит поради обрастване с плаваща и хелофитна растителност, лимитирана аерация на повърхностния слой вода и висока биологична продуктивност, особено през лятото (Saha et al, 2022; Van den Brink et al., 1992; Chimney and Pietro, 2006). Именно през най-топлият сезон, когато каналите и блатата с регулиран режим не се оводняват от реката, се наблюдават кислородни дефицити, което е констатирано и от Dembowska and Napiórkowski (2015).

Фактор нитрати силно корелира с първа ос (Фиг. 53. В.б.), като едновременно е асоцииран с позицията на речните пунктове. Това е отражение на по-високите стойности на нитратите в реките и речните заливи. Останалите групи водоеми имат приблизително сходна концентрация на нитрати. Замяряването от дифузни източници в района на трите изследвани реки Осъм, Вит и Янтра е главно от населени места без канализационна

система, от земеделски земи, които се третира с торове, от нерегламентирани сметища (Филипова и др., 2014). Като цяло селскостопанските практики във водосбора на реките са главният фактор, допринасящ за замърсяването с азот. Реките, които дренират земи с интензивно селско стопанство имат най-високи концентрации на нитрати (European Environment Agency (EEA), 2023).

Субстратът също корелира силно с първа ос (Фиг. 53.В.б.). Той отново води до ясно групиране на водоемите. Пробните площи с фитоценози, описани в реките и речните заливи, се групират в дясната част на графиката, около субстрат тиня, пясък и камъни. Пробни площи от мъртвици, канали и блата, където преобладаващ субстрат е тиня, се групират в обратната посока на тази ос, в противоположната част на графиката (Фиг. 53.В.б.).

Факторите „хидроморфология“ и „свързаност с реката“ допринасят за групиране на водоемите в съответните категории: реки и речни заливи, които имат постоянна връзка, са групирани в дясната част на графиката. Мъртвиците, блатата и каналите се групират от ляво. Повечето пунктове от групата на мъртвиците, които имат естествена връзка с реката в единия си край, се обединяват в горната част. Повечето от блатата също имат регулирана връзка с реката. Каналите се обособяват в долния край на графиката (Фиг. 53.В.б.).

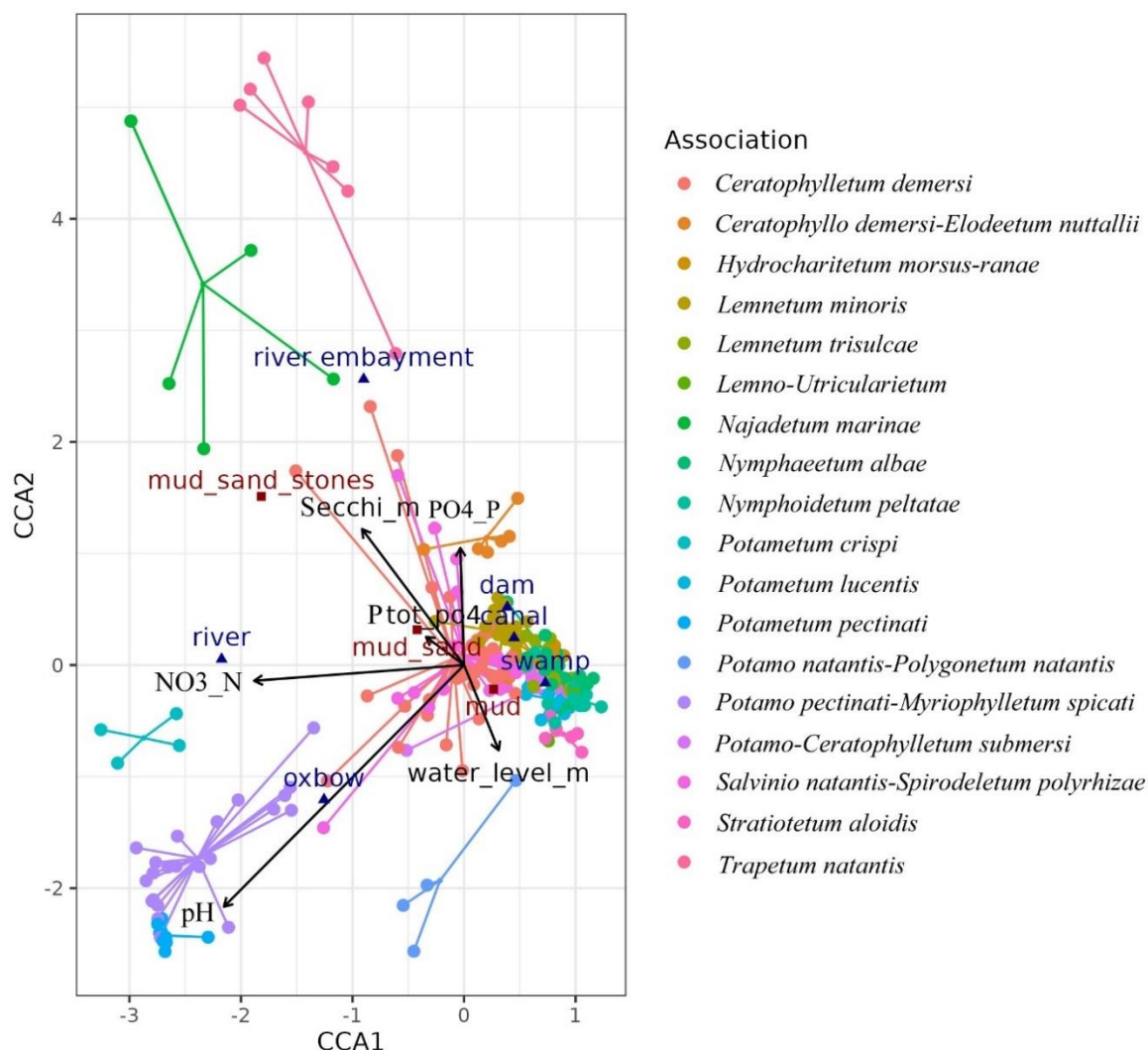
Групата на каналите е свързана с концентрацията на амониеви йони. Голяма част от каналните системи дренират селскостопанските земи, през които минават. В резултат от използването на различни торове, в каналите се повишава концентрацията на амониеви йони. В тази хидроморфологична група доминират *Lemna minor* (група на АР акроплейстофити). Обвързаността на акроплейстофитите с нивата на амоний и с групата на каналите е илюстрирана анализа на растежните форми в предходна глава.

Според PERMANOVA анализ за ценози на хидрофитните асоциации, параметрите на средата, които най-добре обясняват разликите между съобществата и са статистически достоверни ($p < 0.05$) са: хидроморфологията (hydromorphology), $PO_4\text{-P}$, свързаност с реката (connectivity), типа на субстрата (substrate), водното ниво (water_level_[m]), $NO_2\text{-N}$, $NO_3\text{-N}$, $P_{tot}\text{-}PO_4$, NH_4 , прозрачността по Секи (Secchi_[m]), pH, температурата на водата (temp_water). Само статистически значимите параметри са използвани в последващите анализи.

ССА анализ

Най-добрият модел свързващ ценози на хидрофитните асоциации с факторите на средата, определен чрез „backward stepwise selection“, включва следните фактори: хидроморфология, $PO_4\text{-P}$, прозрачност, pH, водно ниво, тип на субстрат, $NO_3\text{-N}$, и $P_{tot}\text{-}PO_4$.

Описанията на ценозите на асоциация на *Potametum crispum* са групирани по посока на хидроморфологична категория „река“ („river“) (Фиг. 54), т.к. повечето са установени в речни пунктове, които както беше коментирано в предния анализ FAMD, се характеризират с наличие на завишени концентрации на нитрати, и на ССА диаграмата се вижда, че има положителна връзка между ценозите на *Potametum crispum* и нитратите. Тези ценози показват положителна връзка с фактори нитрати и pH, установено и в други проучвания на асоциациите на вида от Yousif et al. (2020).



Фигура 54. Парциален ССА ординационен анализ на пространствената вариация на състава и структурата на фитоценози на хидрофитни асоциации спрямо фактори на средата. Изключено е влиянието на периода на пробовзимане върху състава и структурата на ценозите. Първата ос обяснява 5,32 %, втората ос обяснява 3,5 % от общата вариация. Eigenvalue на първата ос: 0.586 ($p = 0.001$), на втората: 0.385 ($p = 0.001$), обща обяснена вариация: 11.08%. Представен е „spider plot“, показващ „центъра“ на всяка асоциация, с който е свързана всяка ценоза, принадлежаща към тази асоциация. Векторите представляват количествените фактори на средата, а точките – центроидите на нивата на качествените фактори хидроморфология (сини триъгълници) и субстрат (червени квадрати).

В свое изследване на род *Potamogeton* Hellquist (1980) отбелязва, че *Potamogeton crispus* явно се нуждае от висока алкалност и висока концентрация на биогени, за да оцелява. Ценозите на *Potametum crispum* са и едни от тези, характеризиращи се с най-висока стойност на нитрати според нашето проучване, както и ценозите на *Potametum crispum*-*Myriophylletum spicatum* (Фиг. 27), които се групират в посоката на този фактор. Видът *Potamogeton crispus* принадлежи към група С на видовете, толерантни към повлияни условия (Гечева и др., 2013), и към Европейския списък на толерантни видове (Penning et al., 2008).

Описанията на ценози на асоциации на *Najadetum marinae* и *Trapaetum natantis* са групирани около категория „речен залив“, както и съответния субстрат, характерен за тази категория. Тези ценози за наблюдавани именно в речни заливи на р. Янтра и р. Дунав. „Речните заливи“ също така са групирани в посока на фактор фосфатен фосфор, като именно в тази категория водоеми е измерена най-висока концентрация на фосфатен фосфор. Видът *Trapa natans* е включен в Европейския списък на толерантни видове (Penning et al., 2008). *Najas marina* също е част от списък с толерантни видове към богати на биогенни вещества води (Schaumburg et al., 2014b). Ценозите на двете асоциации са наблюдавани заедно, обитаващи залив на р. Янтра при с. Ценово. Фитоценозите на *Najas marina*, *Trapa natans* и част от *Ceratophylletum demersi* са разположени в посока на фактор общ фосфор. Такава взаимовръзка за *Najas marina* е документирана и в проучване на Yousif et al. (2020). Фитоценозите на *Najas marina* показват позитивна връзка с прозрачността. Hilt and Gross (2008) съобщават, че видът *Najas marina* е способен да потиска епифитите и развитието на фитопланктон чрез алелопатично активни вещества, и може би поради тази причина, ниската концентрация на фитопланктон около ценозите на вида води до по-висока прозрачност в тези площадки.

Ценозите на *Potamogeton pectinatus* и *Potamo pectinatus-Myriophylletum spicatum* са позитивно свързани с рН на водата и са групирани около категория „мъртваца“ („oxbow“) (Фиг. 54). И в двете асоциации видът *Stuckenia pectinata* е диагностичен и техните ценози често се срещат заедно в изследваните водоеми, като са установени с най-много описания от мъртваца на р. Янтра, при селата Ценово и Кривина. Ценозите и на двете асоциации са в положителна корелация с нивата на рН. Както беше посочено и от FAMD анализ на факторите на средата, високото рН е характерно за групата на мъртваците. Ценози на двете асоциации се срещат заедно и в река Вит, при гр. Гулянци. *Potamo pectinatus-Myriophylletum spicatum* е установена с няколко описания от р. Вит, затова и „spider plot“-а е леко изместен в посока категория реки. Видът *Stuckenia pectinata* също принадлежи към групата на видовете, толерантни към повлияни условия (Schaumburg et al., 2014a, b), като е включен и в Европейския списък на толерантни видове (Penning et al., 2008). Видът *Myriophyllum spicatum* е толерантен към широк спектър от химични и физични условия (Landucci et al., 2011) и е устойчив на широк диапазон на нива на рН от 5 до 11 (Washington State Department of Ecology, 2003).

На графиката (Фиг. 54) е видно, че ценозите на асоциация *Potamo natantis-Polygonetum natantis* са положително свързани с фактор „водно ниво“ („water level“). Установени са в блато Гарван и мъртваца на Долни Вит. По литературни данни е известно, че тази асоциация е изключително свързана с водните нива, и като цяло с ранни или по-късни етапи на пресъхване на водоемите (Šumberová, 2011). Видът *Persicaria amphibia*, който е диагностичен и доминантен за асоциацията, има две форми на съществуване - водна и сухоземна, и е много добре адаптиран към засушавания на водоемите. Когато даден водоем пресъхне напълно, видът преминава в своята сухоземна форма. Когато водното тяло се оводни отново, видът минава във водната си форма, с плаващи по повърхността листа (Šumberová, 2011). Блатото Гарван, в което са наблюдавани ценози на тази асоциация се характеризира със цялостно пресъхване почти всяка есен.

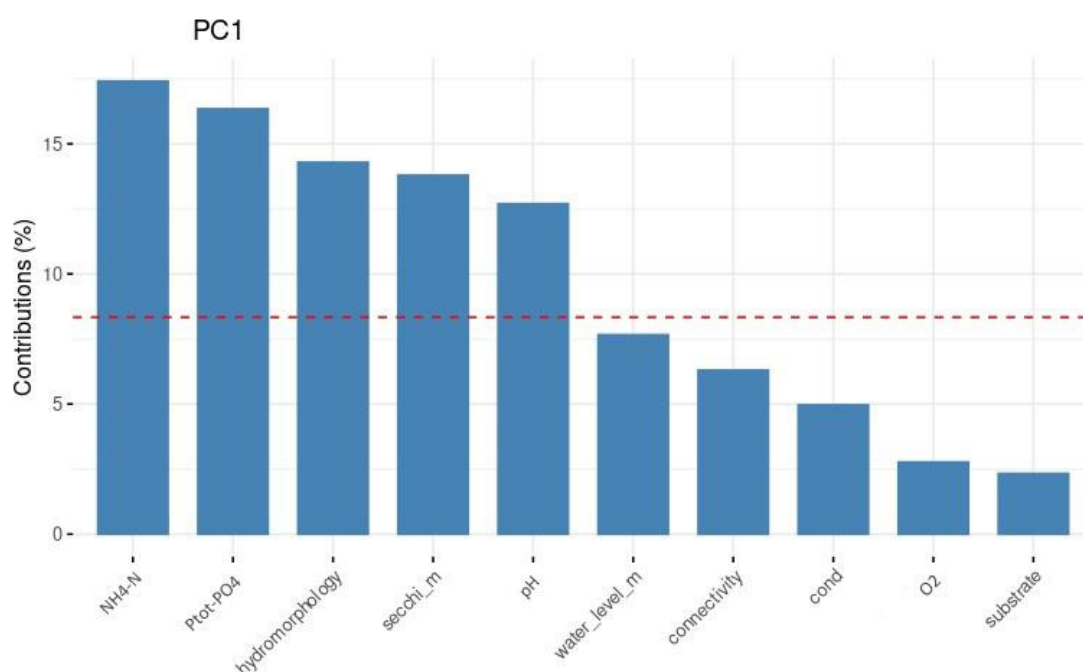
Повечето от ценозите, в които има видове от род *Potamogeton*, са съсредоточени в долната част на графиката (Фиг. 54). В тази посока силна корелация има с високи нива на рН. Според проучване на връзката между алкалността и видовете от род *Potamogeton* на Hellquist (1980) е установено, че видовете *Potamogeton pectinatus* и *Potamogeton crispus* обитават силно алкални води.

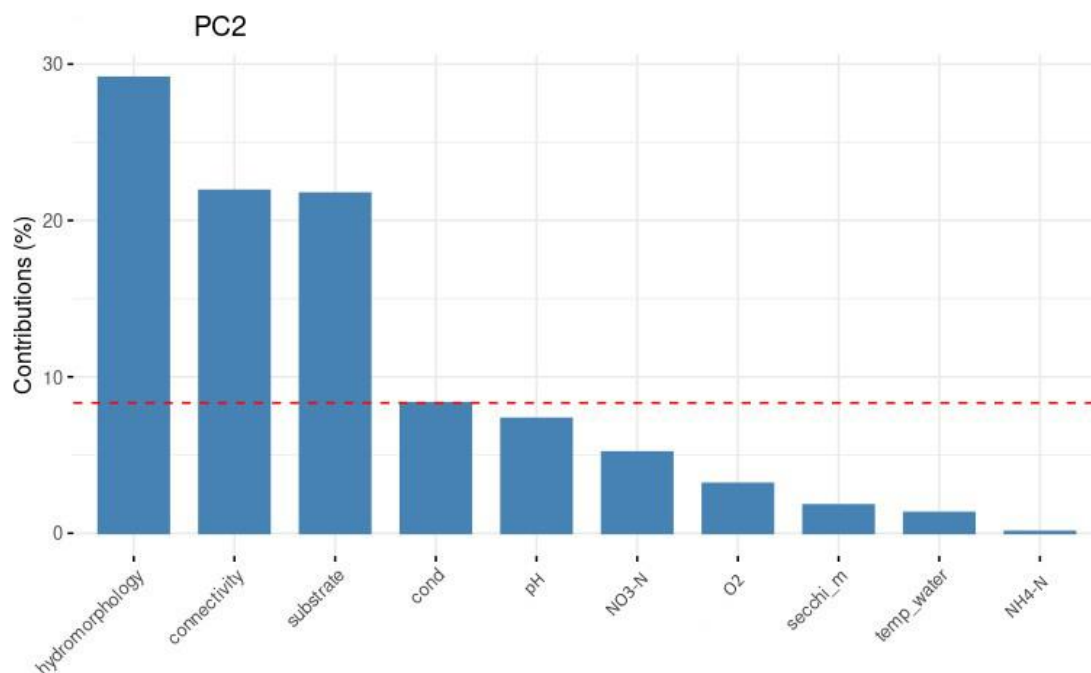
В средата на графиката (Фиг. 54) са групирани повечето ценози на плаващите видове от клас *Lemnetaea* - два вида водна леща, както и *Spirodela polyrhiza*, които са най-често срещани и обилно развити в групата на блатата и каналите, където също така е характерен субстрата тиня. Като цяло ценозите на асоциациите в средата на графиката не са добре разграничими, като причина за това би могло да е широкия диапазон на хабитати, които те обитават и тяхната толерантност към условията в тези хабитати.

Ценозите на асоциацията *Ceratophyllo demersi-Elodeetum nuttallii* имат положителна корелация с вектора на фосфатния фосфор. Като цяло се характеризира с доминиране освен на *Elodea nuttallii* и на свободно плаващите видове (акроплейстофити) *Lemna minor*, *Spirodela polyrhiza*, обитавачи канали и блата с фин седимент и високо антропогенно натоварване. Това е наблюдавано и от Вишар et al. (2024) в проучване на екологията на *Elodea canadensis* и *Elodea nuttallii* в Хърватия, в което се потвърждава широко известният факт, че плаващите видове от клас *Lemnetaea* често обитават замърсени канали, и се развиват обилно при обогатяване с биогенни елементи, както азот, така и фосфор (Smith, 2014). Видът *Elodea nuttallii* е инвазивен и също е част от списъка с видове към група С, които са толерантни към повлияни условия (Гечева и др., 2013), а също е вписан в Европейския списък на толерантните видове (Penning et al., 2008).

6.2.5.2. Влияние на фактори на средата върху ценози на хидрофитни асоциации

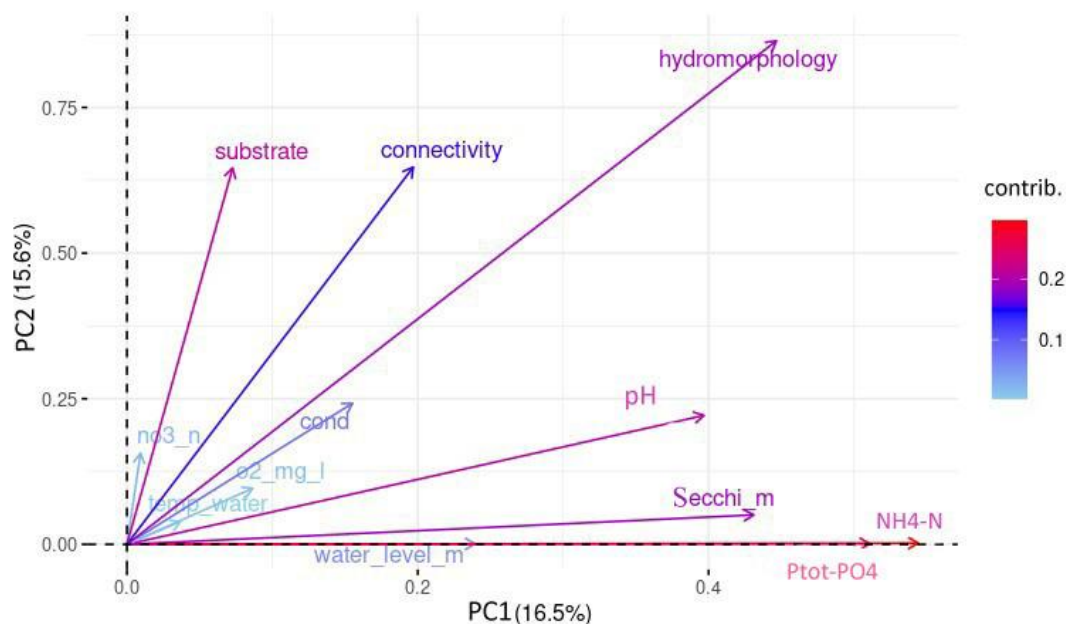
FAMD многофакторен анализ на параметри на околната среда в пробни площи на ценози на хидрофитни асоциации





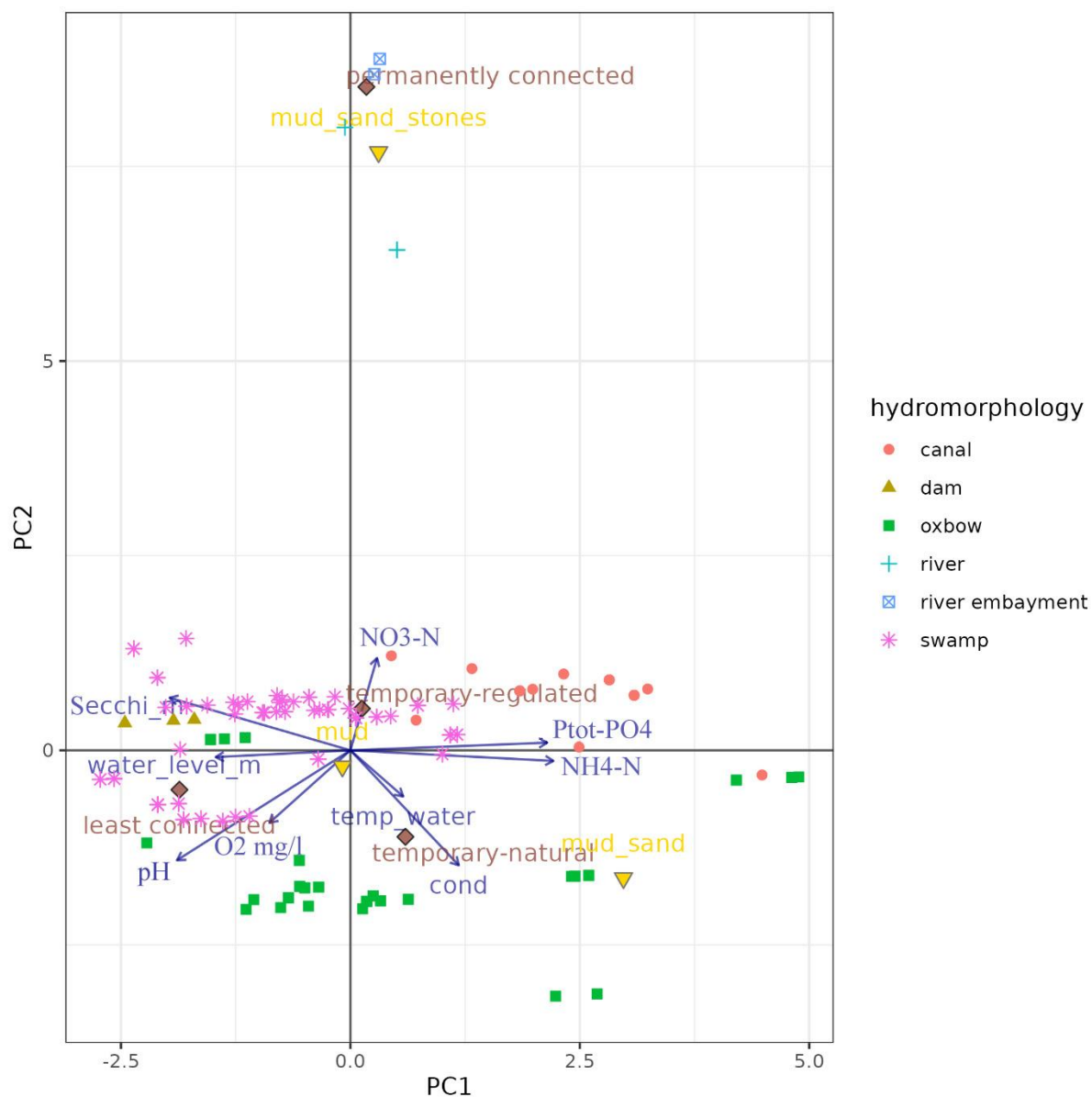
Фигура 55. А. Графика на фактори на средата, които най-силно допринасят към ос 1 (PC1) и ос 2 (PC2) във FAMD многофакторен анализ с количествени и категорийни фактори на средата в ценози с хелофитни съобщества.

Амониевият азот ($\text{NH}_4\text{-N}$) е най-силно допринасящият фактор за първата ос, следван от общия фосфор ($\text{P}_{\text{tot}}\text{-PO}_4$), „хидроморфологията“ (hydromorphology), прозрачността по Секи (Secchi_m) и рН. „Хидроморфологията“, „свързаността с реката“ (connectivity) и субстрата (substrate) са най-силно допринасящи за втора ос.



Фигура 55. Б. FAMD Вектори на факторите на средата представени в комбинирана графика, включваща количествени и категорийни променливи. Първата ос (PC1) има eigenvalue 3.126 и обяснява 16.45 % от общата вариация; втората ос (PC2) - eigenvalue 2.968 и обяснява 15,62 % от общата вариация.

Фактори, които са най-силно корелирани с първа ос са: $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{P}_{\text{tot}}\text{-PO}_4$, прозрачност по Секи (Secchi_m) и pH (Фиг. 55. Б). Фактори, които са най-силно корелирани с втората ос са тип на субстрата (substrate) и свързаност с реката (connectivity). „Хидроморфологията“ (hydromorphology) се отразява и по двете оси.



Фигура 55. В.б. FAMD ординационна графика на пространствената вариация спрямо факторите на средата и проучваните пробни площи на ценози на хелофитни асоциации. Представяне на резултатите спрямо категориите на категорийната променлива „хидроморфология“ („hydromorphology“).

FAMD анализът показва, че „хидроморфологията“ е един от основните фактори на околната среда, допринасящи за вариацията между пробните площи на ценозите на хелофитна растителност, и до ясното разграничаване на шестте групи водоеми. Този фактор, заедно с $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{P}_{\text{tot}}\text{-PO}_4$, типът на субстрата и свързаността с реката, са основните фактори, допринасящи за разликите между ценозите с хелофитни асоциации (Фиг. 55. А).

„Хидроморфологията“ отново е водещият фактор, свързан и с двете оси, какъвто е установен и при FAMD анализа на ценозите на хидрофитните асоциации. Влиянието на този фактор върху групата на хелофитите е демонстрирано и в RDA анализа на вариацията на растежни форми в предната подглава (Фиг. 13).

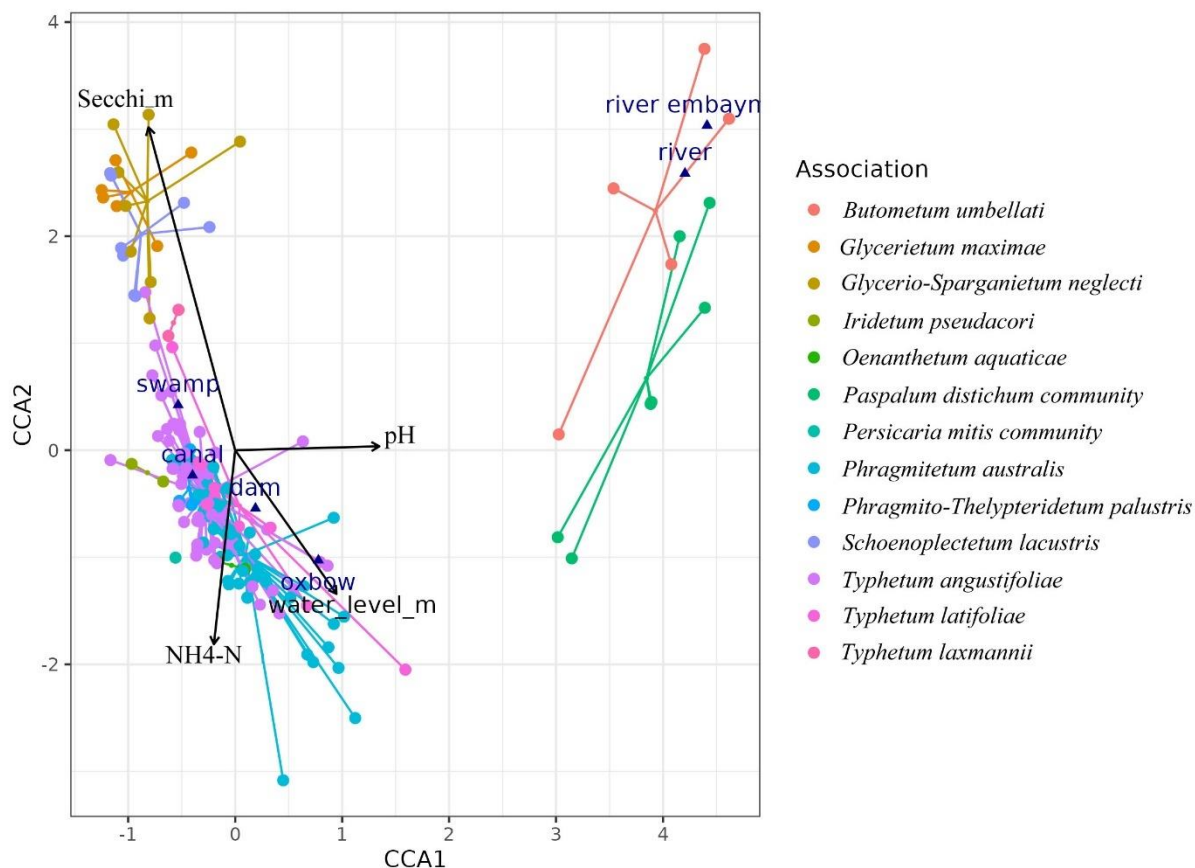
Амониевият азот ($\text{NH}_4\text{-N}$) и общият фосфатен фосфор ($\text{P}_{\text{tot}}\text{-PO}_4$) са най-силно корелирани и допринасят най-много за ос 1 (положителна връзка) (Фиг. 55. В.б) и са ориентирани в посока на част от групата на каналите и мъртвиците. Както беше коментирано и при анализа на ценозите на хидрофитни асоциации, каналите се характеризират с високи стойности на амоний поради факта, че дренират селскостопански земи. Общият фосфатен фосфор, характеризиращ мъртвиците е смятан за главния еутрофикационен фактор според много учени (Michalska-Hejduk et al., 2009). Обикновено бреговете на каналите и мъртвиците са силно обрасли с крайбрежна растителност - хелофити, които имат висок капацитет да улавят биогени от замърсена вода (Gacia et al., 2019). Известна е тяхната способност да извличат азот и фосфор от водата и да служат като естествени пречистватели на отпадни води. Както беше демонстрирано в предната глава, средното съотношение на N/P е високо в каналите, което също би могло да е една от причините за силата и посоката на въздействие на фактора върху категорията водоеми. Факторите рН и кислород са силно положително корелирани с първа ос и отново, както беше демонстрирано при FAMD анализа на водните асоциации, са силно свързани с групата на мъртвиците. Фактор прозрачност по Секи е силно отрицателно корелиран с първа ос и векторът е ориентиран към групата на блата и язовира, което най-вероятно се дължи на по-голяма прозрачност като цяло измерена в тази група. Типът на субстрата и „свързаност с реката“ са най-силно корелирани фактори с втората ос и също допринасят за ясното групиране на водоемите, като в горната част на графиката са обособени речните пунктове и речните заливи (Фиг. 55. В.б), които са постоянно свързани с реката, и се характеризират със субстрат от тиня, пясък и камъни. В долната част на графиката се групират останалите водоеми, в които доминира тинята като субстрат, като долу вдясно се групират водоемите със субстрат тиня и пясък, който е характерен за групата на мъртвиците (Фиг. 55. В.б).

С втората ос е корелиран и фактор електропроводимост (conductivity), спрегнат с групата на мъртвиците (Фиг. 55. В.б), където като цяло са измерени най-големи стойности на този параметър. Високата електропроводимост е характерна за мъртвиците (Kufel and Leśniczuk, 2014; Michalska-Hejduk et al., 2009)

Според PERMANOVA анализа на ценозите на хелофитни асоциации, параметрите на средата, които най-добре обясняват разликите между съобществата и са статистически достоверни ($p < 0.05$) са: водно ниво (water level [m]), „хидроморфология“ (hydromorphology), $\text{NO}_3\text{-N}$, рН, $\text{NH}_4\text{-N}$, прозрачност по Секи (Secchi [m]) и „свързаност с реката“ (connectivity). Водното ниво е най-силният фактор (с най-голяма стойност на F), следван от „хидроморфологията“ и рН на водата. Само статистически значимите параметри са използвани в последващите анализи.

ССА (каноничен коренспондентен анализ)

Най-добрият модел за ценози на хелофитните асоциации, определен чрез „backward stepwise selection“, включва следните фактори: „хидроморфология“ (hydromorphology), рН, водно ниво (water level [m]), прозрачност по Секи (Secchi [m]) и $\text{NH}_4\text{-N}$ (Табл. 20). „Хидроморфологията“ е най-значимият фактор, обясняващ вариацията на ценозите на хелофитни асоциации.



Фигура 56. Парциален ССА ординационен анализ на пространствената вариация на състава и структурата на фитоценози на хелофитни асоциации спрямо фактори на средата. Изключено е влиянието на периода на пробонабиране върху разпределението и състава на ценозите на асоциациите. Първата ос обяснява 4,27 %, втората ос обяснява 2,7 % от общата вариация. Eigenvalue на първата ос 0.499 ($p = 0.002$), втората ос 0.316 ($p = 0.013$), обща обяснена вариация: 11.78 %.

Пространствената вариация на ценозите, принадлежащи към асоциации на хелофити, зависи от фактор „хидроморфология“, реално описващ различни видове местообитания, които осигуряват различните по своите хидроморфологични черти водоеми. Тази зависимост е наблюдавана и в проучване на Toivonen and Huttunen (1995). Същите автори демонстрират и дълбочината на водоема като един от водещите фактори за развитието на хелофитните видове, като в ССА анализа на нашето изследване водното ниво (water level [m]) е един от значимите фактори. Комбинацията от факторите „хидроморфология“, водно ниво и амониев азот са определящи за ценозите, принадлежащи към асоциациите: *Phragmitetum australis*, *Typhetum angustifoliae* и *Typhetum latifoliae* (Фиг. 56), като ценозите и на трите асоциации обрастват най-много по бреговете на каналите, мъртвиците и блатата. Причина за тяхното концентриране в тази част на графиката би могло да се дължи на доминантните видове, които са толерантни към широк диапазон на факторите на средата. Също така, съпътстващите видове в ценозите на трите вида асоциации, много често са сходни. Фактор $\text{NH}_4\text{-N}$ е свързан с ценозите на асоциациите *Phragmitetum australis* и *Typhetum angustifoliae* (Фиг. 56). Като цяло е известен фактът, че видът *Phragmites australis* обикновено обитава местообитания,

богати на азот (Tylova et al., 2008), което може да е една от причините за корелацията на този фактор с ценозите на тръстиката. Факторите „хидроморфология“, рН и прозрачност по Секи са водещи за пространственото разделяне между фитоценологичните описания от речните пунктове и останалите (Фиг. 56), на база видовия състав на ценозите, който явно е характерен за ценозите на асоциацията *Butometum umbellati* и съобщество на *Paspalum distichum*. В пунктовете на реки и речни заливи се групират фитоценозите на асоциацията *Butometum umbellati* и съобщество на *Paspalum distichum*, тоест повечето от описанията са съсредоточени именно там, и явно имат предпочитания към такива условия. Все пак две от ценозите на съобществото на *Paspalum distichum* и две от асоциацията *Butometum umbellati* попадат в групата на мъртвиците. Именно в тях е измерено най-високо рН, и най-вероятно на това се дължи насочеността на вектора към тези два синтаксона.

Отделят се по флористичния си състав: *Glycerietum maximae*, *Glycerio-Sparganietum neglecti*, *Schoenoplectetum lacustris*, които се срещат при сходни условия: висока прозрачност по Секи, нисък амоний, и предимно в блата (Фиг. 56). Векторът на прозрачност по Секи е с положителна корелация към *Glycerietum maximae*, *Glycerio-Sparganietum neglecti*, *Schoenoplectetum lacustris*. Трите вида асоциации са установени основно в блата: Гарван, Сребърна, Калимок. В блато Гарван и Сребърна двете асоциации *Glycerio-Sparganietum neglecti* и *Schoenoplectetum lacustris* са намерени заедно. Обединяващото за всички водоеми, от които са описани, е видовият състав на асоциациите и високата прозрачност на водоемите. В ценозите на асоциацията *Glycerietum maximae* диагностични видове са *Glyceria maxima* и *Sparganium erectum*. *Sparganium erectum* е константен вид в асоциацията *Schoenoplectetum lacustris*. В асоциацията *Glycerio-Sparganietum neglecti* видът *Sparganium erectum* е диагностичен. Тоест в ценозите и на трите асоциации има висок процент на покритие на вида *Sparganium erectum*, и това сходство в състава и структурата им може би е една от причините за обединяването на трите ценози в горната част на ССА графиката (Фиг. 56). Сравнително по-високата прозрачност на водоемите, в които се намират тези ценози, е отражение и на екологичното им състояние, като те са оценени в умерено екологично състояние. Видовете *Sparganium erectum* и *Schoenoplectum lacustris* са част от списъка с индикаторни таксони, принадлежащи към група В, съставена от таксони и видове, които показват средни нива на замърсяване (Гечева и др., 2013, Schaumburg et al., 2014c). В проучване на Tylova et al. (2008) се демонстрира, че амоният е токсичен за *Glyceria maxima* над определени стойности, и това може да е една от причините за обратната корелация на фактор $\text{NH}_4\text{-N}$ с тази асоциация.

Останалите ценози са групирани в центъра на графиката и не са толкова ясно разграничими (Фиг. 56), като вероятни причини са сходен видов състав при някои от наблюдаваните ценози и разположението на техните пробни площи при сходни условия на средата в блата, мъртвици и канали.

7. Заключение

7.1. Изводи

Настоящите изследвания върху съвременното биоразнообразие, флористичен състав и екологично състояние, по отношение на макрофитните съобщества в различни водоеми в заливната тераса на р. Дунав, позволяват да бъдат изведени следните обобщени резултати и изводи:

1. Видовото богатство на водни растения в изследваните водоеми в заливната тераса на р. Дунав и нейни притоци е сравнително високо. Установени са 115 таксона, което представлява около 30% от многообразието на макрофитни видове в България.
2. Шестнадесет от наблюдаваните видове са редки или имат ограничено разпространение, и са консервационно значими: *Aldrovanda vesiculosa* L., *Azolla filiculoides* Lam., *Ceratophyllum submersum* L., *Lemna gibba* L., *Nymphaea alba* L., *Nymphoides peltata* (S. G. Gmel.) Kuntze, *Nuphar lutea* L., *Potamogeton gramineus* L., *Potamogeton lucens* L., *Salvinia natans* (L.) All., *Stratiotes aloides* L., *Thelypteris palustris* Schott, *Trapa natans* L., *Typha laxmannii* Lepech., *Utricularia australis* R.Br., *Wolffia arrhiza* (L.) Horkel ex Wimm. All.
3. В изследваните съобщества са регистрирани шест инвазивни вида: *Elodea nuttallii* (Planch.) H.St.John, *Elodea canadensis* Michx., *Bidens frondosa* L., *Paspalum distichum* L., *Sorghum halepense* (L.) Pers., *Xanthium italicum* Moretti, като най-често срещан е видът *Elodea nuttallii*, установен в 6 от проучените водоеми.
4. С най-богат видов състав (72 вида) и с най-много консервационно значими видове (10 вида) се отличава ез. Сребърна. С най-беден видов състав се характеризират мъртваца на р. Осъм и залив на р. Дунав.
5. Най-голямо е видовото разнообразие на макрофитите в групата на блатата.
6. В района на изследване са описани общо 33 асоциации на хидрофитни и хелофитни видове растения и 17 съобщества.
7. Установени са няколко асоциации с участие на редки и консервационно значими видове, отнасящо се и за синтаксономичното ниво: *Lemnetum gibbae*, *Spirodelo polyrhizae*-*Aldrovandetum vesiculosae*, *Stratiotetum aloidis*, *Potamo-Ceratophylletum submersi*, *Potametum graminei*, *Trapetum natantis*, *Typhetum laxmannii*.
8. С най-много на брой синтаксони се откроява ез. Сребърна (17 асоциации и 2 съобщества).
9. Групата на блатата е в най-добро екологично състояние/потенциал спрямо останалите групи водоеми.
10. В най-лош екологичен потенциал и с най-ниско количество разтворен кислород, се характеризира групата на каналите, за които са типични обилно развити толерантни на еутрофикация видове и техните съобщества.
11. В съответствие с нашата хипотеза резултатите показаха, че макрофитните видове, техните жизнени форми, и фитоценозите (респ. синтаксоните), в които участват, се повлияват от сходен комплекс фактори на околната среда, основните от които са „свързаност с реката“ и „хидроморфология на водоемите“.
12. При анализа на влиянието на факторите на средата върху макрофитните съобщества, изследвани по трансектния метод, други силно влияещи фактори са електропроводимостта и температурата на водата.
13. Динамиката на азотните съединения в изследваните водоеми е от голямо значение за развитието на макрофитите. Това се отнася в най-голяма степен за групата на свободно плаващите видове.
14. „Хидроморфологията на водоемите“ и „свързаността с главната река“ са сред факторите с най-силно влияние върху разпределението на хидрофитните и хелофитните фитоценози.
15. Фосфатите са вторият по сила фактор, влияещ на структурата на хидрофитните фитоценози. Фосфатите са и в обратна корелация с Референтния индекс (EQR), използван за оценка на екологичното състояние на водоемите.
16. Важен фактор, влияещ на структурата на хелофитните фитоценози е рН, следван от водното ниво.

17. Независимо от приложените различни подходи за проучване на водната растителност, комплексът от фактори, които най-силно влияят на съобществата на макрофитите, е сходен.

7.2. Приноси

Оригинални научни:

- Проведено е изследване на избрани водоеми в поречието на р. Дунав, като за първи път е съчетана оценка на състоянието на водите със стандартна методика чрез макрофити, с проучване на екологичните особености на синтаксоните макрофитна растителност.
- Направено е подробно проучване на видовия състав и структура на макрофитните съобщества в заливната тераса на река Дунав.
- Установени са две нови находища на рядко срещания вид за България *Potamogeton gramineus* - залив на р. Дунав и мъртваца на р. Осъм.
- Намерени са две нови находища за България на вида *Ricciocarpos natans* (L.) Corda - в блато Гарван и ез. Сребърна. Видът е нов за флористичен район Североизточна България.
- За първи път във флористични райони Североизточна България и Дунавска равнина е установен редкият за България вид *Ceratophyllum submersum*.
- Проучен е съвременният фитоценотичен състав на хидрофитни и хелофитни синтаксони в различни водоеми в заливната тераса на р. Дунав.
- За първи път за България са описани следните пет асоциации: *Potamo-Ceratophylletum submersi*; *Spirodelo polyrhizae-Aldrovandetum vesiculosae*; *Najadetum marinae*; *Ceratophyllo demersi-Elodeetum nuttallii*; *Potametum graminei*.
- Разработена е нова формална дефиниция за асоциация *Ceratophyllo demersi-Elodeetum nuttallii*, която да бъде приложена към експертния файл, развит в рамките на „Нов коктейл метод“ на Landucci et al. (2015).

Потвърдителни:

- Установени са две находища на вида *Wolffia arrhiza*, включен в Червен списък на висшите растения в България, със статут на „Уязвим“ - в ез. Малък Преславец и ез. Сребърна.
- Изведени са факторите с най-силно въздействие върху състава и структурата на макрофитните съобщества и техни растежни форми, както и върху структурата на хидрофитни и хелофитни ценози в изследваните водоеми.
- Проучено е влиянието на хидроморфологични характеристики на водоемите и тяхната свързаност с реката върху съобществата на макрофити и техните растежни форми, както и върху разпределението на хидрофитни и хелофитни фитоценози, които са класифицирани на ниво асоциации и съобщества.

Научно-приложни:

Събрана е нова научна информация за водната растителност в България. Данните са анализирани в контекста на оценката на качеството на водите по широко използвана методика, която се прилага в целия Европейски Съюз. Проучването с различни подходи на макрофитната растителност и водоемите, които те населяват, може да допринесе за опазването на специфични и редки таксони и синтаксони, а така също и за прилагане на комбинирани практики за опазване и възстановяване качеството на водите, респ. и на биологично разнообразие.

Научни публикации по темата на дисертационния труд

Gyosheva, B., Kalchev, R., Beshkova, M., Valchev, V., 2020. Relationships between macrophyte species, their life forms and environmental factors in floodplain water bodies from the Bulgarian Danube River Basin. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 20 (1): 123-133, Elsevier, ISSN:1642-3593; JCR-IF (Web of Science) (2020): 3.215; SJR (Scopus): 0.531, Q2.

<https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2019.06.003>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1642359319300382>

[https://jcr.clarivate.com/jcr-jp/journal-](https://jcr.clarivate.com/jcr-jp/journal-profile?journal=ECHOHYDROL%20HYDROBIOL&year=2020)

[profile?journal=ECHOHYDROL%20HYDROBIOL&year=2020](https://jcr.clarivate.com/jcr-jp/journal-profile?journal=ECHOHYDROL%20HYDROBIOL&year=2020)

Gyosheva, B., Valchev V., 2015. *Wolffia arrhiza* (L.) Wimm. Report 69. New floristic records in the Balkans: 27. *Phytologia Balcanica* 21 (2): 200 – 201.

http://www.bio.bas.bg/~phytolbalcan/PDF/21_2/PhB_21_2_09_Vladimirov_&_al_NFRs_27.pdf

Gyosheva, B., Valchev V., 2016. A study of aquatic vegetation in two Bulgarian Danube wetlands. Proceedings “Seminar of Ecology – 2015, with International Participation” IBER, BAS, pp. 18-26, ФАРАГО, ISBN: 979-853-476-132-4.

[https://3d9e4de4-9fc2-4cad-a9d3-](https://3d9e4de4-9fc2-4cad-a9d3-65726ece836a.filesusr.com/ugd/16129b_6323da09f85e4feaa5b74d544b7e343d.pdf)

[65726ece836a.filesusr.com/ugd/16129b_6323da09f85e4feaa5b74d544b7e343d.pdf](https://3d9e4de4-9fc2-4cad-a9d3-65726ece836a.filesusr.com/ugd/16129b_6323da09f85e4feaa5b74d544b7e343d.pdf)

Цитирания на трудовете по темата на дисертацията

Публикация:

Gyosheva, B., Kalchev, R., Beshkova, M., Valchev, V., 2020. Relationships between macrophyte species, their life forms and environmental factors in floodplain water bodies from the Bulgarian Danube River Basin. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 20 (1): 123-133, Elsevier, ISSN:1642-3593; JCR-IF (Web of Science) (2020): 3.215; SJR (Scopus): 0.531, Q2.

Цитирана в:

1. Curley, E. A., 2021. Hydrogeomorphic stressing and the response of endangered freshwater pearl mussels, *Margaritifera margaritifera*: a trait-based approach to inform conservation management (Doctoral dissertation, University of Glasgow).
2. Liu, H., Zhou, W., Li, X., Chu, Q., Tang, N., Shu, B., Xing, W., 2020. How many submerged macrophyte species are needed to improve water clarity and quality in Yangtze floodplain lakes? *Science of the Total Environment*, 724, 138267.
3. Malovanyy, M. S., Boiaryn, M., Muzychenko, O., & Tsos, O., 2022. Assessment of the environmental state of surface waters of right-bank tributaries of the upper reaches of the Pripet River by macrophyte index MIR. *Journal of Water and Land Development*, 97-103.
4. Mano, G. B., 2019. Efeitos da alteração da paisagem em macrófitas aquáticas de lagoas rasas no Oeste Paranaense (Bachelor's thesis).
5. Nunes, L. S. C., Umetsu, C. A., & Camargo, A. F. M., 2020. Environmental heterogeneity influences life-form richness and species composition but not species

- richness of aquatic macrophytes in tropical coastal rivers. *Freshwater Biology*, 65 (11), 1894-1905.
6. Nunes, L. S. C., Saito, V. S., & Camargo, A. F. M., 2021. Local and regional drivers of macrophyte beta diversity in tropical coastal rivers. *Freshwater Science*, 40(1), 138-150.
 7. Pozo-García, M., Posada-García, J., Caselles-Osorio, A., 2022. Spatial and temporal variation of the macrophyte assemblage in Santo Tomás, a wetland in the Caribbean Colombian. *Acta Limnologica Brasiliensia*. 34.
 8. Qin, Y., Tian, H., & Li, J., 2024. Effects of Sediment Types and Planting Density on the Plant Trait of *Myriophyllum spicatum*. *Polish Journal of Environmental Studies*, 33(1).
 9. Regmi, T., Shah, D. N., Doody, T. M., Cuddy, S. M., & Shah, R. D. T., 2021. Hydrological alteration induced changes on macrophyte community composition in sub-tropical floodplain wetlands of Nepal. *Aquatic Botany*, 173, 103413.
 10. Schmid, M., Haidvogel, G., Friedrich, T., Funk, A., Schmalfuss, L., Schmidt-Kloiber, A., & Hein, T., 2023. 26 The Danube: On the Environmental History, Present, and Future of a Great European River.
 11. Stefanidis, K., Oikonomou, A., & Papastergiadou, E., 2021. Responses of different facets of aquatic plant diversity along environmental gradients in Mediterranean streams: Results from rivers of Greece. *Journal of Environmental Management*, 296, 113307.
 12. Stefanidis, K., Oikonomou, A., Dimitrellos, G., Tsoukalas, D., & Papastergiadou, E., 2023. Beyond taxonomic diversity patterns—investigating how α and β components of macrophyte functional diversity respond to environmental gradients in lotic ecosystems of Greece. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1204383
 13. Tash, S. K., 2024. Determining Hydraulic Characteristics in Close Proximity of *Hymenocallis coronaria* within the Flint River Basin, Georgia.
 14. Zelnik, I., Germ, M., Kuhar, U., & Gaberščik, A., 2022. Waterbodies in the floodplain of the Drava river host species-rich macrophyte communities despite *Elodea* invasions. *Diversity*, 14 (10), 870.
 15. Zhukov, O., Kunakh, O., Ruchiy, V., & Khrystov, O., 2024. Influence of the functional and morphological features of floodplain water bodies on the indicators of water quality. *International Journal of Environmental Studies*, 81(2), 554-569.

Участия в научни форуми, докладващи резултати по дисертацията

Gyosheva B., Valchev V., 2015. A study of aquatic vegetation in two Bulgarian Danube wetlands. Seminar of Ecology – 2015 with International Participation, 23–24 April 2015, IBER-BAS, Sofia, Bulgaria.
https://eprints.ugd.edu.mk/13104/19/%21_Seminar%20of%20Ecology%202015%20program.pdf

Gyosheva B., Valchev V., Tzonev R., 2015. Study of aquatic vegetation in oxbow lakes from Yantra and Vit Rivers. International Scientific Conference „Plant diversity towards

society” Terra Madre. Sofia University “St. Kliment Ohridski”, 23–25 October 2015, Sofia, Bulgaria.

http://www.bio.bas.bg/~phytolbalcan/PDF/22_2/PhytolBalcan_22-2_00a_Dimitrova_&_Ivanov.pdf

Gocheva K., Georgiev V., Petrov V., Tsvetanov T., Dimov P., Kazakov S., **Gyosheva B.**, Anev S., Tonchev T., Dimitrov V., Kadinov G., Georgieva G., Ihtimanska M., Zlatanov T., Varadinova E., Karamfilov V., Ivanova N., Stefanova K., Damyanova S., Zhiyanski M., Lazarova S., Fikova R., Katrandzhiev K., Lozanova L., Bratanova-Doncheva S., 2023. Balancing the data: towards a Whole System data architecture to reduce assessment biases for biodiversity conservation and ecosystem services. 4th International ESP Latin America and Caribbean Conference, 06–10 November 2023, La Serena, Chile.

<https://www.espconference.org/latinamerica2023/wiki/899918/session-overview>

<https://docs.google.com/presentation/d/15xsAIVFRQzxKcYRoh4fn-Lh2cEvkI5Lc/edit?usp=drivesdk&ouid=115081524939038399011&rtpof=true&sd=true>

Gocheva K., Petrov V., Georgiev V., Tsvetanov T., Georgieva G., Kazakov S., **Gyosheva B.**, Anev S., Tonchev T., Dimitrova V., Kadinov G., Ihtimanska M., Klayn S., Dimov P., Zlatanov T., Varadinova E., Karamfilov V., Ivanova N., Stefanova K., Damyanova S., Zhiyanski M., Lazarova S., Fikova R., Katrandzhiev K., Lozanova L., Bratanova-Doncheva S., 2024. Towards a knowledge graph of long-term socio-ecological system monitoring: integrating standard observations and existing domain ontologies. International Long Term Ecological Research Network 3rd Open Science Meeting, 14–19 October 2024. Xishuangbanna, Yunnan, China.

https://www.ilter2024.org/_files/ugd/bc2067_2943eccd9cc6402fb5a491b0ca87cd1f.pdf

<https://docs.google.com/document/d/1csKo8CuBg6g4puOSdHnjsKhQGDAbJnmp/edit?usp=drivesdk&ouid=115081524939038399011&rtpof=true&sd=true>

Благодарности

Благодаря много на моя научен ръководител проф. д-р Росен Цонев за отговорността, която пое, за търпението, за доверието, за съветите, за споделеното знание и ръководството.

Благодаря много и на другия ми научен ръководител доц. д-р Владимир Вълчев за всичко, на което ме научи, за насоките, съветите и ръководството.

Благодаря и на Борис Велков, който през всички тези години беше неотменна подкрепа, във всички мои научни дейности, и търсения.

Благодаря на проф. д-р Йордан Узунов, че ме покани да работя в този отдел и да започна тази докторантура, и му благодаря, за подкрепата.

Благодаря и на проф. Румен Калчев, за прекрасната ни и ползотворна работа заедно. Светъл да е пътят на душата Ви!

Благодаря на доц. д-р Михаела Бешкова за цялостната подкрепа, за това, че винаги е до мен, по всяко време на денонощието, готова да ми даде ценен съвет, да обсъдим текст, анализи, фигури.

Специални благодарности и на доц. д-р Лъчезар Пехливанов, без чиято подкрепа, нямаше да се случи теренната работа по дисертацията.

Благодаря на д-р Стефания Клайн за всички съвети и помощ, свързани с обработка на данните и за невероятната отдаденост, никога няма да забравя за подадената ръка в труден момент!

Благодаря на Иван Ботев за помощта и изработването на картата! Светъл да е пътят на душата Ви!

Благодаря на доц. д-р Анита Тошева за споделените знания с един прохождащ млад учен!

Благодаря на гл.ас. д-р Сълза Палпурина за помощта, която ми оказа в решаващ етап, за ценните съвети и уроци по обработка на данни.

Благодаря на гл. ас. д-р Калина Пачеджиева за съветите и помощта, свързана с обработка на данни.

Благодаря на Мила Ихтиманска за хубавите споделени дни заедно на терен и в лабораторията, обсъждайки важни научни теми и за нейната помощ свързана с дисертацията. Благодаря за гласуваното доверие и вярно приятелство!

Благодаря на д-р Стефан Казаков за търпението да изслуша всеки мой въпрос, за преподадените безценни уроци, благодаря и за приятелството.

Благодаря на доц. д-р Янка Пресолска, че винаги е готова да ми помогне, на мен и на всеки колега, и благодаря за нейния светъл пример за организираност и подреденост.

Благодаря на доц. д-р Виолета Тюфекчиева за искреното желание да помогне във всеки един момент и за споделения бинокляр.

Благодаря на гл. ас. д-р Пламен Иванов, който запали в мен искрата на любопитството към водните растения.

Благодаря на д-р Цветелина Ишева за подрепата, за помощта в теренната работа и сърдечното приятелство през всички години.

Благодаря на всички колеги от отдела, на проф. Емилия Варадинова, доц. д-р Апостолос Апостолу, доц. д-р Теодора Тричкова, гл. ас. д-р. Милена Павлова, доц. д-р. Весела Евтимова, доц. д-р Христина Калчева, Моника Събева, гл.ас. д-р Веселка Цавкова, Галя Георгиева, гл. ас. д-р Рабия Суфи, д-р Пенчо Иванов, Никола Драганов за хубавата екипна работа.

Благодаря и на всички колеги от „Морския отдел“ (на доц. д-р Венцислав Карамфилов, проф. Георги Даскалов, гл. ас. д-р Димитър Беров, гл.ас. д-р Йоана Георгиева, Яна, Кузман (светла да е паметта ти!), където започна моята научна работа. Благодаря ви за хубавия старт и за всичко, на което ме научихте!

Бих искала специално да благодаря на проф. Јапауег, който без да ме познава, ме прие сърдечно във Виена и ми преподаде безценни уроци свързани с водните растения.

Специални и сърдечни благодарности отправям и към доц. Flavia Landucci, която въпреки своята заетост и отпуск по майчинство, отдели време да отговори на въпросите ми и да дискутира с мен научните проблеми, които ме вълнуваха.

Благодаря от сърце на проф. Dragana Vukov, за сърдечното посрещане в Университета в Нови Сад, и за безценните уроци преподадени на терен, и благодаря, че сподели с мен своя дългогодишен опит и знания, без да пести време, усилия, знания и усмивки.

Не на последно място благодаря на моята майка и на моя баща! Благодаря на моя брат за търпението и на цялото ми семейство за обичта и подкрепата! Благодаря на моята леля за споделеността!

Благодаря на всички мои приятели и приятелки за обичта, търпението и подкрепата!

Благодаря на Господ и на майката Земя!

Composition and phytosociological structure of macrophyte communities in different types of water basins in the watershed of the Bulgarian section of the Danube River

Borislava Petrova Gyosheva

**Supervisors: Assoc. Prof. Vladimir Valchev, PhD,
Prof. Rosen Tzonev, PhD**

Institute of Biodiversity and Ecosystem Research, Bulgarian Academy of
2 Yurii Gagarin Str., 1113 Sofia, Bulgaria

Summary of PhD Thesis

The aim of the present study was researching macrophyte communities in water bodies in the Bulgarian part of the Danube River, using simultaneously standard methodology for assessment of the ecological state of the water body with BQE (biological quality element) macrophytes, and phytosociological approach (Braun-Blanquet, 1964) for classification of these macrophyte communities. The work towards this goal included determining the species composition and phytocoenotic structure of macrophyte communities in water basins with different hydromorphological characteristics in the floodplain terrace of the Danube River and its tributaries, as well as determining their relationship with abiotic environmental factors.

Six categories of water basins with different hydromorphological characteristics were investigated: rivers, river embayments, channels, oxbows, dams, swamps.

During the period 2014-2016, 115 plant taxa in total were identified, from 26 water basins and 31 stations. Sixteen of the observed species are rare or have a limited distribution, and are conservationally significant species. The highest species richness over the three years of the study was maintained in Lake Srebarna, Peschin Marsh, and Lake Malak Preslavets, while the lowest was observed in the oxbow lake of the Osam River and the embayment of the Danube River. The Shannon Index (H') showed the highest values for sites in Lake Srebarna, and the higher species diversity found there is characteristic for unaffected hydroecosystems. The lowest index values were recorded in the embayment of the Danube River, which is typical for impacted ecosystems. The evenness of the communities in all water bodies and across the three years of the study is high. In most water bodies, the Pielou Index (J') > 0.5 , indicated dominance in the structure of the macrophyte communities. In a large part of the studied water bodies, poor or moderate ecological state/potential predominated. The average values of the Ecological Quality Ratio (EQR) in the group of swamps were the highest, while in channels and river embayments, they were the lowest.

The multivariate analyses showed that macrophyte species and their life forms spatially were related to similar environmental factors, the main of which were connectivity with the river and hydromorphology of water basins. Temperature and conductivity, in terms of species, and ammonium nitrogen, in terms of growth forms, also explained a certain percentage of spatial variations, but with smaller explanatory power. It seemed that the hydrological and morphological characteristics integrated a multitude of features, thus causing a much greater influence on macrophyte composition and structure, than single physicochemical variables.

Even less pronounced the temporal variation of macrophyte species was explained mainly by the total nitrogen and the temperature. Obviously, the dynamics of nitrogen compounds in the studied water bodies had a significant importance for macrophyte development. This was most relevant for the group of free-floating species that take up nutrients from the water column. It is possible that at low water N/P ratio they faced nitrogen limiting conditions, unlike the rooted submerged macrophytes, which can take nutrients from the substrate, and thus are more competitive under nitrogen shortage. The ecological state/potential assessed on the base of macrophyte species differed between studied water bodies in line with the gradient of water conductivity. The observed relations confirmed the literature data on the requirements of some representative species to the ecological characteristics of the water.

Syntaxa have been identified that belong to: 4 classes, 7 orders, 11 alliances, 33 associations, and 17 communities. Five syntaxa have been described for the first time in Bulgaria.

The analysis of environmental factors (FAMD) on the spatial variation of the described phytocenoses highlighted hydromorphology and connectivity with the river as the leading factors. In hydrophytic communities, other strong factors were substrate, nitrates, as well as pH and dissolved oxygen levels. In helophytic communities, other determinants were ammonium, total phosphorus, and substrate.

Main environmental parameters influencing the structure and composition of hydrophytic communities, according to CCA analysis, were: hydromorphology, with the strongest impact, followed by phosphate phosphorus, transparency, pH, substrate, water level, total nitrogen, and nitrates. While main environmental parameters influencing the structure and composition of helophytic communities, according to CCA analysis, were: hydromorphology, with the strongest impact, followed by pH, water level, ammonium ions, and transparency.

One possible reason for the difference between the determinants of hydrophytic and helophytic communities, as well as the participation of more nutrient related factors in helophytic phytocenoses, is that hydrophytes are more dependent on the amount of dissolved nutrients in the water, as they absorb them from the aquatic environment, unlike helophytes, which are deeply rooted in the substrate, often located above the water, and absorb nutrients from the substrate.

The obtained results about macrophytes, as main primary producers of floodplain water bodies, could be a helpful tool for understanding, and better management of these aquatic ecosystems of Lower Danube, many of which have undergone a long process of restoration.