МИНИСТЕРСТВО НА ЗДРАВЕОПАЗВАНЕТО

НАЦИОНАЛЕН ЦЕНТЪР ПО ОБЩЕСТВЕНО ЗДРАВЕ И АНАЛИЗИ

***Мария Ангелова Митрева***

# ХИГИЕННИ И АНАЛИТИЧНИ АСПЕКТИ В ИЗСЛЕДВАНЕТО НА СЕЗОННАТА ДИНАМИКА НА МИКРОЦИСТИНИ В ПОВЪРХНОСТНИ ВОДИ ЗА ПИТЕЙНИ ЦЕЛИ

# АВТОРЕФЕРАТ

НА ДИСЕРТАЦИОНЕН ТРУД ЗА ПРИСЪЖДАНЕ НА
ОБРАЗОВАТЕЛНА И НАУЧНА СТЕПЕН
„ДОКТОР“
ПО
НАУЧНА СПЕЦИАЛНОСТ „ХИГИЕНА“

**НАУЧЕН РЪКОВОДИТЕЛ:**
**доц. Вера Павлова, дм**

**София, 2026**

Дисертационният труд е представен на 141 стандартни страници и е онагледен с 31 фигури и 24 таблици. Библиографията включва 153 литературни източника, от които 12 на кирилица. Във връзка с дисертационния труд има 3 публикации.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 15.05.2026 г. от ….. часа в зала 18, ет. 10 в сградата на Национален център по обществено здраве и анализи.

*Изказвам своята благодарност за възможността да реализирам проект на тема: „Сезонна динамика на приоритетен според новата Европейска директива за качеството на питейната вода токсин микроцистин–LR“, финансиран от ФНИ чрез Договор КП-06-М69/5 от 15.12.2022 г., както и да участвам в продължаване на изследванията в тази област чрез проект: „Изследване на цианотоксини в някои български водоеми (CYANOACTION-BG)“ по договор с ФНИ № КП-06-КОСТ/3/10.06.2025 г., с национално съфинансиране по програма COST – Акция CA23160 “Effective Lake management: reducing cyanobacteria by actions in the catchment (CYANOACTION)”.*

## СПИСЪК НА ИЗПОЛЗВАНИТЕ СЪКРАЩЕНИЯ

| | |
|---|---|
| DAD | Диодно-матричен детектор |
| ELISA | Ензимно-свързан имуносорбентен анализ |
| HPLC | Високоефективна течна хроматография |
| LOQ | Граница на количествено определяне |
| MC–LR | Микроцистин–LR |
| MC–RR | Микроцистин–RR |
| MC–YR | Микроцистин–YR |
| SPE | Твърдофазна екстракция |
| UV | Ултравиолетов |

**СЪДЪРЖАНИЕ**

УВОД ..... 6
1. ЦЕЛ И ЗАДАЧИ ..... 8
2. МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ ..... 9
3. РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ ..... 9
3.1. Язовир Искър ..... 10
3.1.1. Язовир Искър – водовземна кула ..... 10
3.1.2. Язовир Искър – Щъркелово гнездо ..... 13
3.1.3. Язовир Искър – ветроходна база ..... 15
3.2. Бент Кокаляне ..... 16
3.3. Язовир Студена ..... 18
3.4. Язовир Красава ..... 22
3.5. Заключение ..... 24
4. ИЗВОДИ ..... 27
5. ПРЕПОРЪКИ ..... 29
5.1. Мониторинг на уязвими водоеми ..... 29
5.2. Превантивен мониторинг при потенциално застрашени язовири ..... 29
6. ПРИНОСИ ..... 30
7. ПУБЛИКАЦИИ ..... 31
8. УЧАСТИЯ В НАУЧНИ ФОРУМИ ..... 32

# УВОД

Цианобактериите, известни още като синьо-зелени водорасли, представляват една от най-древните групи прокариотни, автотрофни микроорганизми. Обширните анализи на молекулярни, физиологични, палеонтологични и геохимични данни сочат, че появата на цианобактериите датира преди 2,54 и 2,1 милиарда години. Тези широко разпространени прокариоти използват разнообразни метаболитни стратегии, за да оцелеят и да се адаптират към разнообразните условия на околната среда. Цианобактериите, грам-отрицателни автотрофни бактерии, притежават широк спектър от метаболитни пътища и адаптивни механизми, включително азотфиксация, хроматична адаптация и способност да формират симбиотични отношения с еукариотни гостоприемници в присъствието на бактерии, като гъбички и протисти. Някои цианобактерии са способни да извършват кислородна фотосинтеза, като използват сулфид като донор на електрони. Освен това в условия на липса на кислород и светлина тези бактерии са способни да извършват ферментация. Цианобактериите са еволюирали в продължение на дълъг период от време и са развили способността си да произвеждат разнообразни вторични метаболити в резултат на което да оцеляват при различни условия на околната среда.

Във водна среда цианобактериите могат да се срещат в множество местообитания: разпръснати или под формата на агрегати във водата, на повърхността на водата, върху дънните седименти или прикрепени към крайбрежните скали, както и към растенията. Масовите популации от цианобактерии на тези места могат да представляват цъфтежи, петна, биофилми и др. Такива масови популации могат да се появят в девствени водни басейни, неповлияни от човешка дейност, където обогатяването на водата с нутриенти, необходими за растежа на цианобактериите, става чрез естествени геоложки процеси. Въпреки това днес се признава, че това повишаване на трофичното състояние на водното тяло (еутрофикация) е особено чувствително към антропогенния натиск. Те включват повишено обогатяване с нутриенти от битови, селскостопански и промишлени източници, повишена ерозия във водосборния басейн на водното тяло и повишено водочерпене. При благоприятни условия на температура, проникване на светлина във водния стълб, pH на водата, време на престой на водата в езерото или речен поток може да се наблюдава масово увеличаване на цианобактериалния цъфтеж, образуване на петна и др.

В допълнение към неблагоприятното въздействие върху биоразнообразието на екосистемите, масовите популации на цианобактерии могат да окажат негативно въздействие върху наличността, здравето/безопасността и цената на водните ресурси, предназначени за питейни цели. Човешките нужди и дейностите, свързани с водата, които могат да бъдат неблагоприятно засегнати, включват: снабдяване с питейна вода, напояване на селскостопански култури и добитък, аквакултури, рекреация и туризъм.

Съвременните изисквания за качеството на питейните води в Европа са определени в новата Директива (ЕС) 2020/2184 от 16.12.2020 г. относно качеството на водата, предназначена за консумация от човека. Сред новите замърсители, които ще бъдат задължителни за мониторинг от 2026 г. и за които следва да се оцени рискът от замърсяване на водоемите, е микроцистин–LR. Той е представител на микроцистините, които са група цианотоксини, продуцирани от синьо-зелените водорасли. Максимално допустимата му концентрация в питейните води според новата директива е 1 µg/L. Европейската директива е транспонирана в националното ни законодателство в изменение на Наредба № 9/2001 за качеството на водата, предназначена за питейно-битови цели (обн. ДВ, бр. 30 от 2001 г., посл. изм. ДВ, бр. 9 от 23.01.2026 г.).

# 1. ЦЕЛ И ЗАДАЧИ

## Цел

Разработване, валидиране и прилагане на аналитични методи за определяне на микроцистини в повърхностни води за питейни цели, както и охарактеризиране на състоянието на избрани язовири в района на гр. София и областта чрез изследване на съдържанието на тези токсини и оценка на зависимостта между тяхното отделяне и факторите на околната среда.

## Задачи

За постигане на поставената цел са формулирани следните основни задачи:

1. Разработване и валидиране на аналитични методи за качествено и количествено определяне на микроцистини във водни проби.
2. Да се определи съдържанието на микроцистини в повърхностни води за питейни цели.
3. Да се проследи в динамика видовият състав на цианобактериите и наличието на микроцистини в избрани язовири в района на гр. София и областта.
4. Да се оцени влиянието на факторите на околната среда върху продуцирането на микроцистини в реални условия.

## 2. МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

В изследването са приложени съвременни аналитични методи с основен акцент върху високоефективната течна хроматография с диодно-матричен детектор (HPLC-DAD) за качествено и количествено определяне на микроцистини. За скринингов анализ е използван конкурентен индиректен ELISA с търговски комплекти ABRAXIS, като резултатите са сравнени с получените хроматографски данни.

Съдържанието на основните нутриенти – общ азот и общ фосфор – е определено чрез утвърдени титриметрични и спектрофотометрични методи съгласно стандартни процедури.

Хидробиологичният анализ е използван като допълващ инструмент за охарактеризиране на фитопланктонните съобщества.

Статистическата обработка на резултатите е извършена чрез корелационен и регресионен анализ (Pearson) при ниво на значимост $p < 0,05$.

## 3. РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

Разработен и валидиран е хроматографски метод за определяне на микроцистини (–LR, –RR и –YR) във води чрез HPLC-DAD, осигуряващ надеждно разделяне и определяне при оптимизирани условия на градиентно елуиране и UV детекция при 238 nm. Методът е включен в обхвата на акредитация на Изпитвателен център „Здраве“ към НЦОЗА. Аналитичната компетентност е потвърдена чрез успешно участие в международно междулабораторно сравнително изпитване, с получени много добри z-стойности за микроцистини (–LR, –RR и –YR), съответно -0,49; 0 и 1,67.

В рамките на проведеното изследване за периода 2023–2025 г. е осъществено системно проследяване на сезонната динамика на микроцистини в основни водоизточници за питейно водоснабдяване в района на гр. София (яз. Искър, бент Кокаляне, яз. Студена и яз. Красава). Анализирани са общо 99 водни проби, взети от различни пунктове и дълбочини.

Прилагането на подходяща пробоподготовка, включваща филтруване и твърдофазна екстракция (SPE), позволява концентриране и надеждно определяне както на извънклетъчните, така и на вътреклетъчните форми на микроцистини. Получените резултати създават основа за оценка на динамиката на съдържанието на токсини и връзката им с екологичните фактори във водните обекти.

Особено значим резултат е възможността за първи път в България да се проследи в динамика наличието на микроцистини в повърхностни води за питейни цели, което има

пряко значение за прилагането на новите изисквания на европейското законодателство в областта на качеството на водите.

### 3.1. Язовир Искър

#### 3.1.1. Язовир Искър – водовземна кула

Резултатите от анализите на проби за наличие на микроцистини и нутриенти, взети през 2023 г. и 2024 г. са обобщени **таблица 1**.

**Таблица 1.** Язовир Искър – водовземна кула 2023–2024 г. Резултати от анализи за определяне на микроцистини и нутриенти.

| **Пункт/ месец на вземане на проби** | **ELISA** *LOQ 0,15 µg/L* | | **MC–RR, –YR, –LR, µg/L** *LOQ 0,2 µg/L* | | **Общ N mg/L** *LOQ 0,5 mg/L* | | **Общ P mg/L** *LOQ 0,02 mg/L* | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **2023** | **2024** | **2023** | **2024** | **2023** | **2024** | **2023** | **2024** |
| яз. Искър водовземна кула 0 m м. юни | < LOQ | < LOQ | < LOQ | < LOQ | 0,78 ± 0,08 | 1,35 ± 0,14 | 0,031 ± 0,003 | 0,208 ± 0,021 |
| яз. Искър водовземна кула −25 m м. юни | < LOQ | < LOQ | < LOQ | < LOQ | 0,70 ± 0,07 | 0,63 ± 0,07 | 0,028 ± 0,003 | 0,026 ± 0,003 |
| яз. Искър водовземна кула 0 m м. юли | 0,30 ± 0,07 | < LOQ | LR eqv ~ 0,2 | < LOQ | 1,46 ± 0,15 | 0,53 ± 0,06 | 0,044 ± 0,004 | 0,022 ± 0,002 |
| яз. Искър водовземна кула −25 m м. юли | 0,26 ± 0,06 | < LOQ | LR eqv ~ 0,2 | < LOQ | 1,05 ± 0,11 | 0,54 ± 0,05 | 0,051 ± 0,005 | 0,036 ± 0,004 |
| яз. Искър водовземна кула 0 m м. август | < LOQ | < LOQ | < LOQ | < LOQ | 1,26 ± 0,13 | 0,66 ± 0,07 | 0,026 ± 0,003 | 0,047 ± 0,005 |
| яз. Искър водовземна кула −25 m м. август | < LOQ | < LOQ | < LOQ | < LOQ | 1,01 ± 0,10 | 0,58 ± 0,06 | 0,057 ± 0,006 | 0,168 ± 0,017 |
| яз. Искър водовземна кула 0 m м. септември | < LOQ | < LOQ | < LOQ | < LOQ | 0,98 ± 0,10 | 0,74 ± 0,08 | 0,023 ± 0,002 | 0,034 ± 0,003 |
| яз. Искър водовземна кула −25 m м. септември | < LOQ | < LOQ | < LOQ | < LOQ | 0,88 ± 0,09 | 0,53 ± 0,05 | 0,026 ± 0,003 | 0,073 ± 0,007 |
| яз. Искър водовземна кула 0 m м. октомври | < LOQ | < LOQ | < LOQ | < LOQ | 1,06 ± 0,11 | 1,01 ± 0,10 | 0,037 ± 0,004 | 0,064 ± 0,006 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| яз. Искър водовземна кула −25 m м. октомври | < LOQ | < LOQ | < LOQ | < LOQ | 0,56 ± 0,06 | 0,74 ± 0,07 | 0,026 ± 0,003 | 0,052 ± 0,005 |

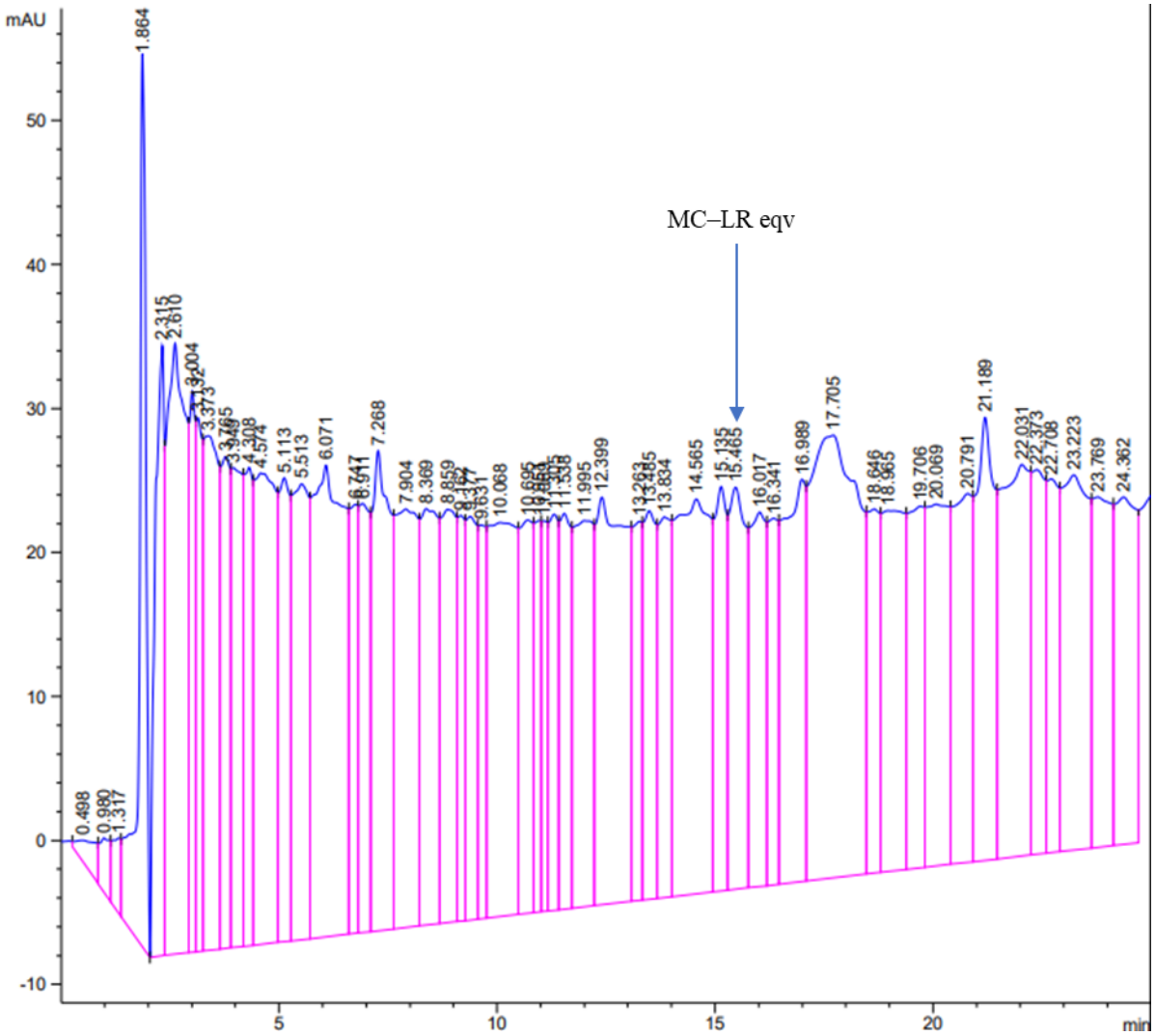
Резултатите от проведените изследвания (**табл. 1**) показват изключително ниско ниво на наличие на токсини в района на водовземната кула на яз. Искър през периода 2023–2024 г. В повечето анализирани проби стойностите са под границата на количествено определяне, като само в две от общо двадесет анализирани проби (и двете от юли 2023 г.) са установени следови количества микроцистин–LR еквивалент (~ 0,2 μg/L) – съединение със сходен спектър, но с различно време на задържане спрямо целевите аналити. Стойностите са близки до LOQ и значително под референтната за питейни води (1 μg/L). Това показва липса на съществен токсикологичен риск за водоснабдяването.

Наблюдаваната вертикална и сезонна динамика на нутриентите се характеризира с вариации в общия азот в диапазона 0,53–1,46 mg/L и в общия фосфор – 0,022–0,208 mg/L. Установените следови количества микроцистини съвпадат с най-високите измерени стойности на общ фосфор, което предполага възможна връзка между фосфорното обогатяване и инициране на отделяне на токсини.

Корелационният анализ показва умерена положителна зависимост между микроцистини и общ азот през 2023 г., докато връзката между микроцистините и общия фосфор е по-слабо изразена. Получените зависимости не са статистически достоверни ($p > 0,05$), но показват връзка към нарастване на концентрацията на микроцистини при по-високи стойности на нутриенти. През 2024 г. всички измерени концентрации на микроцистини са под границата на количествено определяне и са изчислени като LOQ/2, поради което липсва вариация на показателя и не може да бъде извършен корелационен анализ между микроцистините и нутриенти. Получените резултати от ELISA и HPLC са съпоставими и вариационният анализ чрез сдвоен t-test не показва статистически значими различия, което потвърждава надеждността на приложените аналитични методи.

Районът на водовземната кула се характеризира със стабилен олиготрофен до олиго-мезотрофен статус, с ограничено развитие на цианобактерии и липса на токсични цъфтежи през периода на проучването, което свидетелства за относително стабилното екологично състояние на водоема.

На **фиг. 1** е представена хроматограма на проба от яз. Искър – водовзема кула 0 m, месец юли 2023 г. MC–LR eqv ~ 0,2 μg/L.




**Фигура 1.** Хроматограма на проба от яз. Искър – водовзема кула 0 m, месец юли 2023 г. MC–LR eqv ~ 0,2 µg/L.

### 3.1.2. Язовир Искър – Щъркелово гнездо

Резултатите от анализите на проби за наличие на микроцистини и нутриенти, взети през 2023 г. и 2024 г. са обобщени в **таблица 2**.

**Таблица 2.** Язовир Искър – Щъркелово гнездо 2023–2024 г. Резултати от анализи за определяне на микроцистини и нутриенти.

| **Пункт/ месец на вземане на проби** | **ELISA** *LOQ 0,15 µg/L* | | **MC–RR, –YR, –LR µg/L** *LOQ 0,2 µg/L* | | **Общ N mg/L** *LOQ 0,5 mg/L* | | **Общ P mg/L** *LOQ 0,02 mg/L* | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **2023** | **2024** | **2023** | **2024** | **2023** | **2024** | **2023** | **2024** |
| Щъркелово гнездо 0 m м. юни | < LOQ | < LOQ | < LOQ | < LOQ | 1,32 ± 0,13 | 0,77 ± 0,08 | 0,053 ± 0,005 | 0,022 ± 0,002 |
| Щъркелово гнездо −20 m м. юни | < LOQ | < LOQ | < LOQ | < LOQ | 1,01 ± 0,10 | 0,77 ± 0,08 | 0,062 ± 0,006 | 0,023 ± 0,002 |
| Щъркелово гнездо 0 m м. юли | 0,21 ± 0,05 | < LOQ | LR eqv ~ 0,2 | < LOQ | 1,04 ± 0,10 | 0,56 ± 0,06 | 0,035 ± 0,004 | 0,026 ± 0,003 |
| Щъркелово гнездо −20 m м. юли | 0,23 ± 0,06 | < LOQ | LR eqv ~ 0,2 | < LOQ | 1,83 ± 0,18 | 0,57 ± 0,06 | 0,038 ± 0,001 | 0,058 ± 0,006 |
| Щъркелово гнездо 0 m м. август | 0,28 ± 0,07 | < LOQ | LR eqv ~ 0,2 | < LOQ | 1,28 ± 0,13 | 0,63 ± 0,06 | 0,091 ± 0,009 | 0,067 ± 0,007 |
| Щъркелово гнездо −20 m м. август | < LOQ | < LOQ | < LOQ | < LOQ | 0,99 ± 0,10 | 0,57 ± 0,06 | 0,136 ± 0,014 | 0,144 ± 0,014 |
| Щъркелово гнездо 0 m м. септември | < LOQ | < LOQ | < LOQ | < LOQ | 1,11 ± 0,11 | 0,71 ± 0,07 | 0,022 ± 0,002 | 0,023 ± 0,002 |
| Щъркелово гнездо −20 m м. септември | < LOQ | < LOQ | < LOQ | < LOQ | 1,31 ± 0,13 | 0,58 ± 0,06 | 0,023 ± 0,002 | 0,035 ± 0,004 |
| Щъркелово гнездо 0 m м. октомври | < LOQ | < LOQ | < LOQ | < LOQ | 1,47 ± 0,15 | 0,56 ± 0,06 | 0,036 ± 0,004 | 0,036 ± 0,004 |
| Щъркелово гнездо −20 m м. октомври | < LOQ | 0,15 ± 0,04 | < LOQ | -LR 0,20 ± 0,02 | 1,28 ± 0,13 | 0,51 ± 0,05 | 0,037 ± 0,004 | 0,187 ± 0,019 |

Резултатите от изследванията (**табл. 2**) показват различна картина спрямо водовземната кула.

През 2023 г. в три от десетте анализирани проби (юли и август) са установени следови количества микроцистин–LR еквивалент. Концентрациите са близки до границата на количествено определяне и значително под 1 µg/L.

Особено показателен е резултатът от юли 2023 г. на дълбочина 20 m, където:

- е регистрирана най-високата концентрация на общ азот за периода – 1,83 mg/L;
- са установени следови количества токсин.

Това съвпадение предполага възможна връзка между повишеното азотно обогатяване и иницииране на отделяне на токсини, макар и в минимални количества.

Концентрациите на общ фосфор през 2023 г. варират от 0,022 до 0,136 mg/L, като най-високите стойности са регистрирани в дълбочинния слой през август.

През 2024 г. не се установява наличие на микроцистини в повърхностния слой. Единствено в проба от октомври 2024 г. −20 m са регистрирани следи от MC–LR.

Характерно за 2024 г. е по-слабо азотно обогатяване (0,51–0,77 mg/L), докато фосфорните концентрации показват локално повишение до 0,187 mg/L.

Въпреки наличието на относително високи концентрации на общ фосфор в някои проби, не се наблюдава развитие на цианобактериален цъфтеж, продуциращ токсини.

Корелационният анализ показва слаби зависимости между концентрациите на микроцистини и нутриенти, като получените коефициенти на корелация са ниски и не са статистически достоверни ($p > 0,05$). Получените резултати от ELISA и HPLC са съпоставими и не показват значими различия, което потвърждава надеждността на приложените методи.

В сравнение с района на водовземната кула, пунктът Щъркелово гнездо се характеризира с по-висока вариабилност на нутриентите и по-често регистриране на следови количества токсини, което го определя като по-чувствителен участък. Въпреки това не се наблюдава развитие на токсичен цианобактериален цъфтеж и екосистемата запазва стабилен олиго-мезотрофен статус. Това е типично равновесно състояние за дълбоки планински водоеми, при които не се наблюдава трайна тенденция към еутрофикация.

### 3.1.3. Язовир Искър – ветроходна база

Резултатите от анализите на проби за наличие на микроцистини и нутриенти, взети през 2023 г. и 2024 г. са обобщени в **таблица 3**.

**Таблица 3.** Язовир Искър – ветроходна база, 2023–2024 г. Резултати от анализи за определяне на микроцистини и нутриенти.

| **Пункт/ месец на вземане на проби** | **ELISA** *LOQ 0,15 µg/L* | | **MC–RR, –YR, –LR µg/L** *LOQ 0,2 µg/L* | | **Общ N mg/L** *LOQ 0,5 mg/L* | | **Общ P mg/L** *LOQ 0,02 mg/L* | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **2023** | **2024** | **2023** | **2024** | **2023** | **2024** | **2023** | **2024** |
| яз. Искър ветроходна база м. юни | < LOQ | < LOQ | < LOQ | < LOQ | 0,79 ± 0,08 | 1,18 ± 0,12 | 0,023 ± 0,002 | 0,048 ± 0,005 |
| яз. Искър ветроходна база м. юли | 0,24 ± 0,06 | < LOQ | LR eqv ~ 0,2 | < LOQ | 1,52 ± 0,15 | 0,51 ± 0,05 | 0,063 ± 0,007 | 0,032 ± 0,003 |
| яз. Искър ветроходна база м. август | 0,26 ± 0,06 | < LOQ | LR eqv ~ 0,2 | < LOQ | 1,58 ± 0,16 | 0,96 ± 0,10 | 0,066 ± 0,007 | 0,034 ± 0,003 |
| яз. Искър ветроходна база м. септември | < LOQ | < LOQ | < LOQ | < LOQ | 0,90 ± 0,09 | 1,01 ± 0,10 | 0,025 ± 0,003 | 0,036 ± 0,004 |
| яз. Искър ветроходна база м. октомври | < LOQ | < LOQ | < LOQ | < LOQ | 0,88 ± 0,09 | 1,13 ± 0,11 | 0,041 ± 0,004 | 0,062 ± 0,006 |

Резултатите от изследванията (**табл. 3**) показват ниски концентрации на микроцистини в района на ветроходната база през периода 2023–2024 г. През 2023 г. в отделни проби (юли–август) са установени следови количества микроцистин–LR еквивалент (~ 0,2 µg/L), докато през 2024 г. не е установено наличие на токсини. Измерените стойности са значително под референтната стойност за питейни води и не представляват риск за водоснабдяването.

Регистрираните следови количества през 2023 г. съвпадат с най-високите измерени стойности на нутриенти за пункта:

Общ азот: 1,52 mg/L (юли) и 1,58 mg/L (август);

Общ фосфор: 0,063 mg/L (юли) и 0,066 mg/L (август).

Тази корелация подкрепя наблюдаваната и в други пунктове зависимост между повишено нутриентно обогатяване и епизодична продукция на токсини.

Корелационният анализ показва положителна зависимост между концентрациите на микроцистини и нутриентите през 2023 г., без статистическа достоверност ($p > 0,05$) вероятно поради ограничения брой наблюдения, като през 2024 г. поради липса на вариация в стойностите на микроцистините не може да бъде извършен анализ. Статистически достоверна зависимост се наблюдава между двата нутриента – общ азот и общ фосфор ($r = 0,989$, $p = 0,001$), което показва сходна динамика на изменението им във водния стълб.

За пробите от яз. Искър – ветроходна база вариационният анализ чрез сдвоен t-test не показва статистически значима разлика между резултатите, получени чрез ELISA и HPLC.

Въпреки това не се установява развитие на токсични цианобактериални цъфтежи. Районът се характеризира със стабилен олиго-мезотрофен статус и ограничено развитие на фитопланктон, което може да се свърже с по-активни хидродинамични процеси, ресуспендиране на седименти и повишено съдържание на абиосестон.

В сравнение с останалите изследвани пунктове на яз. Искър, ветроходната база се отличава с умерено нутриентно обогатяване и най-слабо изразена продукция на токсини, което я определя като хидродинамично по-активна зона с нисък риск от контаминация с цианотоксини.

### 3.2. Бент Кокаляне

Резултатите от анализите на проби за наличие на микроцистини и нутриенти, взети през 2023 г. и 2024 г. са обобщени в **таблица 4**.

**Таблица 4.** Бент Кокаляне 2023–2024 г. Резултати от анализи за определяне на микроцистини и нутриенти.

| **Пункт/ месец на вземане на проби** | **ELISA** *LOQ 0,15 µg/L* | | **MC–RR, –YR, –LR µg/L** *LOQ 0,2 µg/L* | | **Общ N mg/L** *LOQ 0,5 mg/L* | | **Общ P mg/L** *LOQ 0,02 mg/L* | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **2023** | **2024** | **2023** | **2024** | **2023** | **2024** | **2023** | **2024** |
| Бент Кокаляне м. юни | < LOQ | < LOQ | < LOQ | < LOQ | 0,86 ± 0,09 | 1,20 ± 0,12 | 0,045 ± 0,005 | 0,025 ± 0,003 |
| Бент Кокаляне м. юли | 0,24 ± 0,06 | < LOQ | LR eqv ~ 0,2 | < LOQ | 1,62 ± 0,16 | 1,01 ± 0,10 | 0,043 ± 0,004 | 0,026 ± 0,003 |
| Бент Кокаляне м. август | 0,28 ± 0,07 | < LOQ | LR eqv ~ 0,2 | < LOQ | 1,75 ± 0,17 | 1,02 ± 0,10 | 0,052 ± 0,005 | 0,041 ± 0,004 |
| Бент Кокаляне м. септември | < LOQ | < LOQ | < LOQ | < LOQ | 1,46 ± 0,15 | 0,58 ± 0,05 | 0,028 ± 0,003 | 0,043 ± 0,004 |
| Бент Кокаляне м. октомври | < LOQ | < LOQ | < LOQ | < LOQ | 0,73 ± 0,07 | 0,66 ± 0,06 | 0,027 ± 0,003 | 0,046 ± 0,005 |

Резултатите от изследванията (**табл. 4**) показват ниски концентрации на микроцистини в бент Кокаляне през периода 2023–2024 г., като в повечето проби стойностите са под границата на количествено определяне. През 2023 г. са установени следови количества микроцистин–LR еквивалент в отделни проби (юли и август), докато през 2024 г. не е регистрирано наличие на токсини. Измерените концентрации са значително под референтната стойност за питейни води и не представляват риск за водоснабдяването.

Наблюдаваните концентрации на нутриенти показват умерено вариране, като установените следови количества микроцистини съвпадат с най-високите стойности на общ азот, което потвърждава тенденцията за връзка между азотното обогатяване и иницииране на отделяне на токсини.

Корелационният анализ показва положителна, но не статистически достоверна зависимост между микроцистините и нутриентите през 2023 г., а през 2024 г. липсата на вариация в концентрациите на микроцистини не позволява провеждането на корелационен анализ. Между двата нутриента (общ азот и общ фосфор) не се наблюдава корелация, което показва по-слаба синхронност в динамиката на изменението на двата показателя в разглеждания пункт.

Вариационният анализ показва добра съгласуваност между резултатите, получени чрез ELISA и HPLC, което потвърждава надеждността на приложените аналитични методи.

Бент Кокаляне се характеризира с по-нисък температурен режим, по-ограничено фитопланктонно разнообразие, липса на цианобактериални цъфтежи и епизодична поява на следови количества токсини единствено през 2023 г. В резултат се наблюдава стабилен олиго-мезотрофен статус, доминиране на нетоксигенни фитопланктонни групи и липса на токсични цъфтежи.

Като част от водоснабдителната система, пунктът се характеризира с нисък риск от контаминация с цианотоксини през изследвания период.

**Комплексният анализ на резултатите от изследваните пунктове** на яз. Искър (водовземна кула, Щъркелово гнездо и ветроходна база) и бент Кокаляне показва, че язовирът запазва стабилен олиго-мезотрофен статус през периода 2023–2024 г., без признаци на ускорена еутрофикация или развитие на токсични цианобактериални цъфтежи. Във всички изследвани зони микроцистини се установяват единствено в следови количества и епизодично, основно през летните месеци на 2023 г., при

съвпадение с повишени концентрации на нутриенти, но значително под референтните стойности за питейни води. Наблюдава се ясно изразена пространствена хетерогенност, като водовземната кула се характеризира с най-ниско трофично обогатяване, Щъркелово гнездо – с по-висока чувствителност към нутриенти, ветроходната база – с по-активни хидродинамични процеси, а бент Кокаляне – с ограничено развитие на фитопланктон, обусловено от по-нисък температурен режим.

Обобщеният корелационен анализ показва наличие на положителна, но не статистически достоверна зависимост между концентрациите на микроцистини и нутриентите през 2023 г., с по-изразена връзка спрямо общия азот, докато през 2024 г. липсата на вариация в стойностите на микроцистините не позволява провеждането на корелационен анализ.

Получените резултати показват, че въпреки локални вариации в нутриентното обогатяване, екосистемата запазва своята стабилност и не се наблюдава риск за качеството на водите за питейно водоснабдяване.

### 3.3. Язовир Студена

Резултатите от анализите на проби за наличие на микроцистини и нутриенти, взети през 2023–2025 г. са обобщени в **таблица 5**.

**Таблица 5.** Язовир Студена 2023–2025 г. Резултати от анализи за определяне на микроцистини и нутриенти.

| **Пункт/ месец на вземане на проби** | **ELISA** *LOQ 0,15 µg/L* | | | **MC–RR, –YR, –LR, µg/L** *LOQ 0,2 µg/L* | | | **Общ N, mg/L** *LOQ 0,5 mg/L* | | | **Общ P, mg/L** *LOQ 0,02 mg/L* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **2023** | **2024** | **2025** | **2023** | **2024** | **2025** | **2023** | **2024** | **2025** | **2023** | **2024** | **2025** |
| яз. Студена водовземна кула м. юни | 0,21 ± 0,05 | < LOQ | - | LR eqv ~ 0,2 | < LOQ | - | 0,86 ± 0,09 | 0,80 ± 0,08 | - | 0,092 ± 0,009 | 0,084 ± 0,008 | - |
| яз. Студена кей м. юни | < LOQ | < LOQ | - | < LOQ | < LOQ | - | 0,93 ± 0,09 | 1,45 ± 0,15 | - | 0,084 ± 0,008 | 0,096 ± 0,009 | - |
| яз. Студена водовземна кула м. юли | 0,22 ± 0,05 | < LOQ | < LOQ | LR eqv ~ 0,2 | < LOQ | < LOQ | 1,51 ± 0,15 | 0,63 ± 0,06 | 0,87 ± 0,09 | 0,263 ± 0,026 | 0,021 ± 0,002 | 0,108 ± 0,011 |
| яз. Студена кей м. юли | 0,24 ± 0,06 | < LOQ | < LOQ | LR eqv ~ 0,2 | < LOQ | < LOQ | 0,74 ± 0,07 | 0,84 ± 0,08 | 0,82 ± 0,08 | 0,191 ± 0,019 | 0,026 ± 0,003 | 0,085 ± 0,009 |
| яз. Студена водовземна кула м. август | < LOQ | < LOQ | < LOQ | < LOQ | < LOQ | < LOQ | 1,05 ± 0,11 | 1,13 ± 0,11 | 2,28 ± 0,23 | 0,084 ± 0,008 | 0,173 ± 0,018 | 0,033 ± 0,003 |
| яз. Студена кей м. август | < LOQ | < LOQ | - | < LOQ | < LOQ | - | 1,03 ± 0,10 | 1,12 ± 0,11 | - | 0,074 ± 0,007 | 0,032 ± 0,003 | - |
| яз. Студена водовземна кула м. септември | < LOQ | < LOQ | < LOQ | < LOQ | < LOQ | < LOQ | 1,05 ± 0,11 | 0,68 ± 0,07 | 1,04 ± 0,10 | 0,026 ± 0,003 | 0,047 ± 0,005 | 0,045 ± 0,005 |
| яз. Студена кей м. септември | 0,15 ± 0,04 | < LOQ | < LOQ | - RR 0,20 ± 0,02 | < LOQ | < LOQ | 1,13 ± 0,11 | 1,14 ± 0,11 | 0,81 ± 0,08 | 0,022 ± 0,002 | 0,092 ± 0,009 | 0,091 ± 0,009 |
| яз. Студена водовземна кула м. октомври | 1,01 ± 0,25 | 1,41± 0,35 | - | - RR 0,55 ± 0,09<br>- YR 0,27 ± 0,06<br>- LR 0,38 ± 0,05 | - RR 0,68 ± 0,05<br>- YR 0,31 ± 0,02<br>- LR 0,30 ± 0,02 | - | 1,06 ± 0,11 | 1,13 ± 0,11 | - | 0,031 ± 0,003 | 0,064 ± 0,006 | - |
| Петно при стената в близост до яз. Студена водовземната кула м. октомври | 2,06 ± 0,51 | - | - | - **RR 0,70 ± 0,08**<br>- YR 0,48 ± 0,06<br>- **LR 0,75 ± 0,09** | - | - | - | - | - | - | - | - |
| яз. Студена кей м. октомври | < LOQ | 0,30 ± 0,07 | - | < LOQ | - RR 0,24 ± 0,02 | - | 1,05 ± 0,11 | 1,03 ± 0,10 | - | 0,027 ± 0,003 | 0,062 ± 0,006 | - |

Резултатите от настоящото изследване показват наличие на микроцистини в ограничен брой проби (**таблица 5**). През юни и юли 2023 г. в проби от водовземната кула и кея са установени следови количества микроцистини (LR–еквиваленти), които не съответстват напълно на стандартната смес, но притежават характерен спектър. През септември 2023 г. и септември 2024 г. следи от MC–LR са установени в проба от кея. Най-съществените резултати са регистрирани през **октомври 2023 г.**, когато:

- във водовземната кула е установено общо съдържание на микроцистини 1,2 μg/L;
- MC–LR е 0,38 μg/L (~ 32 % от общото съдържание);
- в повърхностно петно близо до стената са установени още по-високи концентрации, доближаващи нормативната стойност и са представени на хроматограмата на **фиг. 2.**;

През **2024 г.** се наблюдава сходна сезонна картина, но с по-ниски концентрации:

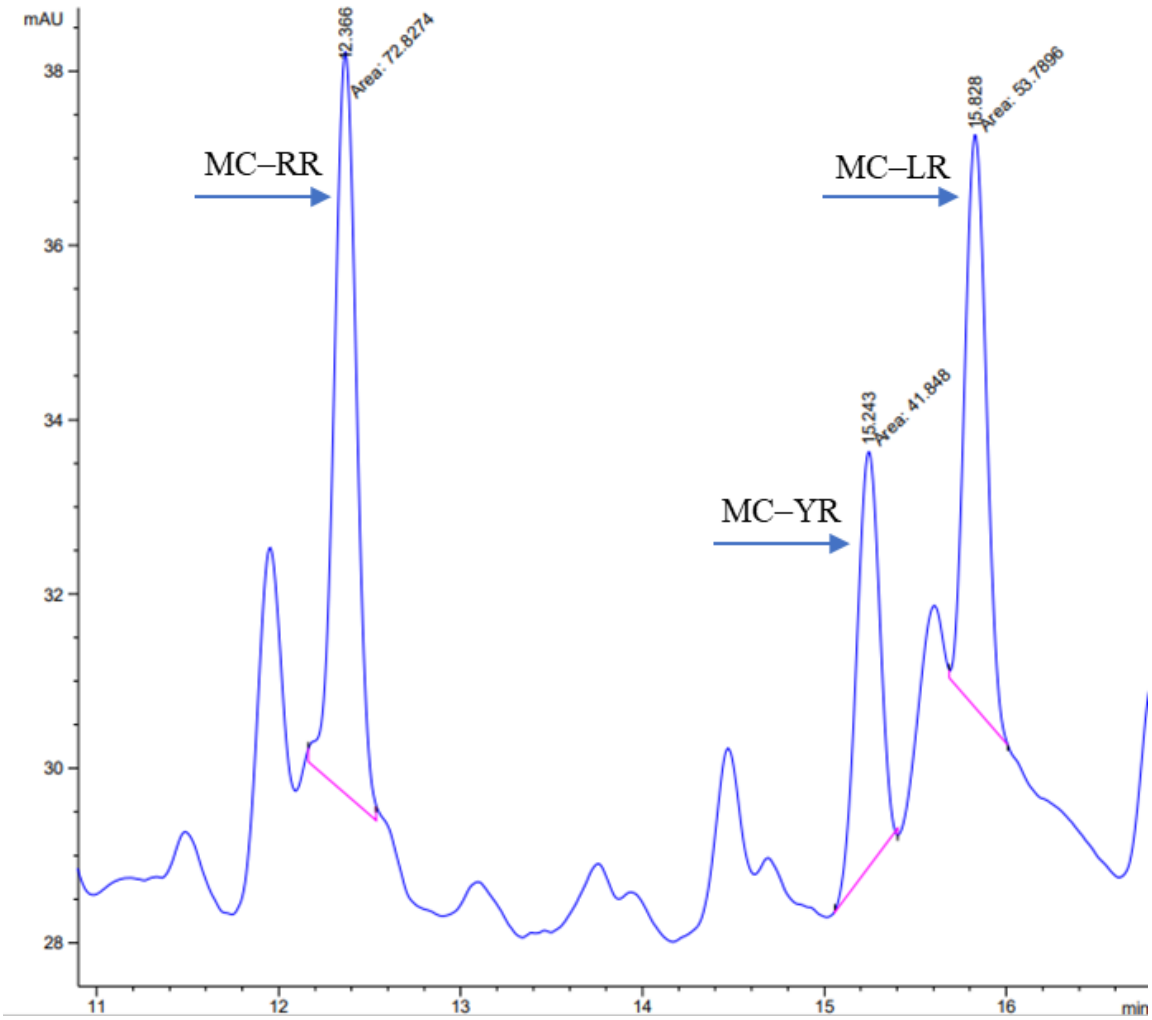
- MC–LR = 0,30 μg/L;

Концентрациите на нутриенти варират в следните диапазони: общ азот – 0,63–2,28 mg/L и общ фосфор – 0,021–0,263 mg/L, без ясно изразена зависимост с концентрациите на микроцистини. Корелационният анализ за периода 2023–2025 г. не показва статистически значима връзка между микроцистините и нутриентите ($p > 0,05$), което показва, че продукцията на токсини не е пряко обусловена от нивата на азот и фосфор, а е резултат от комплексно взаимодействие на фактори – температурен режим, стратификация, светлинни условия и локални хидродинамични процеси. Вариационният анализ показва добра съгласуваност между резултатите, получени чрез ELISA и HPLC, което потвърждава надеждността на приложените аналитични методи.

Яз. Студена удена се характеризира с относително стабилен олиго-мезотрофен статус и бедно по видов състав фитопланктонно съобщество, доминирано предимно от диатомови водорасли. Присъствието на цианобактерии е ограничено, като не се наблюдават устойчиви токсични цъфтежи в изследваните пунктове.

Съпоставката с ретроспективни данни показва епизодичен, но повтаряем характер на продуцирането на токсини в язовира, с отчетлив пик през 2020 г. и последващо регистриране на измерими концентрации в настоящото изследване. Въпреки отсъствието на устойчиви токсични цъфтежи, установените локални повишения на микроцистини, включително в повърхностни петна, показват потенциал за възникване на рискови събития.

Като цяло язовир Студена може да бъде определен като водоизточник със стабилно екологично състояние, но с проявен потенциал за епизодична продукция на цианотоксини, което налага засилен мониторинг, особено в края на летния и началото на есенния период.




**Фигура 2.** Хроматограма на проба от петно при стената в близост до водовземната кула на яз. Студена, месец октомври 2023 г.

### 3.4. Язовир Красава

Резултатите от анализите на проби за наличие на микроцистини и нутриенти, взети през 2023–2025 г., са обобщени в **таблица 6**.

**Таблица 6.** Язовир Красава 2023–2025 г. Резултати от анализи за определяне на микроцистини и нутриенти.

| **Пункт/ месец на вземане на проби** | **ELISA** *LOQ 0,15 µg/L* | | | **MC–RR, –YR, –LR, µg/L** *LOQ 0,2 µg/L* | | | **Общ N, mg/L** *LOQ 0,5 mg/L* | | | **Общ P, mg/L** *LOQ 0,02 mg/L* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **2023** | **2024** | **2025** | **2023** | **2024** | **2025** | **2023** | **2024** | **2025** | **2023** | **2024** | **2025** |
| яз. Красава м. юни | 0,25 ± 0,06 | < LOQ | - | LR eqv ~ 0,2 | < LOQ | - | 1,17 ± 0,12 | 1,80 ± 0,18 | - | 0,021 ± 0,002 | 0,023 ± 0,002 | - |
| яз. Красава м. юли | 0,27 ± 0,07 | < LOQ | < LOQ | LR eqv ~ 0,2 | < LOQ | < LOQ | 1,16 ± 0,12 | 1,75 ± 0,18 | 1,81 ± 0,18 | 0,344 ± 0,034 | 0,032 ± 0,003 | 0,122 ± 0,012 |
| яз. Красава м. август | < LOQ | < LOQ | < LOQ | < LOQ | < LOQ | < LOQ | 1,35 ± 0,14 | 1,76 ± 0,18 | 0,81 ± 0,08 | 0,246 ± 0,031 | 0,108 ± 0,011 | 0,067 ± 0,007 |
| яз. Красава м. септември | < LOQ | < LOQ | < LOQ | < LOQ | < LOQ | < LOQ | 0,90 ± 0,09 | 1,88 ± 0,19 | 1,96 ± 0,20 | 0,041 ± 0,004 | 0,082 ± 0,008 | 0,035 ± 0,004 |
| яз. Красава м. октомври | < LOQ | < LOQ | - | < LOQ | < LOQ | - | 1,12 ± 0,11 | 1,25 ± 0,13 | - | 0,028 ± 0,003 | 0,131 ± 0,013 | - |

Резултатите от проведените изследвания (**табл. 6**) показват, че язовир Красава се характеризира със стабилен олиго-мезотрофен статус и ниски концентрации на микроцистини през периода 2023–2025 г. В по-голямата част от анализираните проби стойностите са под границата на количествено определяне, като само през 2023 г. в отделни проби (юни и юли) са установени следови количества микроцистин–LR еквивалент (~ 0,2 µg/L). През 2024 г. и 2025 г. не е установено наличие на микроцистини.

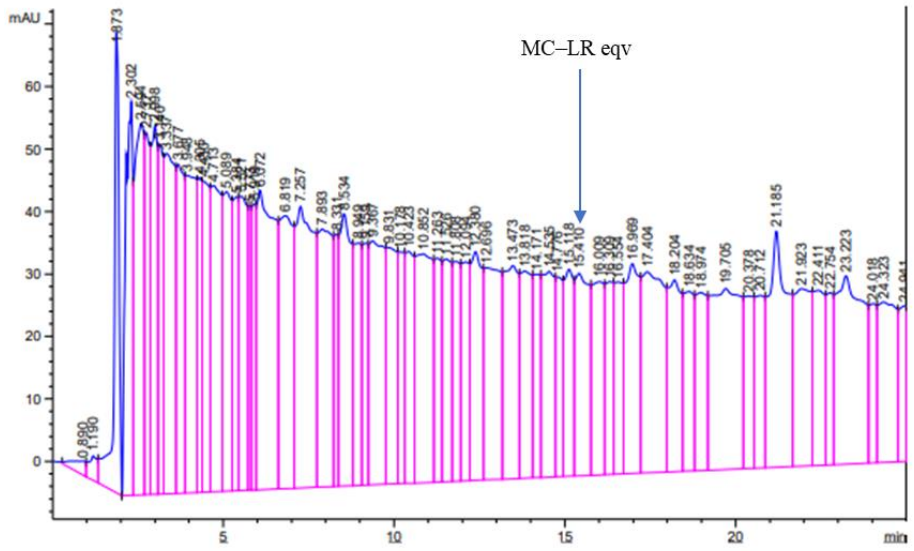
Концентрациите на нутриенти варират в следните диапазони: общ азот – 0,81–1,96 mg/L и общ фосфор – 0,021–0,344 mg/L. Най-високата стойност на общ фосфор (0,344 mg/L) съвпада с пробата, в която са установени следови количества микроцистини, което предполага възможна локална връзка между фосфорното обогатяване и продукцията на токсини.

Корелационният анализ показва слаби до умерени зависимости между концентрациите на микроцистини и нутриентите, които през 2023 г. не са статистически значими ($p > 0,05$), като през 2024 г. и 2025 г. липсата на вариация в стойностите на микроцистините не позволява провеждането на анализ. Между двата нутриента също не се установява ясно изразена връзка.

Ретроспективните данни потвърждават устойчивата липса на токсични цъфтежи в язовира, като микроцистини не са установявани в предходни изследвания, а в настоящото проучване се регистрират единствено епизодични следови количества. Получените резултати показват нисък риск от контаминация с цианотоксини през изследвания период, но с оглед използването му за питейно-битово водоснабдяване е целесъобразно провеждането на периодичен мониторинг през топлите сезони, особено при повишено нутриентно обогатяване и климатични аномалии.

Вариационният анализ показва добра съгласуваност между резултатите, получени чрез ELISA и HPLC, което потвърждава надеждността на приложените аналитични методи.

На **фиг. 3** е представена хроматограмата от месец юли 2023 г. Установеното съединение показва спектрални характеристики, сходни с MC–LR, но с различно време на задържане.




**Фигура 3.** Хроматограма на проба от яз. Красава м. юли 2023 г. MC–LR eqv ~ 0,2 µg/L.

### 3.5. Заключение

Комплексният сравнителен анализ на язовирите Искър, Студена и Красава показва, че трите водоема, използвани за питейно-битово водоснабдяване, се характеризират със стабилен олиго-мезотрофен статус и β-мезосапробно състояние, но демонстрират различен потенциал за развитие на цианобактериални цъфтежи и продукция на микроцистини.

Фитопланктонната структура във всички язовири се характеризира с доминиране на диатомови водорасли и ограничено присъствие на цианобактерии, без формиране на устойчиви токсични цъфтежи. Най-висока склонност към епизодична продукция на токсини се установява в яз. Студена, където се наблюдава повърхностно петно със значителни концентрации на микроцистини. Яз. Искър и яз. Красава демонстрират по-стабилна екологична структура и наличие на микроцистини единствено в следови количества.

Обобщените данни за положителните проби показват, че концентрациите на микроцистини варират в диапазона 0,2–1,29 µg/L, като най-високите стойности са регистрирани в яз. Студена през есенния период. В яз. Искър и яз. Красава установените стойности са значително по-ниски (около 0,2 µg/L) и с епизодичен характер. Положителните проби са регистрирани предимно през летния и ранния есенен сезон и при широк температурен диапазон (11–28 °C), което показва, че температурата е необходим, но не единствен фактор за поява на токсини.

Концентрациите на нутриенти варират в умерени граници (общ азот: 0,74–1,83 mg/L; общ фосфор: 0,02–0,344 mg/L), като съотношението N/P показва значителна вариабилност. В отделни случаи се наблюдават съвпадения между повишени концентрации на нутриенти и наличие на микроцистини, но не се установява устойчива зависимост.

Корелационният анализ, както за отделните язовири, така и за обединения набор от данни (n = 99), не показва статистически значима връзка между концентрациите на микроцистини и съдържанието на нутриенти. Това показва, че продукцията на микроцистини не се определя пряко от нутриентното обогатяване, а е резултат от комплексно взаимодействие на екологични фактори, включително температурен режим, стратификация, сезонна миксия, светлинни условия и хидродинамика.

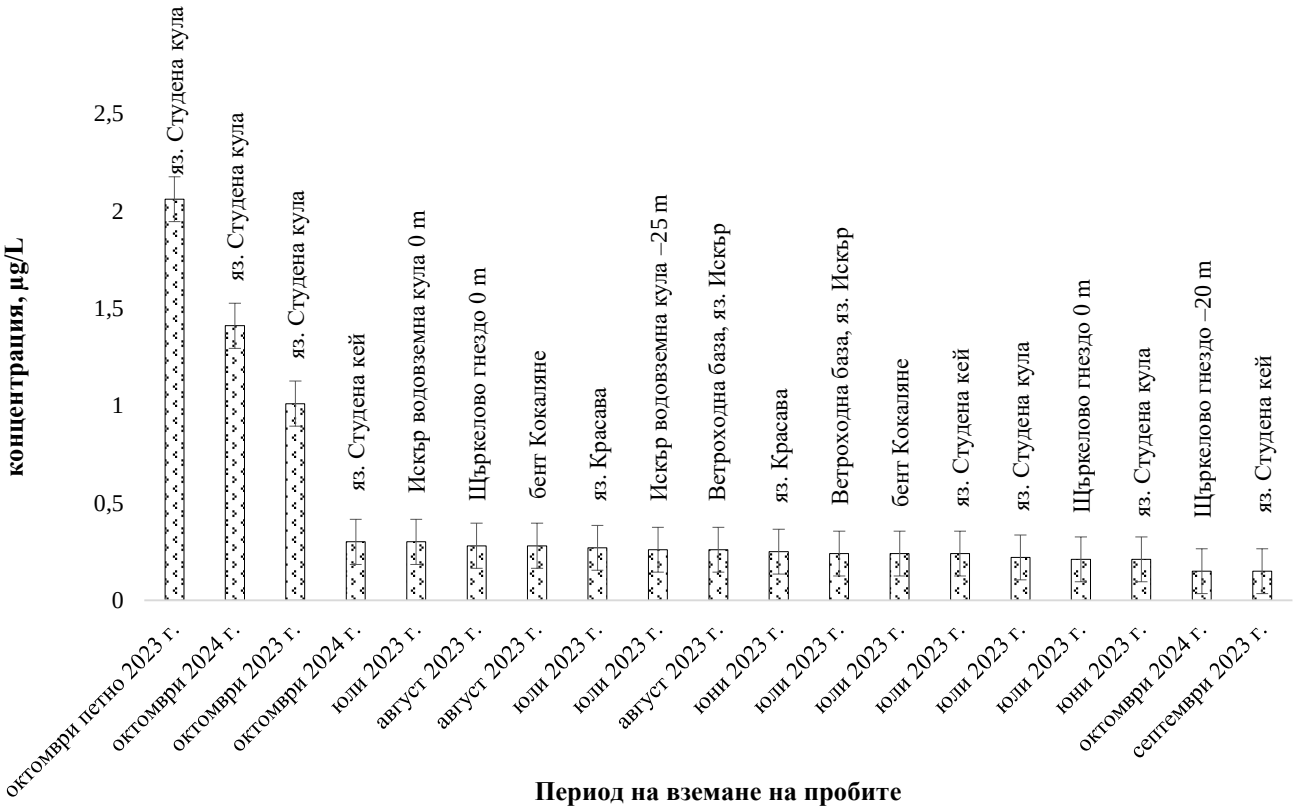
Установено е, че микроцистини могат да се откриват както в повърхностния слой, така и в проби, взети от по-голяма дълбочина (20–25 m), където интензитетът на светлината е значително по-нисък, което предполага вертикално разпределение на токсините вследствие на смесване на водните маси и лизис на цианобактериални клетки. Най-високи концентрации се регистрират в края на летния и началото на есенния период, което съответства на фазата на разрушаване на температурната стратификация.

Сравнителният анализ показва, че яз. Студена притежава най-висок потенциал за епизодична продукция на микроцистини, включително стойности, доближаващи или надвишаващи референтната граница за питейни води (1 μg/L), докато яз. Искър и яз. Красава се характеризират с по-нисък токсикологичен риск и по-висока екологична устойчивост.

Резултатите от сравнението между аналитичните методи показват добра съгласуваност между ELISA и HPLC, като ELISA се доказва като подходящ инструмент за рутинен скрининг, а HPLC – като надежден метод за потвърждение и идентификация на отделните микроцистини. **Фигура 4** обобщава положителните проби и концентрации на микроцистини, определени чрез ELISA анализ в язовирите Искър, Студена и Красава в периода 2023–2025 г.

Получените резултати са в съответствие с международни проучвания, които показват, че в умерено трофични водоеми продукцията на цианотоксини е епизодична, трудно прогнозируема и не винаги пряко свързана с концентрациите на нутриенти. Наблюдаваните сезонни закономерности и ролята на температурната стратификация потвърждават значението на хидрофизичните фактори за формирането на токсични цъфтежи.

В обобщение, изследваните български питейни язовири Искър, Студена и Красава се характеризират с добро екологично състояние и нисък до умерен риск от контаминация с микроцистини, като основен фактор за възникване на токсични цъфтежи се явява не количеството на нутриентите, а комплексното въздействие на физични, химични и биологични процеси. Това налага прилагането на динамичен и сезонно ориентиран мониторинг, особено в периоди с повишен риск.




**Фигура 4.** Положителни проби и концентрации на микроцистини, определени чрез ELISA анализ в язовирите Искър, Студена и Красава.

Изследванията продължават към настоящия момент в изпълнение на проект „Изследване на цианотоксини в някои български водоеми (CYANOACTION-BG)“, с национално съфинансиране по програма COST – Акция CA23160 “Effective Lake management: reducing cyanobacteria by actions in the catchment (CYANOACTION)” по договор с ФНИ № КП-06-КОСТ/3/10.06.2025 г.

В обобщение, резултатите от настоящия дисертационен труд разширяват наличните научни данни за разпространението на микроцистини в българските питейни язовири и очертават ключовите екологични фактори, свързани с тяхната поява. Те създават основа за бъдещи изследвания и за усъвършенстване на националните политики по мониторинг на цианотоксини.

# 4. ИЗВОДИ

**Методични изводи**

1. Разработен и валидиран е хроматографски метод за определяне на микроцистини–RR, –YR и –LR във води чрез HPLC, с граница на количествено определяне 0,2 μg/L и граница на откриване 0,1 μg/L, линеен диапазон от 0,2 до 1,5 μg/L, аналитичен добив от 66,5 до 123,79 %. Методът отговаря на изискванията на Директива (ЕС) 2020/2184 и Наредба № 9/2001 за качеството на водата, предназначена за питейно-битови цели, и е включен в обхвата на акредитираната дейност на ИЦ „Здраве“ към НЦОЗА.
2. Резултатите за съдържание на микроцистини, получени чрез ELISA анализ, са сравними с концентрациите получени при HPLC анализа.

**Наличие и динамика на микроцистини**

3. Изследваните язовири Искър, Студена и Красава се характеризират с преобладаващо β-мезосапробно състояние и олиго-мезотрофен статус, без установяване на устойчиви масови цианобактериални цъфтежи в периода 2023–2025 г.
4. Фитопланктонните съобщества са доминирани предимно от диатомови водорасли, като присъствието на цианобактерии е ограничено и не показва трайна тенденция към доминиране.
5. В язовир Студена са установени измерими концентрации на микроцистини през 2023 г. и 2024 г., включително стойности, доближаващи нормативната граница за микроцистин–LR (1 μg/L), както и повишени концентрации в повърхностни цъфтежни петна. Данните потвърждават епизодичен, но повтаряем характер на продукцията на токсини.
6. В язовир Красава и в различни пунктове на язовир Искър през 2023 г. са установени само следови количества микроцистин–LR еквиваленти, без потвърдена устойчивост на продукцията на токсини в следващите години.
7. През 2025 г. в изследваните водни проби не е установено наличие на микроцистини.

**Връзка с факторите на околната среда**

8. Не се установява устойчива линейна зависимост между концентрациите на общ азот и общ фосфор и съдържанието на микроцистини. Зависимостите между концентрациите на микроцистини и нутриентите в изследваните язовири са слаби до умерени и в повечето случаи не достигат статистическа значимост ($p < 0,05$). Най-изразени корелации се наблюдават в яз. Искър, докато при яз. Студена и яз. Красава

връзката между микроцистините и нутриентите е по-слабо изразена, което показва, че продукцията на токсини не се определя единствено от нутриентното обогатяване.

9. Епизодичното наличие на микроцистини кореспондира с:

- летно-есенния температурен максимум;
- разрушаването на температурната стратификация;
- сезонната миксия на водните маси;
- локално повишени концентрации на нутриенти.

10. Установените по-високи концентрации на микроцистини през есенния период предполагат освобождаване на вътреклетъчни токсини вследствие на лизис на цианобактериалната биомаса при промяна на хидрофизичните условия.

**Оценка на риска**

11. Сред изследваните водоеми язовир Студена проявява най-висок потенциал за епизодична продукция на токсини, докато язовирите Искър и Красава демонстрират по-стабилен екологичен статус и нисък токсикологичен риск.

12. Получените резултати потвърждават необходимостта от динамичен сезонен мониторинг на питейните язовири, особено в периоди на повишени температури и хидрофизични промени, в съответствие с изискванията на европейското законодателство.

# 5. ПРЕПОРЪКИ

## 5.1. Мониторинг на уязвими водоеми

Проведеното проучване на сезонната динамика на микроцистини в питейни язовири в района на гр. София за периода 2023–2025 г. идентифицира язовир Студена като водоем с повишена уязвимост по отношение на епизодична продукция на цианотоксини.

Установените концентрации на микроцистини, доближаващи нормативната стойност от 1 μg/L за микроцистин–LR, налагат включването на този показател в регулярните мониторингови програми за качеството на водите, предназначени за питейно-битово водоснабдяване.

Препоръчва се проследяването да се осъществява с повишена честота през топлите месеци и началото на есенния сезон, когато рискът от цианобактериални събития е най-висок.

## 5.2. Превантивен мониторинг при потенциално застрашени язовири

В условията на динамично променящ се климат и засилващи се процеси на еутрофикация е необходимо да се прилага превантивен подход при оценката на риска за питейните водоизточници.

Водоеми като язовирите Искър и Красава, при които са установени само следови количества микроцистини, следва също да бъдат включени в периодични наблюдения през сезоните с благоприятни условия за развитие на цианобактерии и продукция на токсини.

Подобен подход ще позволи ранно идентифициране на неблагоприятни тенденции и своевременно предприемане на управленски и технологични мерки за гарантиране безопасността на питейните води.

# 6. ПРИНОСИ

1. Разработен и валидиран е аналитичен метод „Води. Определяне съдържанието на микроцистини чрез HPLC“, въведен като вътрешнолабораторна методика за изпитване и включен в обхвата на акредитация на ИЦ „Здраве“ към НЦОЗА. Методът може да бъде използван за контрол на съдържанието на микроцистин–LR, съгласно Директива (ЕС) 2020/2184 и Наредба № 9/2001 за качеството на водата, предназначена за питейно-битови цели.
2. За първи път в България е извършено системно проучване на сезонната динамика на микроцистини и основни нутриенти във водоеми, използвани за питейно водоснабдяване.
3. За първи път е проследена сезонната динамика на микроцистини и нутриенти (пролет–лято–есен) в периода 2023–2024 г. в основния водоизточник на столицата – язовир Искър, чрез пробонабиране от три пункта: яз. Искър – водовземна кула, яз. Искър – Щъркелово гнездо и яз. Искър – ветроходна база.
4. За първи път е извършена оценка на динамиката на микроцистини на входа на ПСПВ Панчарево (бент Кокаляне) като част от водоснабдителната система на язовир Искър.
5. За първи път е охарактеризирана сезонната динамика на микроцистини и нутриенти (пролет–лято–есен) в периода 2023–2025 г. в питейния язовир Студена, водоизточник за гр. Перник и региона.
6. За първи път е охарактеризирана сезонната динамика на микроцистини и нутриенти (пролет–лято–есен) в периода 2023–2025 г. в язовир Красава, използван за питейно водоснабдяване на гр. Брезник и прилежащите населени места.
7. Получените резултати допълват и надграждат дългогодишните изследвания на цианотоксини във водоеми в района на гр. София, провеждани в НЦОЗА от 2004 г., като разширяват базата данни за риска от продукция на токсини в питейни водоизточници.
8. Дисертационният труд предоставя научна основа за въвеждане на мониторинг на микроцистин–LR в съответствие с изискванията на Директива (ЕС) 2020/2184, като включва и съпътстващите хомолози микроцистин–YR и –RR за по-пълна оценка на риска.
9. Генерираната информация може да бъде използвана при разработване на програми за оценка на риска и управление на качеството на повърхностните води, предназначени за питейни цели.

## 7. ПУБЛИКАЦИИ

1. **Митрева, М.,** & Павлова, В. (2018). Микроцистин–LR: Нов замърсител в европейската директива за питейни води. *Доклади от годишна университетска научна конференция на НВУ „В. Левски“*, 382–389, ISSN 2367-7481.

2. **Митрева, М.,** & Павлова, В. (2023). Разработване на метод за определяне на микроцистин–LR и негови аналози чрез HPLC. *Доклади от годишна университетска научна конференция на НВУ „В. Левски“*, 1520–1528, ISSN 2367-7481.

3. **Mitreva, M.,** Karakashkova, P., & Pavlova, V. (2024). Study of the seasonal dynamics of microcystins and nutrients in Kokalyane bent. *Mechanization in Agriculture & Conserving of the Resources, 4*, 159–161, ISSN 2603-3704.

## 8. УЧАСТИЯ В НАУЧНИ ФОРУМИ

1. **Митрева, М.,** В. Павлова, Микроцистин–LR: нов замърсител в европейската директива за питейни води, *Годишна университетска научна конференция на НВУ „В. Левски“,* 14–15 Юни 2018 г., Велико Търново, България (доклад).

2. **Митрева, М.,** В. Павлова, Разработване на метод за определяне на микроцистин–LR и негови аналози чрез HPLC, *Годишна университетска научна конференция на НВУ „В. Левски“,* 08–09 Юни 2023 г., Велико Търново, България (доклад).

3. **Mitreva, M.,** V. Pavlova. Development of a highly sensitive and reliable analytical method for determination of Microcystin–LR in drinking water. *5th International Environmental Chemistry Congress,* 30.10–02.11.2023, Antalya, Turkey, (постер).

4. Павлова, В., **М. Митрева**, Токсини на синьо-зелени водорасли – нов замърсител за мониторинг в Директивата за питейни води, *он-лайн семинар с международно участие в Европейска седмица на общественото здраве,* 13–17 май 2024 г., он-лайн (доклад).

5. Павлова, В., **М. Митрева**, М. Рачинска, Ф. Сотирова, Нови замърсители в ревизираната и транспонирана в българското законодателство Директива (ЕС) 2020/2184 относно качеството на водата, предназначена за консумация от човека, *XI$^{ma}$ Национална конференция по хранене*, 30 май–1 юни 2024 г., София, България (доклад).

6. **Митрева, М.,** В. Павлова, Кр. Иванов, М. Андров, П. Каракашкова, Д. Жиланов, В. Влахова, Микроцистин–LR – нов показател в ревизираната Директива (ЕС) 2020/2184 относно качеството на водата, предназначена за консумация от човека, *Семинар с международно участие „Инструментални техники и методи за химичен анализ-предизвикателства и нови решения“*, 5 юни 2024 г, Пловдив, България (постер).

**7. Mitreva, M.,** P. Karakashkova, K. Ivanov, M. Androv, V. Vlahova, D. Zhilanov, M. Rachinska, F. Sotirova, A. Lazarova, V. Pavlova, B. Uzunov. Study of Seasonal Dynamics of Microcystins and Nutrients in Iskar dam. 6*th International Environmental Chemistry Congress*, 05.11–08.11.2024, Trabzon, Turkey (**постер отличен с първа награда).**

**8. Митрева, М.,** В. Павлова, В. Георгиева. Изследване на съдържанието на микроцистини в избрани водоеми в района на София, *семинар „Инструментални техники и методи за химичен анализ“*, 05.06.2025 г., Пловдив, България (постер).

**9.** Pavlova, V., **M. Mitreva.** Microcystin-LR as a New Parameter under the Revised EU Drinking Water Directive (2020/2184), *Twelfth National Conference on Chemistry, Chemistry for building a decarbonized society*, University of Chemical Technology and Metallurgy, 25−27.09.2025, Sofia, Bulgaria (постер).