

ас. инж. Елена Янкова Моллова

**ИЗСЛЕДВАНЕ И АНАЛИЗ НА ИНДИКАТОРИ НА
ЗАМЪРСЯВАНЕ В МОРСКИ И КРАЙБРЕЖНИ
ЕКОСИСТЕМИ ПО ЮЖНОТО ЧЕРНОМОРИЕ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертационен труд, представен за присъждане на образователна и научна степен “Доктор” по научна специалност: „Екология и опазване на околната среда”, Професионално направление: 4.2. Химически науки

Научни ръководители
Доц. д-р Александър Димитров
Проф. д-р Севдалина Турманова

Бургас, 2025 год.

ас. инж. Елена Янкова Моллова

**ИЗСЛЕДВАНЕ И АНАЛИЗ НА ИНДИКАТОРИ НА
ЗАМЪРСЯВАНЕ В МОРСКИ И КРАЙБРЕЖНИ
ЕКОСИСТЕМИ ПО ЮЖНОТО ЧЕРНОМОРИЕ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертационен труд, представен за присъждане на образователна и научна степен “Доктор” по научна специалност: „Екология и опазване на околната среда”, Професионално направление: 4.2. Химически науки

Научни ръководители

Доц. д-р Александър Димитров

Проф. д-р Севдалина Турманова

Бургас, 2025 год.

Дисертационният труд е обсъден на разширен катедрен съвет при катедра „Екология и опазване на околната среда“, Бургаски държавен университет „Проф. д-р Асен Златаров“, на заседание, състояло се на 5.06.2025 г. и е насочен за разкриване на процедура за защита пред жури, определено със заповед на Ректора на Бургаски държавен университет „Проф. д-р Асен Златаров“.

Дисертационният труд съдържа 163 страници, 12 таблици и 73 фигури. В библиографията са включени 206 заглавия.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на2025 г.

Материалите по защитата са на разположение на интересувашите се в катедра “Екология и опазване на околната среда”

СПИСЪК НА ИЗПОЛЗВАНИТЕ СЪКРАЩЕНИЯ

БПК – Биологична потребност от кислород
ДДТ – Дихлордифенилтрихлоретан
МП – Микропластмаса
МДК – Максимално допустими концентрации
ПАВ – Полициклични ароматни въглеводороди
ПДН – Пределнодопустими норми
ПМО – Плаващи морски отпадъци
ПХБ – Полихлориран бифенил
СГС – Средно годишна стойност
ССМ – Сертифициран стандартен материал
ABS – Акрилонитрил-бутадиен-стирен
СА – Целулозен ацетат
CORINE – Координация на информацията за околната среда
EUNIS – Европейската информационна система за околна среда
EVAc – Етилен-винил ацетат
EVON – Етилен-винил алкохол
HEI – Индекс за оценка на токсични метали и металоиди
GC-MS – Газова хроматография и маспектрометрия
ICP-MS – Индуктивно свързана плазма с маспектрометрия)
OSPAR – Конвенция за защита на морската среда на Атлантическия океан
РА – Полиамид
PAN – Полиакрилонитрил
PBT – Полибутилен терефталат
РС – Поликарбонат
РЕ – Полиетилен
PEEK – Полиетеретеркетон
PET – Полиетилен терефталат
PLA – Полилактид
PMMA – Полиметилметакрилат
POM – Полиацетал
PP – Полипропилен
PPSU – Полифениленсулфон
PS – Полистирен
PSU – Полисулфон
PU – Полиуретан
PVC – Поливинилхлорид
ROS – Реактивни кислородни видове
SEM – Сканиращата електронна микроскопия
SEM-EDS – Сканиращата електронна микроскопия с енергийно-дисперсионна рентгенова спектроскопия
SI – Полисилоксани
TGA – Термогравиметричен анализ

ВЪВЕДЕНИЕ

Замърсяването на морската среда представлява сериозен екологичен проблем, който оказва значително въздействие върху биоразнообразието, устойчивостта на екосистемите и способността им да предоставят екосистемни услуги. Вътрешните морета, като Черно море, са особено уязвими поради ограничения водообмен с откритите океани и интензивната антропогенна дейност в прилежащите територии.

Сред основните замърсители в морската среда са токсичните метали и металоиди, органичните замърсители, биогеенни елементи и нововъзникващи замърсители като микропластмасите. Микропластмасите, поради своята висока устойчивост и разпространение, представляват нарастващ екологичен риск. Тяхното разпространение, разпределение в околната среда и достъпът им до морските организми се влияят от физико-химични фактори като температура, соленост, рН и електропроводимост. Освен това, токсичният им потенциал е свързан не само с мономерите, от които са изградени (съдържат добавки (катофталати, бисфеноли и др.), но и с адсорбцията на токсични химикали върху тяхната повърхност.

Системата за наблюдение и контрол на състоянието на околната среда обикновено обхваща индикатори, регулирани съгласно българското и европейското законодателство, с цел сравнение на отчетените концентрации с пределно допустимите норми (ПДН) и извършване на оценка на екологичното състояние на изследваните екосистеми. Динамиката на съвременния свят обаче изисква тази оценка да се актуализира въз основа на многофакторен критериен анализ, който да включва и индикатори, нерегулирани към настоящия момент, но имащи ключово значение за устойчивото състояние на околната среда.

Взаимовръзките между замърсителите във водата и седиментите играят ключова роля за разбирането на мобилността на токсичните вещества и тяхното дългосрочно въздействие върху екосистемите. Разбирането на тези връзки е от съществено значение за оценка на риска, който тези замърсители представляват, както и за формулирането на ефективни мерки за опазване на морската среда.

В тази връзка е поставена темата и целта на настоящата дисертационна работа.

Целта на настоящия дисертационен труд е да се изследват и анализират ключови индикатори на замърсяване с оглед установяване на актуалното екологично състояние на морските и крайбрежни екосистеми по Южното Черноморие.

За постигане на целта на дисертационният труд са поставени следните основни задачи:

1. Избор на три екосистеми и определяне на мониторингови точки, които са представителни за различни антропогенни и климатични влияния. Определяне на времеви период на изследването. Провеждане на теренни изследвания и пробонабиране от воден стълб и седимент.
2. Избор и измерване на основни физикохимични показатели на водата: рН, температура, соленост и електропроводимост;
3. Качествено и количествено определяне на микропластмасови частици във водните и седиментните проби за установяване на разпределението и акумулирането им в екосистемите;
4. Изследване и измерване на концентрациите на токсични метали и металоиди във водата и седиментите, както и сравнение с екологичните стандарти и допустимите норми, установени в Република България;

Поставените основни задачи в настоящия дисертационен труд целят да осигурят системни данни за състоянието на морските и крайбрежните екосистеми по Южното Черноморие и могат да се използват като основа при формулиране на решения и препоръки за тяхното опазване.

I. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ЧАСТ

I.1. Район и точки на изследване

В изпълнение на целта и основните задачи, поставени в настоящата дисертационна работа, са разгледани индикатори, свързани с антропогенния натиск върху екосистемите. Приложени са *in situ* методи за измерване на физико-химичните параметри директно в средата, като температура, рН, солесъдържание и електропроводимост. Използвани са методите на пробонабиране и полеви измервания, консервиране на пробите и провеждане на последващи лабораторни анализи на води и седименти от избрани обекти на три водни екосистеми: първа екосистема – езерна стояща вода (Бургаско езеро), втора екосистема – речна течаща вода (река Караагач) и трета екосистема – морска среда (Бургаски залив).

Трябва да се отбележи, че избраните точки за пробонабиране се намират на границата суша-вода, тъй като в тези преходни зони се наблюдава засилен обмен на вещества между водната и сухоземната среда [197-198].

Пробонабирането е организирано ежемесечно и обхваща периода от януари 2022 до декември 2023 г., като включва девет пробовземни точки (фиг. 1).



Фиг. 1. Пробовземни точки на Бургаски залив.

Седем от точките са в Бургаския залив, който е подложен на значителен антропогенен натиск, свързан с пристанищна инфраструктура, туризъм, индустриални и битови замърсители. Всяка точка е подбрана така, че да отрази въздействието на различните източници на замърсяване, включително водосбори на урбанизирани територии, индустриални обекти и зони с туристическа активност. Критериите за подбор са базирани на географското разположение, интензивност на туристическия поток и други потенциални рискове от замърсяване (дъжд, вятър, др.), както и въздействието им върху екосистемите [199]. Координатите на пробовземните точки са представени в табл. 1.

Включени са и по една пробовземна точка на езеро Вая и на устието на река Караагач, разположено в относително отдалечена зона слабо засегната от антропогенен натиск.

Таблица 1. Координати на пробовземни точки

Точка	Координати
1	42°31'59"N 27°29'34"E
2	42°30'34"N 27°29'05"E
3	42°30'05"N 27°29'02"E
4	42°29'43"N 27°29'11"E
5	42°29'29"N 27°28'57"E
6	42°29'19"N 27°28'33"E
7	42°29'20"N 27°28'23"E
8	42°29'38"N 27°27'03"E
9	42°13'33"N 27°46'42"E

I.1.1. Бургаски залив

Точките за мониторинг на Бургаски залив са разделени на две зони. Първата зона обхваща плажната ивица на Бургаски залив, включваща северен и централен плаж. Тази зона е подложена на туристически натиск и има развита инфраструктура за отдих и развлечения. Картирани са пет пробовземни точки (1-5). Втората зона обхваща територията на Пристанище Бургас, промишлен обект със силен антропогенен натиск, където са картирани две пробовземни точки (6-7).

I.1.2. Бургаско езеро (Вая)

Точка 8 е на кей (насип) на Бургаското езеро (Вая). Езерото представлява плитък лиман, разположен на запад от град Бургас. Солеността на водата в езерото варира между 4 ‰ и 11‰, като тези стойности се променят в зависимост от сезона и годината. Езерото е свързано с Черно море чрез канал. Точка осем е в близост до главен път Е87, и е подложена на силно атропогенно въздействие.

I.1.3. Река Караагач

Третата водна екосистема е представена с една точка – 9, която е устието на река Караагач при вливането и в Черно море. Китенска река, известна като Караагач се влива в югоизточната част на залива Караагач, на около 800 m южно от град Китен, като в устието си образува лиман с дълбочина между 11 и 14 m. Пробовземането се извърши през период когато устието е затворено и няма съприкосновение между водите на реката и морето.

1.2. Пробонабиране

Веднъж месечно през изследвания период се провеждат измервания на място (*in situ*) за определяне на физикохимичните показатели.

Анализите за микропластмаса и токсични метали/металоиди са проведени в „Лаборатория за качество на води“, Бургаски държавен университет „Проф. д-р Асен Златаров“.

От всички подбрани точки в екосистемите Бургаски залив, река Карагач и езеро Вая е извършено пробонабиране на води и седимент съгласно Български държавни стандарти.

1.2.1. Метод за вземане на водни проби

Пробонабирането на водни проби за анализ на микропластмаса се извършва със стандартно устройство тип „Rittner“ от воден стълб. Средна проба се събира в стерилни стъклени съдове, които се затварят херметически.

1.2.2. Методика за вземане на проби седимент от брега

Пробонабирането на седимент се извършва ръчно, по време на отлив на вълната по бреговата линия. В съответствие с целта на изследването и размерния диапазон на интересувашите ни микропластмаси, пробите се събират с пробовземач по методика, описана в литературата. Тя позволява директно вземане на проби от повърхността с приблизително тегло 0,5 кг, което осигурява сравнително лесно събиране на повторяеми проби от различните локации и сезони. Пробите се съхраняват в стъклени съдове за последващ анализ.

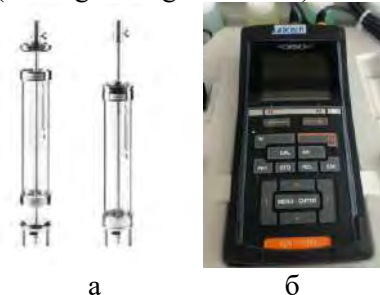
1.2.3. Метод за вземане на проба от дънен седимент

За пробонабиране на седиментни проби от дъното се използва пробовземач тип „Van Veen“, съгласно БДС EN ISO 5667-12:2017. Механичният инструмент представлява метален челюстен механизъм, състоящ се от две подвижни половини (челюсти), които се отварят при спускане и се затварят при контакта с дъното, захващайки пробата вътре. Той е снабден с въже или кабел за контролирано спускане и изтегляне. Събраната проба се прехвърля в стъклен съд за последващ анализ. Пробите се транспортират до лабораторията в хладилни контейнери при температура 4°C и се съхраняват в хладилник.

1.3. Измерване на физикохимични показатели на водни проби *in situ*

Веднъж месечно през изследвания период се провеждат измервания на място (*in situ*) за определяне на физикохимичните показатели съгласно стандарти: БДС EN 27888:2000 - Качество на водата. Определяне на специфична електропроводимост; БДС EN 10523:2008 - Качество на водата. Определяне на активна реакция.

Със стандартно устройство тип „Rittner” се взимат водни проби (фиг. 2а). Измерванията на показателите (pH, проводимост, температура, соленост) на водата се извършват на място с преносим, многофункционален измервателен уред WTW MultiLine® Multi 3630 IDS (фиг. 2б), който работи с цифрови IDS (Intelligent Digital Sensor) сензори.



Фиг. 2. Апаратура за водни проби.

I.4. Методики за анализ на токсични метали и металоиди

I.4.1. Изследване на водни проби за токсични метали и металоиди

Изследването на водни проби за съдържание на токсични метали и металоиди се извършва по вътрешнолабораторна методика, разработена на база БДС EN ISO 17294-2:2016 (верифициран чрез сертифициран референтен материал NIST 1643f) и спецификациите на апаратура Thermo Scientific. Методиката е приложена за определяне на съдържанието на елементи (As, V, Fe, Hg, Cd, Co, Mn, Cu, Ni, Pb, Se, Ag, U, Cr, Zn, Al, Ba, Li, Sr, Bi, B, Be, K) в разредени или екстрахирани разтвори от морски и повърхностни води чрез индуктивно свързана плазма с маспектрометрия (ICP-MS).

Същността на метода се състои в това, че взетата проба се филтрува през сиридж филтър - мембранен с размер на порите $0,45\mu\text{m}$, след което се разрежда с ултрачиста вода до достигане на електропроводност под $2700\mu\text{S/cm}$. Към разредената проба се добавя концентрирана азотна киселина, след което тя се подлага на анализ чрез ICP-MS.

Методът ICP-MS включва процеси на разлагане, атомизиране и йонизиране на пробата, като високоефективният маспектрометър осигурява разделяне и регистриране на йоните въз основа на тяхното съотношение маса/заряд. Работният диапазон на метода обхваща концентрации от $0,002\mu\text{g/l}$ и $1,0\mu\text{g/l}$ за повечето елементи, като точността на измерването се определя от условията на анализ.

Апаратура: мерителни колби; пипети; мембранни сиридж филтри ($0,45\mu\text{m}$)

Използвани реагенти: Ултрачиста вода – степен 2 по ISO 3696; Азотна киселина (HNO_3) – концентрирана 15,8 mol/l (65%), за почистване 5%; Мултиелементни стандартни разтвори: сертифицирани (1000 mg/l); Стандартен разтвор на Hg: сертифициран (1000 mg/l).

Ход на определянето: Разреждането на пробата започва с отпипетиране на 10 ml от предварително филтруваната проба, които се прехвърлят в мерителна колба. Към пробата се добавят 2 ml концентрирана азотна киселина, след което се допълва с ултрачиста вода до маркировката на колбата.

Калибрационният разтвор на празната проба се приготвя чрез добавяне на същото количество киселина, както при пробите, за да се осигури коректно измерване. Преди анализа инструментът се настройва и се приготвят минимум четири калибрационни разтвора с нарастваща концентрация, съответстващи на пробата, за да се осигури точността на измерването. След стабилизиране на инструмента се извършва измерване на калибрационните разтвори и пробите. Между всяко отчитане системата се промива с празна проба, за да се избегне замърсяване и кръстосано влияние между измерванията.

Работата на инструмента се проверява чрез анализ на контролен разтвор сертифициран стандартен материал (CCM). Ако получените стойности се отклоняват с повече от $\pm 10\%$ от очакваните, анализът се прекратява, проблемът се коригира и инструментът се калибрира отново.

Концентрацията на всеки елемент се определя чрез калибрационната графика, като резултатите се коригират спрямо празната проба и се умножават по фактора на разреждане.

Неопределеността на измерването включва отклоненията между отделните отчитания. Получените резултати се изразяват с точност до три значещи цифри (например $W_{\text{Cd}} = 5,67 \text{ mg/kg}$).

За проверка на точността и повторемостта на анализа се използва референтен материал на вода. Точността се оценява като разлика между получената средна стойност и стандартната стойност, докато повторемостта се определя чрез стандартното отклонение на серия от $6 \div 10$ проби.

1.4.2. Изследване на седименти за токсични метали и металоиди

С цел изследване на седиментите, за съдържание на токсични метали и металоиди, се използва вътрешнолабораторна методика, приложена за определяне на съдържанието им: As, Fe, Hg, Cd, Co, Mn, Cu, Ni, Pb, Se, Cr, Zn, Al, Ba, Na, B, Mg, K и Tl в седименти чрез ICP-MS. Методиката се основава на изискванията на EPA Method 3051a и спецификациите на апаратура Thermo Scientific.

Методът на анализ включва сушене на пробите в продължение на 10 дни при стайна температура и механична обработка до размери $< 250 \mu\text{m}$ преди разлагане с царска вода.

Разлагането се осъществява със смес от концентрирана солна и азотна киселина (3:1) в микровълнова система на разлагане FreeKem, модел М6 с мощност 1500W, съдържаща тефлонови съдчета, снабдени с капаци. След охлаждане, полученият екстракт се филтрира през филтър синя лента, прехвърля се количествено в мерителна колба от 100 ml и се оставя в хладилник до извършване на определението.

Пробата се анализира чрез ICP-MS, като елементите се йонизират в плазма (6000–8000 K) и се регистрират положителни йони (M^+ или M^{2+}) въз основа на техния масов заряд. Методът позволява определяне на елементи в концентрации от ng/l до mg/l.

Преди анализа пробите се изсушават на въздух или в сушилня до загуба на тегло под 5% за 24 часа, след което материалът се пресява през сито с размер на отворите под 2 mm и се смила до размер под $250 \mu\text{m}$.

Към проба (0,5÷1 g) се добавят 1 ml HNO_3 и 3 ml HCl . Тефлоновият съд се запечатва и поставя в микровълновата система, следвайки инструкциите на производителя. След охлаждане разтворът се филтрува и обемът се допълва до 100 ml с ултрачиста вода.

ICP-MS анализ: ICP-MS инструментът се настройва с подходящи параметри и се извършва калибриране. Пробите се анализират при контролирана температура, като се използват референтни разтвори за проверка на точността.

Представяне и точност на резултатите: Резултатите се изчисляват чрез софтуер, който използва калибрационната графика, коригира стойностите спрямо празната проба и умножава по фактора на разреждане. Масовата част на елемента WE в mg/kg сухо вещество се изчислява по формулата:

$$W_E = \frac{C \cdot V \cdot K}{m},$$

където:

W_E - масовата част на елемента E в пробата, (mg/kg) сухо вещество; C - концентрацията на елемента в пробата (mg/l); V - обемът на разтвора (ml); m - масата на пробата (g); K - корекционен фактор за сухи проби: $K=100/W_{dm}$; W_{dm} - съдържание на сухо вещество в седимента, в масова част (%).

Резултатите се отчитат с неопределеност, която включва отклоненията от качествения контрол на измерванията. Те се представят с точност до три значещи цифри, например $W_{Cd} = 3,87 \text{ mg/kg}$.

Точността и повторяемостта на метода се проверяват чрез анализ на стандартен материал с известна концентрация на елементите. Точността се определя като разлика между средната стойност от изпитванията и стандартната стойност. Повторяемостта се изчислява чрез стандартното отклонение на серия от $6 \div 10$ проби, което се използва за оценка на относителното стандартно отклонение при условията на повторяемост ($r = \text{STD}_r 2,8$).

I.5. Методики за анализ на микропластмаса

I.5.1. Методика за определяне на микропластмаса във водни проби.

Методиката за определяне на микропластмаса във водни проби се основава на изолиране на микропластмасовите частици от водни проби върху филтър и идентифициране с $\mu\text{-FT-IR}$.

Методът изисква използването на аналитично чисти реагенти, които се проверяват чрез празни проби. Дестилирана вода отговаря на изискванията на степен 2 по ISO 3696, за да не влияе на анализите; Водороден пероксид H_2O_2 (30%); Азотна киселина (65%), концентрация 15.8 mol/l; Допълнителни реактиви: Натриев хлорид (NaCl).

Ход на определянето: За отстраняване на пречещи органични компоненти към пробата се прибавя 2 ml H_2O_2 и к. HNO_3 до $\text{pH}=1,9$ и се хомогенизира с електромагнитна бъркалка. Обработената пробата се филтрува в помощта на филтрувална система през неорганична филтърна мембрана Whatman® Anodisc™ 25, с размер на порите 0,2 μm . Филтъра се промива с ултрачиста вода, която гарантира пълно премахване на остатъчните вещества и се суши при 42°C. Така подготвените за спектроскопски анализ филтри се съхраняват в ексикатор.

I.5.2. Методика за определяне на микропластмаса в седимент

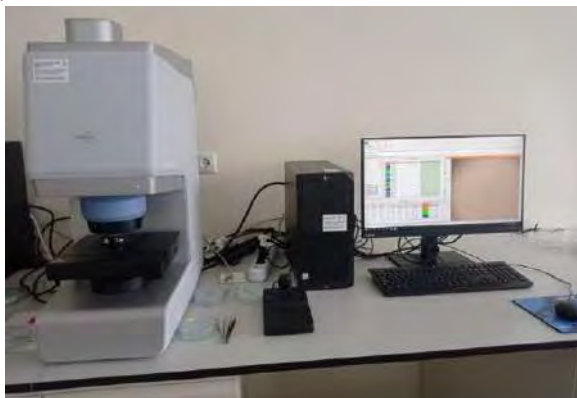
Методиката за определяне на МП в седимент се основава на изолиране на микропластмасовите частици върху филтър и идентифициране с $\mu\text{-FT-IR}$ микроскоп. Тя е разработена на база литературни проучвания, описани в [135, 172-173, 175-177]. Методиката включва сушене; пресяване; разделяне по плътност; отстраняване на пречещи органични компоненти; филтриране; сушене на пробите и анализ.

Пробите от седимент се изсушават в сушилня при температура под 40°C, за да се предотврати термично разлагане на микропластмасата. Сушенето продължава до достигане на постоянно тегло, при което загубата на маса не превишава 5% за 24 часа. След това материалът се пресява през сита с размери на откото: $\geq 2 \text{ mm}$, 1 mm, 500 μm , 315 μm и $<315 \mu\text{m}$.

Извличането на микропластмасата се осъществява чрез разделяне по плътност с наситен разтвор на NaCl . Към всяка проба се добавят 500 ml

от разтвора ($1,19 \text{ g/cm}^3$) и се барбутира с компресор. След утаяване в продължение на 24 часа, супернантът, съдържащ микропластмасите, се отделя и събира в реактивни шишета с помощта на вакуумна помпа. Към него се добавят 30% водороден пероксид (H_2O_2) и концентрирана HNO_3 за регулиране на рН до 2,0 с цел отстраняване на биологични и органични компоненти. След химичната обработка течната фаза се филтрува чрез вакуум филтрация през неорганична филтърна мембрана Whatman® Anodisc (диаметър 25 mm, пори $0,02 \mu\text{m}$). Мембраната се промива до рН=7, изсушава и съхранява в стъклени петрита.

Така подготвените филтри с извлечените върху тях микропластмаси се анализират с инфрачервена спектроскопия с преобразуване на Фурие. Този метод позволява идентифициране на химичния състав на полимерите чрез техните уникални спектрални характеристики. Измерването се извършва с помощта на $\mu\text{-FT-IR}$ (LUMOS II, Bruker) в режим на трансмисия (фиг. 3).



Фиг. 3. Микроскоп $\mu\text{-FT-IR}$ (LUMOS II, Bruker).

Използва се детектор с фокална равнина (FPA) с размери 32×32 и пространствена разделителна способност от $5 \mu\text{m}$. Сканирането е извършено в обхват от 4000 до 650 cm^{-1} с резолюция от 5 cm^{-1} . Софтуер (Purency Microplastics Finder) анализира получените резултати и ги съпоставя с вградена библиотека от референтни спектри. Този метод осигурява висока точност и надеждност при анализ на съдържанието на микропластмаса и е подходящ за научни изследвания, където се изисква прецизен анализ на микропластмасови замърсители.

II. РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

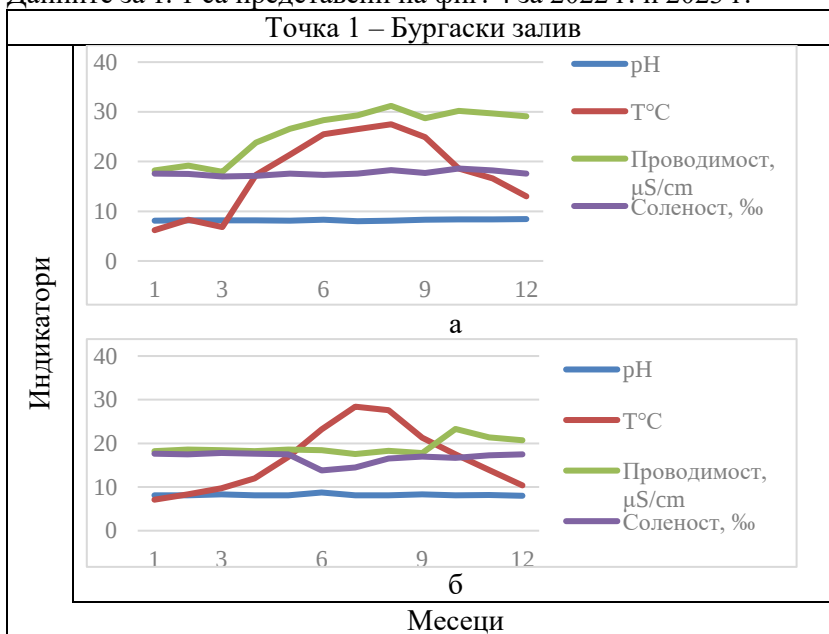
II.1. Физикохимични показатели на води

Съгласно Наредба Н-4/14.09.2012 г. за характеризиране на повърхностните води, част от нормативните дефиниции на класификациите за екологичното състояние включват определяне на химични и физикохимични елементи.

Използваните методи в дисертационният труд представляват съвременни аналитични инструменти за определяне на физикохимични показатели на водите в избраните пунктове, а именно: *Температурни условия* - Температура (t , °C); *Ацидификационен статус* - pH; *Соленост* - Електропроводимост ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Получените данни от *in situ* измерванията на физикохимичните показатели на водата за Бургаски залив са представени на фиг. 4-6.

Данните за т. 1 са представени на фиг. 4 за 2022 г. и 2023 г.

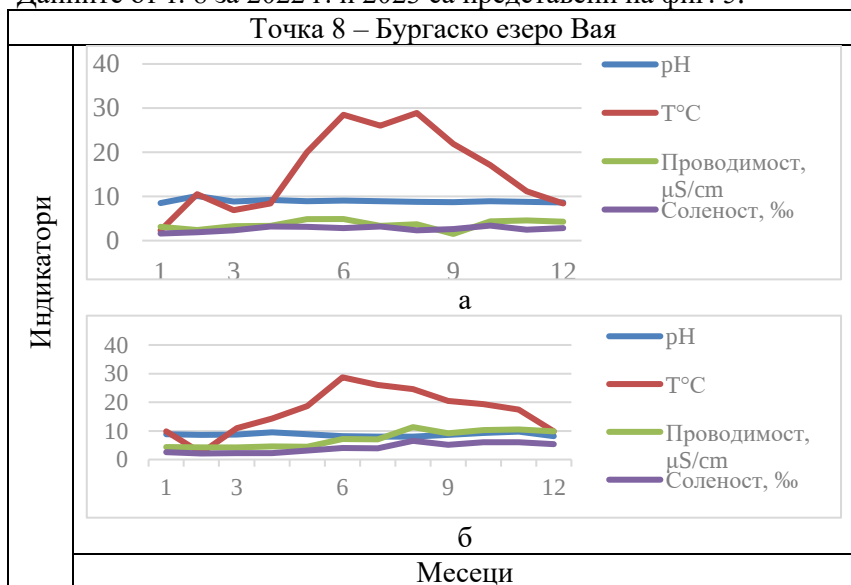


Фиг. 4. Физикохимични показатели на вода от пробовземна точка 1.

Данните за 2022 г. показват стойности на pH в диапазона от 8,0 до 8,43. Измерената температура варира между 6,6°C и 27,5°C, без критични отклонения. Проводимостта се променя в границите от 17,94 до 18,6 mS/cm, а солеността е между 17,0 и 18,6‰ (фиг. 4а).

През 2023 г. стойностите на рН са в диапазона от 8,0 до 8,3. Отчетените температури са между 7,1°C и 28,4°C, проводимостта 17,56 до 23,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$, а солеността – между 14,5 и 17,9‰. Това понижение в солеността може да се обясни с вероятно разреждане на екосистемата с по-сладка вода спрямо 2022 г. (фиг. 4б). През наблюдавания период в точка 1 стойностите на изследваните показатели остават стабилни и в рамките на регламентираните граници съгласно нормативните документи.

Данните от т. 8 за 2022 г. и 2023 са представени на фиг. 5.



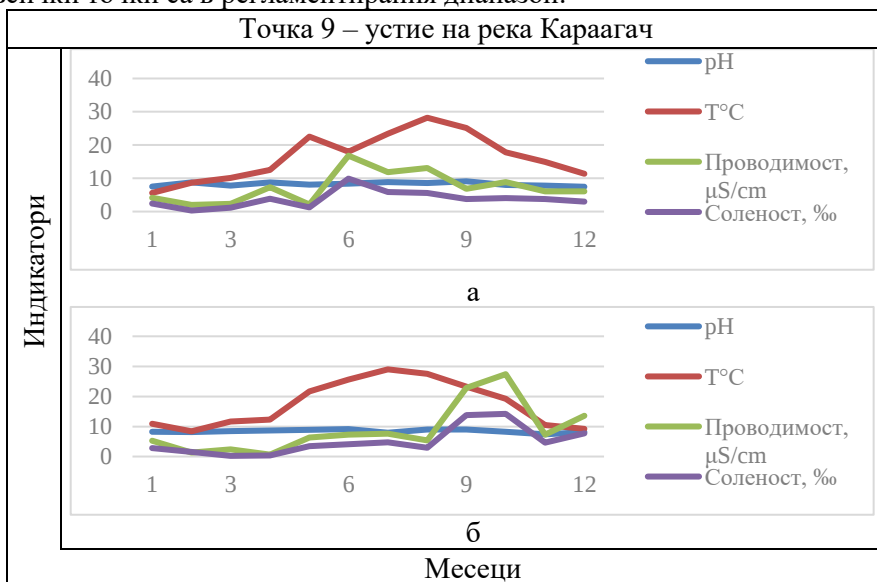
Фиг. 5. Физикохимични показатели на вода от пробовземна точка 8.

На фиг. 5 (а) са представени резултатите от изследването на водната екосистема „Бургаско езеро“ за 2022 г. Данните показват, че стойностите на рН варират в диапазона от 8,5 до 10,1. Температурата на водата се изменя между 2,3 и 28,9°C. Проводимостта е в границите от 1,51 до 4,89 $\mu\text{S}/\text{cm}$, а солеността варира между 1,6 и 3,4‰. За 2023 г. данните са представени на фиг. 5 (б). Температурите (°C) са между 2,3 и 28,7°C, рН варира от 8,0 до 9,74. Проводимостта е от 4,23 до 11,32 $\mu\text{S}/\text{cm}$, а солеността е между 2,1 и 6,52‰.

Данните от точка 9 за 2022 г. и 2023 са представени на фиг. 6. Резултатите от изследването на водната екосистема „Устие на река Караагач“ за 2022 г. показват, че стойностите на рН варират от 8,5 до 10,1, температурата на водата – между 2,3 и 28,9°C, проводимостта – от 1,51 до 4,89 $\mu\text{S}/\text{cm}$, а солеността – между 1,6 и 3,4‰. Данните за 2023 г., представени

на фиг. 5 (б), показват температури от 2,3 до 28,7°C, pH – от 8,0 до 9,74, проводимост – от 4,23 до 11,32 $\mu\text{S}/\text{cm}$, и соленост – между 2,1 и 6,52‰.

Анализът на данните за трите изследвани екосистеми „Бургаски залив“, „Бургаско езеро (Вая)“ и „устието на река Караагач“ за 2022 и 2023 г. показва стабилност на физикохимичните индикатори – pH, температура, проводимост и соленост, без признаци за значителни нарушения или антропогенни въздействия. Получените данни са съпоставими със стойностите, заложили в Наредба №1 от 11.04.2011 г. за мониторинг на водите и Наредба №8 от 25.01.2001 г. за качеството на крайбрежните морски води. Съгласно ПМС 273/23.11.2010 г. и Наредба Н-4/14.09.2012 г., стойностите на физикохимичните елементи за преходни и крайбрежни води във всички точки са в регламентирания диапазон.



Фиг. 6. Физикохимични показатели на вода от пробовземна точка 9.

Събраните водни и седиментни проби са анализирани за съдържание на токсични метали и микропластмаси.

II.2. Замяряване на воден стълб и седимент с токсични метали и металоиди

II.2.1. Съдържание на токсични метали и металоиди във води на Бургаски залив – пристанище Бургас на Черно море

За целите на изследването са проведени ежемесечни пробонабирания в периода юни 2021 – май 2022 г. на води в пробовземни точки 6 и 7 от

зона – Пристанище Бургас в Черно море. Взеитe водни проби са филтрирани чрез мембранен филтър с размер на порите 0,45 µm, след което са консервирани и анализирани за съдържание на разтворими макро-, микроелементи и токсични метали чрез метода ICP-MS.

Отчетените месечни концентрации на анализираниe макро-, микроелементи и токсични метали и металоиди са усреднени и систематизирани в табл. 2. Данните са сравнени с максимално допустимите концентрации (МДК), определени съгласно Наредба № 8 от 25.01.2001 г. за качеството на крайбрежните морски води.

Таблица 2. Средни концентрации на изследваните макро-, микроелементи и токсични метали и металоиди, тяхната неопределеност ($\pm$ НП), границите им на определяне (ГО) и максималната допустима концентрация (МДК) на водни проби от Черно море.

Елемент	ГО, $\mu\text{g/l}$	МДК	Концентрации, mg/l	
			Черно море – т. 6	Черно море – т. 7
Li	0,0111		54,1 $\pm$ 4,18	55,02 $\pm$ 4,25
Be	0,0070		< 0,007	< 0,007
B	0,4896		1157,69 $\pm$ 67,55	1184,7 $\pm$ 69,12
Na	0,0008		451,11 $\pm$ 7,65	451,11 $\pm$ 7,65
Mg	0,0010		320,26 $\pm$ 23,27	329,15 $\pm$ 23,91
Al	0,1721		2,29 $\pm$ 0,05	3,410,08 $\pm$
K	7,7737		128,36 $\pm$ 9,32	130,45 $\pm$ 9,48
V	0,4367		119,07 $\pm$ 4,84	116,11 $\pm$ 4,72
Cr	0,1105	10	1,670 $\pm$ 0,060	1,660 $\pm$ 0,060
Mn	0,1478		3,07 $\pm$ 0,21	6,06 $\pm$ 0,42
Fe	5,0000	100	14,11 $\pm$ 2,12	< 5,00
Co	0,0250		1,366 $\pm$ 0,084	1,395 $\pm$ 0,086
Ni	0,0200	100	13,73 $\pm$ 0,58	11,10 $\pm$ 0,47
Zn	1,2450	50	< 1,245	< 1,245
Cu	0,0510	30	3,800 $\pm$ 0,187	1,842 $\pm$ 0,090
As	0,0600	50	16,11 $\pm$ 1,13	16,55 $\pm$ 1,16
Se	0,8457		56,32 $\pm$ 3,95	58,75 $\pm$ 4,12
Sr	0,0494		2107,0 $\pm$ 158,8	2207,0 $\pm$ 166,3
Ag	0,0900		< 0,090	< 0,090
Cd	0,0148	5	0,146 $\pm$ 0,002	0,241 $\pm$ 0,004
Ba	0,0131		14,62 $\pm$ 0,23	18,43 $\pm$ 0,28
Pb	0,0480	100	1,465 $\pm$ 0,067	1,614 $\pm$ 0,074
Bi	0,0020		< 0,002	< 0,002

Получените данни показват, че концентрациите на изследваните елементи се изменят в широки граници в зависимост от конкретния анализ.

За посочените в наредбата токсични метали и металоиди (Cr, Fe, Ni, Zn, Cu, As, Cd, Pb), налични в пробите от крайбрежните морски води, не са отчетени концентрации, превишаващи МДК.

С цел определяне наличието на дифузно замърсяване са разгледани два сезона – пролет 2022 (м. април, май и юни 2022 г.) и лято 2022 (м. юли, август и септември 2022 г.) в повърхностни води за следните десет елемента: Al, As, Cu, Cr, Mn, Zn, Ni, Cd, Pb, Co и Hg.

IV.2.2. Съдържание на тежки метали и металоиди в седимент на Бургаски залив – Пристанище Бургас на Черно море

През летния сезон на 2023 г. е проведено пробонабиране на седимент от избраната зона – (Черно море, Пристанище Бургас) в две пробовземни точки. Отчетените месечни концентрации на анализирания макро- и микроелементи, както и токсичните метали и металоиди, са усреднени и систематизирани в табл. 3.

Таблица 3. Концентрации на изследваните макро-, микроелементи и токсични метали, тяхната неопределеност ($\pm$ НП) и границите им на определяне (ГО) в седименти от Черно море, пробонабрани през летния сезон на 2023 г.

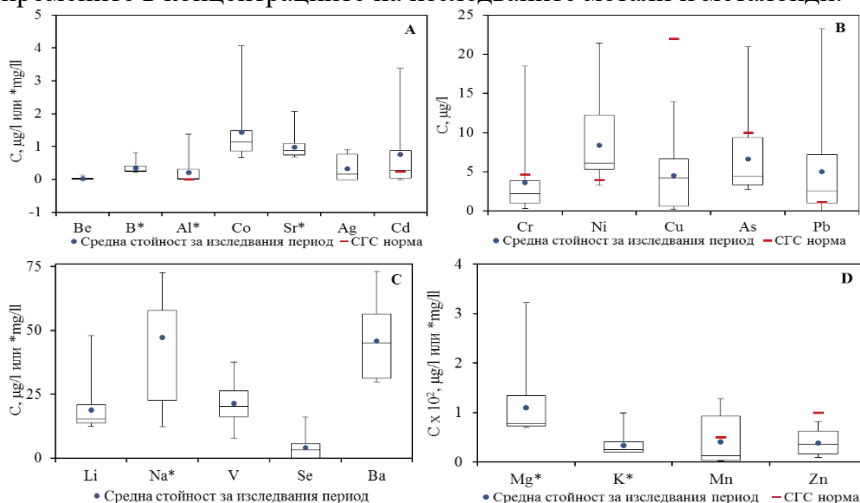
Елемент	ГО, mg/kg	Концентрации, mg/kg			
		Черно море – т. 6		Черно море – т. 7	
		21.06.2023	25.07.2023	21.06.2023	25.07.2023
B	0,006	48,17 $\pm$ 8,37	23,01 $\pm$ 4,00	15,18 $\pm$ 2,64	19,37 $\pm$ 3,37
Na	1,881	3112,7 $\pm$ 147,8	2527,7 $\pm$ 120,0	761,3 $\pm$ 36,1	1803,7 $\pm$ 85,6
Mg	0,089	11226,4 $\pm$ 572,0	6316,1 $\pm$ 321,8	1730,3 $\pm$ 88,2	4163,3 $\pm$ 212,1
Al	0,239	14122,3 $\pm$ 1271,0	9031,3 $\pm$ 812,8	2315,0 $\pm$ 208,4	6470,5 $\pm$ 582,3
P	2,475	296,9 $\pm$ 32,7	323,7 $\pm$ 35,6	563,7 $\pm$ 62,0	370,0 $\pm$ 40,7
K	8,900	3623,2 $\pm$ 326,1	3479,8 $\pm$ 313,2	694,7 $\pm$ 62,5	2528,1 $\pm$ 227,5
Cr	0,284	236,76 $\pm$ 9,33	76,08 $\pm$ 3,00	33,07 $\pm$ 1,30	44,51 $\pm$ 1,75
Mn	0,0042	476,30 $\pm$ 17,09	593,95 $\pm$ 21,31	453,16 $\pm$ 16,26	364,47 $\pm$ 13,07
Fe	0,905	39005 $\pm$ 3581	19169 $\pm$ 1760	17718 $\pm$ 1627	12936 $\pm$ 1188
Ni	0,037	280,48 $\pm$ 33,24	130,75 $\pm$ 15,50	120,38 $\pm$ 14,27	88,96 $\pm$ 10,54
Co	0,004	33,504 $\pm$ 1,009	21,038 $\pm$ 0,633	14,925 $\pm$ 0,449	15,889 $\pm$ 0,478
Zn	0,314	99,48 $\pm$ 4,56	87,13 $\pm$ 4,00	103,99 $\pm$ 4,77	56,27 $\pm$ 2,58
Cu	0,062	38,21 $\pm$ 4,58	35,41 $\pm$ 4,25	11,31 $\pm$ 1,36	19,34 $\pm$ 2,32
As	0,202	5,03 $\pm$ 0,19	7,98 $\pm$ 0,31	4,86 $\pm$ 0,19	4,55 $\pm$ 0,17
Se	0,122	< 0,122	< 0,122	< 0,122	< 0,122
Cd	0,007	0,445 $\pm$ 0,027	0,220 $\pm$ 0,013	0,126 $\pm$ 0,008	0,137 $\pm$ 0,008
Ba	0,0006	220,8 $\pm$ 12,8	112,1 $\pm$ 6,5	42,6 $\pm$ 2,5	105,9 $\pm$ 6,1
Hg	0,009	0,053 $\pm$ 0,002	0,124 $\pm$ 0,006	0,027 $\pm$ 0,001	< 0,009
Tl	0,0003	0,287 $\pm$ 0,030	0,291 $\pm$ 0,031	0,152 $\pm$ 0,016	0,196 $\pm$ 0,021
Pb	0,663	12,22 $\pm$ 1,15	17,28 $\pm$ 1,63	8,48 $\pm$ 0,80	11,34 $\pm$ 1,07

Получените данни са сравнени с резултати от анализ на проби от седименти, събрани във Варненския залив на Черно море [201]. Установено е, че всички изследвани тежки метали и металоиди, с изключение на Mn и Ni, се съдържат в значително по-ниски концентрации в сравнение със стойностите, отчетени в седиментите от Варненския залив. Други автори [202] докладват по-високи концентрации на Ni в Черно море, близки до отчетените. Резултатите от проведените изследвания не установяват замърсяване в избраните точки от наблюдаваната зона – пристанище Бургас.

Екосистема Бургаско езеро (Вая)

В периода юни 2021 – май 2022 г. са проведени ежемесечни пробонабирания в т. 8 на Бургаско езеро (Вая).

Резултатите са представени графично, като изчислените средногодишни стойности (СГС) на отделните аналити са сравнени с посочените в Наредба № Н-4 от 14.09.2012 г. за характеризиране на повърхностните води. Отчетените ежемесечни концентрации на изследваните метали и металоиди са съпоставени с максимално допустимата им концентрация от същата наредба. На фиг. 7 са представени систематизирани данни за промените в концентрациите на изследваните метали и металоиди.



Фиг. 7. Диаграма на промените в концентрациите на изследваните метали и металоиди, за периода от юни 2021 до май 2022 г., за мониторингов пункт Бургаско езеро (Вая) – т. 8 (А – в концентрационния интервал до $5.0 \mu\text{g/l}$ или $^*\text{mg/l}$; В – в концентрационния интервал до $25 \mu\text{g/l}$; С – в концентрационния интервал до $75 \mu\text{g/l}$ или $^*\text{mg/l}$; и D – в концентрационния интервал до $400 \mu\text{g/l}$ или $^*\text{mg/l}$).

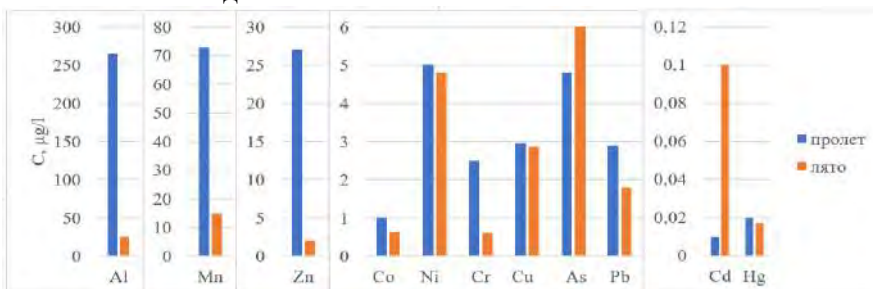
От представените данни може да се обобщи, че за изследвания период, над СГС са концентрациите на Al, Cd, Ni и Pb. От изследваните метали и металоиди, и посочените в наредбата, единствено концентрациите на мед и цинк са много под нормативно допустимите стойности. Еднократно е отчетена концентрация на Cr със стойност $18,510 \pm 3,079$ $\mu\text{g/l}$ през юни 2021 г. и такава за As със стойност $20,954 \pm 1,587$ $\mu\text{g/l}$ през август 2021 г., които са значително под МДК. Относно по-високите средни стойности на концентрациите на Al, Cd, Ni и Pb може да се конкретизира, че най-значим принос имат следните регистрирани стойности: Al – $1381,05 \pm 151,68$ $\mu\text{g/l}$ (през януари 2022), Cd – $3,377 \pm 0,167$ $\mu\text{g/l}$ (през август 2021), Ni – $21,44 \pm 0,84$ $\mu\text{g/l}$ (през ноември 2021) и Pb – $23,257 \pm 0,974$ $\mu\text{g/l}$ (през ноември 2021). Единствено концентрацията на Ni не превишава законоустановените стойности на МДК. Прави впечатление, че съдържанието на алуминия във водата периодично превишава МДК, като това се наблюдава през юни, септември и ноември 2021, януари, март и април 2022. Алуминиеви соли се използват при почистването на отпадъчни води чрез коагулация [204], при пречистването на вода за питейни цели и при рекултивация на езера [203]. Друг вероятен източник е инфилтрираните води от рекултивиращото се старо депо край Братово, които чрез река Чакарлийка се вливат в Бургаско езеро (Вая). По-високото съдържание на Pb в повърхностната вода може да се обясни с близостта на мониторинговия пункт до главен път с интензивно автомобилно движение. Завишени стойности на концентрацията на всички посочени по-горе метали са отчетени и през месец ноември 2021 г. Възможно е това да се дължи на по-интензивна антропогенна активност, специфични климатични и хидродинамични условия, благоприятстващи разтварянето на изследваните метали в повърхностната вода.

С цел потвърждение и по-прецизно характеризиране на дифузното замърсяване са разгледани два сезона – пролет 2022 (месеците април, май и юни 2022г.) и лято 2022 (месеците юли, август и септември 2022 г.). Резултатите са систематизирани за следните десет елемента: Al, As, Cu, Cr_{total}, Mn, Zn, Ni, Cd, Pb, Co и Hg.

На фиг. 8 са представени средните концентрации на изследваните токсични и тежки метали в повърхностна вода от Бургаско езеро Вая за пролетта и лятото на 2022 г.

Представените на фиг. 8 резултати показват, че през пролетта се наблюдава тенденция към по-висока концентрация на изследваните токсични метали и металоиди в повърхностните води на Бургаското езеро (Вая), особено на Al и Mn. Съгласно табл. 3, през този сезон са отчетени

концентрации на Al и Mn, надвишаващи максимално допустимите концентрации (МДК). Причините за наблюдаваните тенденции вероятно са увеличения приток на речни природни води, които през този сезон се характеризират с високо съдържание на Al и Mn. Не може да се изключи и възможността за използване на алуминиеви соли като коагуланти в процеса на водопречистване и заустване на пречистените води в езерото. За останалите изследвани елементи са установени количества, които са значително под определените МДК и не представляват потенциална опасност за изследваната екосистема.



Фиг. 8. Средните концентрации на изследваните токсични и тежки метали във водни проби от Бургаско езеро за пролет и лято на 2022 г.

С помощта на формули са изчислени индекса за оценка на токсичните метали (HEI) и степен на замърсяване (C_d). Също са представени факторите на замърсяване ($C_{f,i}$) с Al, Mn, Pb, Ni и Cd на повърхностните води от Бургаско езеро (Вая), систематизирани в табл. 4.

Таблица 4. Индекси за оценка на риска по отношение съдържанието на токсични елементи в повърхностните води на Бургаско езеро (Вая).

	Пролет 2022							Лято 2022						
	HEI	$C_{f,Al}$	$C_{f,Mn}$	$C_{f,Pb}$	$C_{f,Ni}$	$C_{f,Cd}$	C_d	HEI	$C_{f,Al}$	$C_{f,Mn}$	$C_{f,Pb}$	$C_{f,Ni}$	$C_{f,Cd}$	C_d
Max	22,1	17,1	1,6	-0,6	-0,8	-1,0	16,0	1,8	0,0	-0,8	-0,8	-0,8	-0,9	-3,6
Min	0,8	-0,6	-1,0	-1,0	-0,9	-1,0	-4,5	1,5	-0,5	-1,0	-0,9	-0,9	-1,0	-4,0
Ave	13,5	10,0	0,5	-0,8	-0,8	-1,0	7,8	1,6	-0,3	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-3,8

От табл. 4 се вижда, че през пролетта се наблюдава средно до високо ниво на замърсяване. За разлика от пролетта през летния сезон средните стойности на изчислените индекси отговарят на слабо замърсяване. В обобщение може да се заключи, че самопочистващата способност на езерото, както и притокът на повърхностни води, вероятно допринасят за

намаляване на стойностите на изчислените индекси и понижават риска от сериозно замърсяване на Бургаското езеро (Вая)..

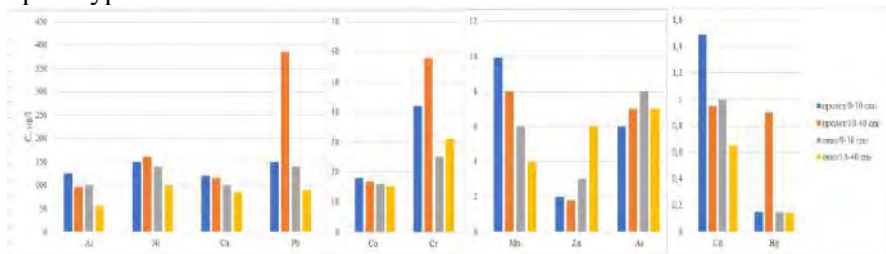
В заключение за Бургаско езеро (Вая) може да се обобщи, че основният наблюдаван замърсител е Al, като допълнителни замърсители могат да се отбележат Pb, Ni, Cd и Mn. За алуминия се очертава тенденция на сериозни периодични завишения над допустимите концентрации през юни, септември и ноември 2021 г., януари, март, април и септември 2022 г. Съдържание на Pb се отчита през септември и ноември 2021 г. За изследвания период Mn се явява по-скоро сезонен замърсител. Относно съдържанието на Pb в Бургаско езеро (Вая) може да се констатира, че превишения в количеството му се наблюдават през септември и ноември 2021, поради натоварения автомобилен трафик и може би подходящи климатични условия за разтварянето му в повърхностната вода. За кадмия, чието присъствие в околната среда е в резултат на антропогенната активност, са наблюдавани наднормени концентрации (до индустриални зони). Ni може да се категоризира като замърсител, но неговото количество в изследвания период не превишава МДК, като единствено препоръчителната му средногодишна стойност е над нормативно изискуемата.

През пролет 2022 г. (април, май и юни) и лято 2022 г. (юли, август и септември) е проведено пробонабиране на почви от брега на Бургаско езеро (Вая) – т. 8, за да се определи наличието на дифузно замърсяване. Пробовземна точка 8 отразява влиянието на транспорта върху екосистемата, поради близкото разположение на околновръстния път на град Бургас. Изследвани са следните десет елемента: Al, As, Cu, Cr, Mn, Zn, Ni, Cd, Pb, Co и Hg.

На фиг. 9 са представени средни стойности на концентрациите на токсични метали и металоиди в седимент от брега, събрани от дълбочини 0÷10 cm и 10÷40 cm в изследваната пробовземна точка през пролетния и летния сезон на 2022 г. Точка 8 отразява влиянието на транспортната дейност върху езерната екосистема, поради непосредствената близост до околновръстния път на град Бургас.

Ясна тенденция за намаляване съдържанието на Al, Mn, Co и Cd в дълбочина се наблюдава при прехода от пролет към лято (фиг. 9). От включените в Наредбата за допустими стойности на замърсители в почвите токсични метали и металоиди, всички усреднени концентрации на Ni и Pb през пролетта на дълбочина 10÷40 cm надвишават пределно допустимите концентрации (МДК). Вероятно в резултат на валежи оловото (Pb) е проникнало в по-дълбоките почвени слоеве, като транспортът изглежда единственият възможен антропогенен източник на този елемент в изследваната точка. Замърсяването на почвите около Бургаско езеро

(Вая) с Ni може да има природен или антропогенен характер. Природен източник на Ni в почвите е изветрянето на почвените минерали, предизвикващо химически промени в състава им и водещо до освобождаване на по-разтворими форми на Ni. Антропогенни замърсители на почвата с Ni са различни промишлени производства, пътни наноси и атмосферни отлагания на газове от моторните превозни средства и от рафинерията край Бургас.



Фиг. 9. Стойности на концентрациите на изследваните токсични метали и металоиди в седимент от брега от Бургаско езеро (Вая), в две дълбочини, през пролетта и лятото на 2022 г.

В табл. 5 са представени индексите на геоакумулация за Ni, Pb, Cd, Hg, имащи най-вредно въздействие върху околната следа, и индекса на потенциалния екологичен риск.

Въз основа на средните стойности на изчислените индекси се отчита умерено до изключително замърсяване на изследваните почви. Най-сериозно е замърсяването през пролетта, отговарящо на изключително замърсяване на почвите ($RI = 873,5$), до силно замърсяване на почвите, отчетено през лятото ($RI = 292,5$). Това се дължи на високото съдържание на Pb и Hg, чиито индекси на геоакумулация ($I_{geo} > 2$) класифицират почвите като силно замърсени.

Таблица 5. Индекси за оценка на риска по отношение съдържанието на токсични метали и металоиди в седимент от Бургаско езеро (Вая).

	пролет 2022					лято 2022				
	$I_{geo, Ni}$	$I_{geo, Cd}$	$I_{geo, Hg}$	$I_{geo, Pb}$	RI	$I_{geo, Ni}$	$I_{geo, Cd}$	$I_{geo, Hg}$	$I_{geo, Pb}$	RI
Max	1,3	1,3	4,3	3,3	1380,7	1,0	0,8	1,5	1,8	318,7
Min	1,2	0,7	1,6	1,9	366,3	0,7	0,3	1,3	1,3	266,2
Ave	1,2	1,0	2,9	2,6	873,5	0,8	0,6	1,4	1,5	292,5

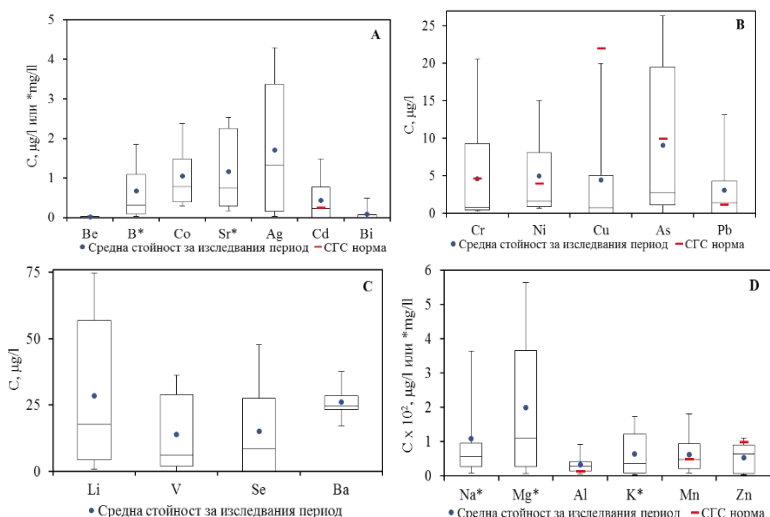
Екосистема устие на река Караагач

На фиг. 10 са представени систематизирани данни за наблюдаваните промени в концентрациите на изследваните токсични метали и металоиди в мониторингов пункт устие на река Караагач – точка 9 за периода юни 2021 – май 2022 г.

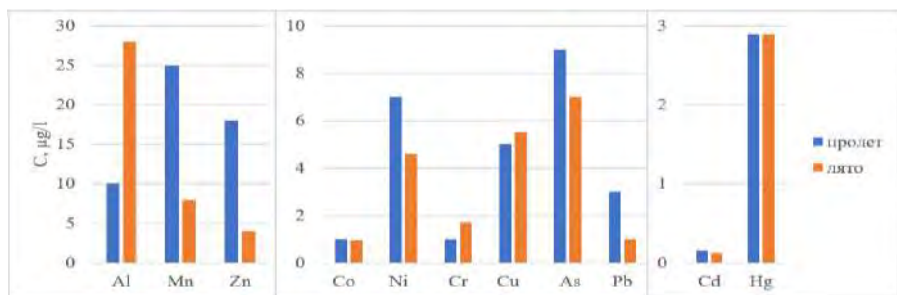
Анализът на представените данни за точка 9 устие на река Караагач (фиг. 10) показва, че през изследвания период средните концентрации на Cd, Ni, Pb, Al и Mn надвишават СГС нормите. Върху средните стойности на концентрациите за изследвания период, най-силно влияние оказват най-високите отчетени стойности, които са на Cd – $1,485 \pm 0,035 \mu\text{g/l}$ (през октомври 2021), Ni – $15,060 \pm 1,16 \mu\text{g/l}$ (септември 2021), Pb – $13,184 \pm 0,60 \mu\text{g/l}$ (август 2021), Al $92,724 \pm 3,862 \mu\text{g/l}$ (март 2022) и Mn $180,12 \pm 7,64 \mu\text{g/l}$ (декември 2021). От посочените токсични метали и металоиди, над МДК са само Al и Mn. Повтаря се наблюдаваната тенденция, концентрациите на Al през целия летен сезон на 2021, през януари, март, юли и септември 2022, да са също над МДК, но най-високата регистрирана стойност е през март 2022. При Mn са отчетени също стойности над МДК, най-вече през есента на 2021, но са установени наднормени стойности и през декември 2021, януари 2022 (зима) и април 2022 (пролет). За концентрациите на останалите изследвани елементи са отчетени следните стойности: Li – $26,56 \pm 2,10 \mu\text{g/l}$, Be – $0,0070 \pm 0,0006 \mu\text{g/l}$, B – $574,28 \pm 59,03 \mu\text{g/l}$, Na – $105,15 \pm 10,52 \text{ mg/l}$, Mg – $169,90 \pm 9,10 \text{ mg/l}$, K – $59,76 \pm 2,81 \text{ mg/l}$, V – $22,15 \pm 1,22 \mu\text{g/l}$, Se – $9,80 \pm 1,28 \mu\text{g/l}$, Sr – $1105,23 \pm 39,86 \mu\text{g/l}$, Ag – $0,74 \pm 0,06 \mu\text{g/l}$, Ba – $24,33 \pm 0,53 \mu\text{g/l}$, Bi – $0,048 \pm 0,004 \mu\text{g/l}$, Co – $1,10 \pm 0,04 \mu\text{g/l}$.

Изчислени са и средните концентрации на изследваните токсични метали и металоиди, в повърхностни води от устие на река Караагач, за пролетта и лятото на 2022 г., които са систематизирани на фиг. 11.

От представените данни може да се заключи, че липсва категорична сезонна тенденция за промяна в концентрациите на изследваните елементи. Отчетени са наднормени средни концентрации за т. 9 през лятото. Съдържанието на Mn е по-високо през пролетта. Zn е в по-голяма концентрация през лятото, а концентрацията на Co през пролетта и лятото е постоянна. Концентрацията на Ni е по-висока през пролетта, а на Cr през лятото, но е ниска в сравнение с нормите. За Cu са наблюдавани по-високи концентрации през лятото, но са под МДК. Концентрацията на As е по-висока през пролетния сезон, но не превишава максимално допустимата. Концентрациите на Pb, Cd и Hg се променят динамично и са значително под допустимите норми.



Фиг. 10. Box-whiskers диаграма на промените в концентрациите на изследваните токсични метали и металоиди, за периода от юни 2021 до април 2022, за устие на р. Караагач – точка 9 (A – в концентрационния интервал до 5,0 µg/l или *mg/l; B – до 27 µg/l; C – до 75 µg/l; и D – до 600 µg/l или *mg/l).



Фиг. 11. Средни концентрации на изследваните токсични метали и металоиди в повърхностни води от устие на р. Караагач, за пролетта и лятото на 2022 г.

Изчислени са индекс за оценка на токсични метали и металоиди (HEI) и степен на замърсяване (C_d), като в допълнение са представени факторите на замърсяване с Al, Mn, Pb, Ni и Cd на повърхностните води от устието на река Караагач (табл. 6).

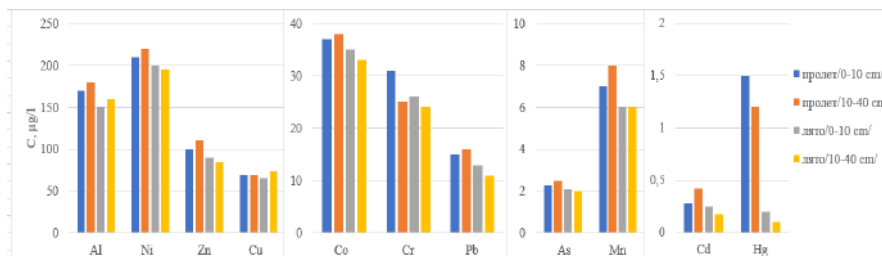
Таблица 6. Индекси за оценка на риска по отношение по отношение съдържанието на токсични елементи в повърхностните води на устието на река Караагач.

	Пролет 2022							Лято 2022						
	HEI	C_f, Al	C_f, Mn	C_f, Pb	C_f, Ni	C_f, Cd	C_d	HEI	C_f, Al	C_f, Mn	C_f, Pb	C_f, Ni	C_f, Cd	C_d
Max	1,6	0,0	-0,5	-1,0	-0,9	-1,0	-3,6	15,5	-0,9	13,9	-1,0	0,0	-1,0	10,1
Min	1,0	-1,0	-0,6	-1,0	-1,0	-1,0	-4,4	0,5	-0,9	-1,0	-1,0	0,0	-1,0	-4,7
Ave	1,2	-0,6	-0,6	-1,0	-0,9	-1,0	-4,1	5,7	-0,9	4,1	-1,0	0,0	-1,0	0,3

От представените данни е видно, че средните стойности на изчислените индекси отговарят на липса на замърсяване, тъй като са отрицателни.

Изчислени са средните стойности на концентрациите на токсични метали и металоиди в почвени проби, взети от дълбочини 0÷10 cm и 10÷40 cm, за пролетния и летния сезон. Резултатите са представени на фиг. 12.

Всички усреднени концентрации на Ni надвишават пределно допустимите концентрации (МДК). Вероятно минералният състав на почвите в тази екосистема е причина за регистрираното замърсяване, тъй като в близост липсват антропогенни източници на Ni. Сравнително високото съдържание на Al и Mn също може да се обясни с характерния химичен състав на почвите в района. Регистрирана е незначителна разлика в стойностите на концентрациите на Zn, Co, Ni, Cu и Pb в почвите.



Фиг. 12. Средни концентрации на изследваните токсични и тежки метали в почви в близост до мониторинговите пунктове на устието на река Караагач в две дълбочини през пролетта и лятото на 2022 г.

Замърсяването на почвите от екосистема „устие на р. Караагач“ с токсични метали и металоиди отново е оценено на база на представени в уравнения 4 и 5 индекси, съответно индексите на геоаккумуляция (I_{geo}) за

As, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, Zn, Hg, Co и индекса на потенциалния екологичен риск (*RI*), в който участват посочените елементи.

В табл. 7 са представени индексите на геоаккумуляция за Ni, Cd, Hg, Pb поради силния им токсичен ефект върху околната среда и индекса на потенциалния екологичен риск.

Таблица 7. Индекси за оценка на риска по отношение съдържанието на тежки метали в почви от устие на река Караагач.

	пролет 2022					лято 2022				
	<i>I_{geo, Ni}</i>	<i>I_{geo, Cd}</i>	<i>I_{geo, Hg}</i>	<i>I_{geo, Pb}</i>	<i>RI</i>	<i>I_{geo, Ni}</i>	<i>I_{geo, Cd}</i>	<i>I_{geo, Hg}</i>	<i>I_{geo, Pb}</i>	<i>RI</i>
Max	1,7	-0,4	5.1	-1,2	2075,2	1,6	1,3	2,1	-1,6	321,4
Min	1,7	-1,1	4,7	-1,3	1635,8	1,6	-1,8	0,2	-1,7	127,0
Ave	1,7	-0,4	4,9	-1,3	1855,5	1,6	-1,6	1,1	-1,6	224.2

Въз основа на средните стойности на пресметнатите индекси може да се обобщи, че в почвите около устието на река Караагач се наблюдава умерено замърсяване през лятото. През пролетта, почвите се класифицират като изключително замърсени. Индексите на геоаккумуляция за отделните елементи показват, че Cd и Pb не могат да се отнесат като замърсители на тези почви. Изчислени са обаче високи стойности на индексите на геоаккумуляция за Ni и Hg, като тези за Ni са от един и същ порядък във всички точки и в двата сезона. Вероятно геохимичния състав на почвата от този регион е по-богат на този елемент и фоновата му концентрация е по-висока от нормативно посочената. Може да се отчете слабо антропогенно влияние като резултат от атмосферните отлагания на газове от моторните превозни средства. Замърсяването на почвите с Hg може да е от природен или антропогенен характер. Една от основните причини за отчитане на Hg в почвите е естественото присъствие на минерала цинобър (HgS). Замърсяването с Hg произхожда от пестициди, торове, утайки от отпадъчни води, атмосферния отлагания и отпадъци, съдържащи луминесцентни лампи, батерии и термометри [205].

За устието на река Караагач може да се обобщи, че основните ѝ замърсители са Al и Mn, като допълнителни замърсители могат да се добавят Pb, Ni, Zn и Se. За Al се очертава тенденция на сериозни завишения над допустимите концентрации през пролетта 2022 и през летния сезон на 2021. Високо съдържание на Mn се отчита през зимата на 2021. Относно съдържанието на Pb, в устие на река Караагач, може да се конста-

тира, че превишения в количеството му се наблюдават през летните сезони на 2021 и 2022, поради натоварения автомобилен трафик и близостта им до главен път с интензивно движение през лятото. Ni може да се отнесе като замърсител, като неговото количество, в изследвания период, не превишава МДК, но средногодишната му стойност в тази точка е над нормативно изискуемата. За Se няма МДК, но може да се категоризира като замърсител поради завишени СГС. Предполага се, че това се дължи на навлизането на морска вода в речната екосистема през по-голяма част от годината.

IV.3. Замърсяване с микропласмаса във воден стълб и седимент.

Данните за наличието на МП в пробите, от всяка пробовземна точка, са представени с диаграми. Те са организирани по тримесечия – от I до IV. Първото тримесечие обхваща месеците от януари до март, второто – от април до юни, третото – от юли до септември, а четвъртото – от октомври до декември.

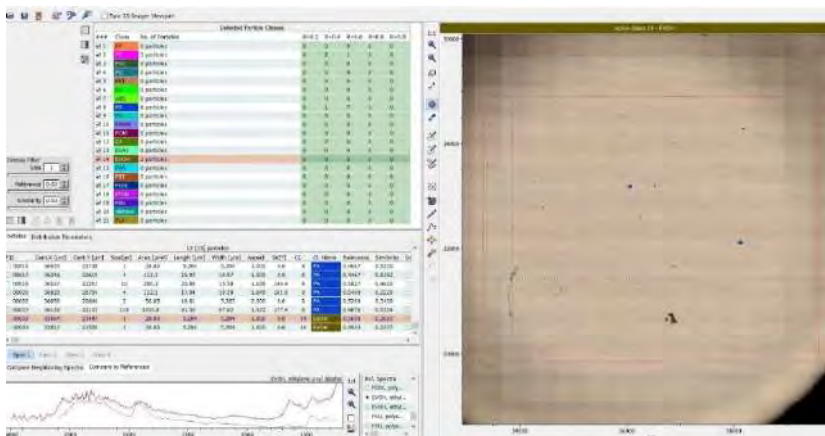
Резултатите от μ -FT-IR imaging microscope (LUMOS II, Bruker) са обработени със софтуер Purity Microplastics Finder, който предоставя статистическа информация за броя, размера и вида на полимера на всички частици, задържани върху филтъра. Детайлни изображения и информация за вид полимер, брой частици, размер и площ на идентифицираните МП, които ни предоставя софтуера, са представени на фиг. 13.

Количеството микропластмаси е отчетено като брой частици на кубичен дециметър (MPs.dm^{-3}) [206] и площ (μm^2). Идентификацията на вида полимер се счита за надеждна при процент на съвпадение, по-голям от 60%.

Информацията за наличието на МП са представени във фигури, които показват броя и вида на полимера, от който са съставени частиците, както и площта им (μm^2).

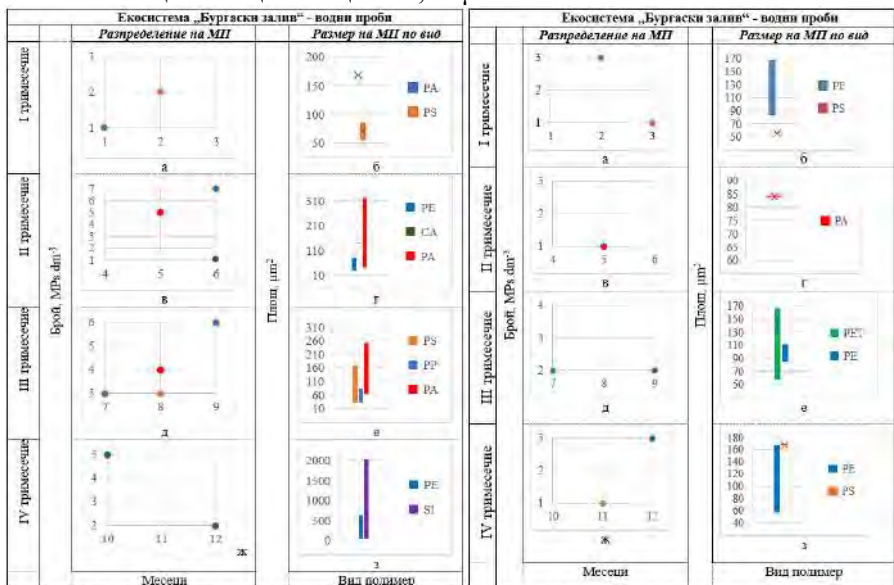
Използвани са следните обозначения: „а“ показва брой и вид на полимера през първото тримесечие, „б“ – площ на частиците през първото тримесечие, „в“ – брой и вид на полимера през второто тримесечие, „г“ – площ на частиците през второто тримесечие. Броят и видът на полимера през третото тримесечие е отбелязан с „д“, а площта на частиците през този период с „е“. За четвъртото тримесечие броят и видът на полимера са обозначени с „ж“, а площта на частиците – със „з“.

Стойностите и характеристиките на МП, регистрирани във водни проби в точка 1 през 2022 г. и 2023 г. на екосистема „Бургаски залив“ са представени на фиг. 14, по тримесечия.



Фиг. 13. Изображение на идентифицираните МП (Purency Microplastics Finder).

Анализът на данните показва, че през 2022, в точка 1 са регистрирани общо 39 частици с обща площ 6598,96 μm^2 , които се отнасят към следните видове полимери: PA – 10 частици с обща площ 1513,32 μm^2 ; PS – 5 частици с обща площ 392,34 μm^2 ; PE – 12 частици с площ 1935,71 μm^2 ; PP – 9 частици с площ 532,45 μm^2 ; CA – 1 частица с площ 140,12 μm^2 и SI – 2 частици с обща площ 2074,02 μm^2 .



Фиг. 14. Данни за микропластмасата във водни проби, в точка 1, за 2022 г.

Фиг. 15. Данни за МП във водни проби, в точка 1, за 2023 г.

От данните се вижда, че най-голям брой частици се открива през юни - с 8 частици, а по обща площ на частиците е декември с обща площ 2 074,02 μm^2 . Не се наблюдава замърсяване през март, април и ноември.

Третото тримесечие е с най-голям брой частици 16, а четвъртото тримесечие е с най-голяма обща площ на частиците 3 531,32 μm^2 . PE доминира по брой частици 12 (30,76% от общ брой частици), а SI е най-голямата регистрирана частица.

Наличието на МП във водни проби, в точка 1 за 2023 г., са представени на фиг. 15.

През 2023 г. в точка 1 са регистрирани 13 микропластмасови частици с обща площ 1 122,86 μm^2 от 4 вида полимери: PE – 8 частици с обща площ 784,66 μm^2 ; PS – 2 частици с обща площ 224,20 μm^2 ; PA – 1 частица с площ 84,07 μm^2 и PET – 2 частици с обща площ 196,05 μm^2 .

От данните се вижда, че най-голям брой частици са отчетени през февруари и декември - с по 3 частици. Месецът с най-голямо замърсяване, по обща площ на частиците, е декември с обща площ 336,30 μm^2 . Замърсяване не е установено през януари, април, юни, август, октомври.

През четвъртото тримесечие са отчетени 4 МП в анализираниите проби, с обща площ 504,45 μm^2 .

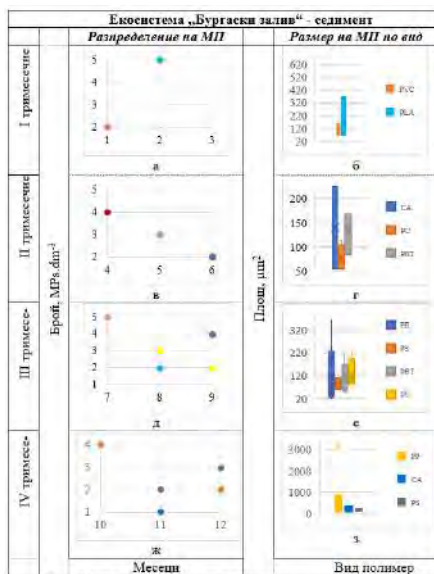
Данни за идентифицираните МП в седимент, в т. 1 през 2022 г., са представени на фиг. 16 по тримесечия.

През 2022, в точка 1 са отчетени общо 42 частици в седимент, с обща площ 8 967,91 μm^2 , принадлежащи на девет различни вида полимери: PVC - 2 МП с обща площ 252,22 μm^2 , PLA - 5 частици с обща площ 980,86 μm^2 , PU - 8 частици с обща площ 812,71 μm^2 , PET 3 частици с обща площ 392,34 μm^2 , SA 3 частици с обща площ 672,60 μm^2 , PE 5 частици с обща площ 560,48 μm^2 , PS 7 частици с обща площ 1 177,03 μm^2 , PBT 5 частици с обща площ 504,45 μm^2 и PP 6 частици с обща площ 3 615,22 μm^2 .

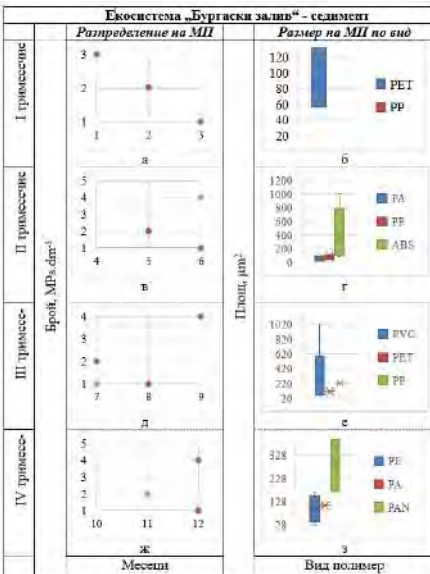
От данните се вижда, че най-голямо замърсяване по брой МП е през септември, когато са регистрирани 6 частици, т.е 14,29% от общия брой. Декември е с най-голяма обща площ на МП - 3867,44 μm^2 . През март не се наблюдава наличие на микропластмасови частици. Най-голям е дялът на PP с 6 частици и обща площ на частиците 3615,22 μm^2 .

МП в седимент, в точка 1 през 2023 г., са представени на фиг. 17.

През 2023 в точка 1 са отчетени общо 31 МП в седимент от брега с обща площ 5 464,82 μm^2 , принадлежащи на шест вида полимери: PET - 9 частици с обща площ 1 137,87 μm^2 ; PP - 6 частици с обща площ 756,67 μm^2 ; PA - 4 частици с обща площ 308,26 μm^2 ; ABS - 4 частици с обща площ 1 401,24 μm^2 ; PVC - 6 частици с обща площ 1,681,49 μm^2 ; PAN - 2 частици с обща площ 560,50 μm^2 .



Фиг. 16. Данни за наличните МП в седимент за 2022 г. в точка 1.



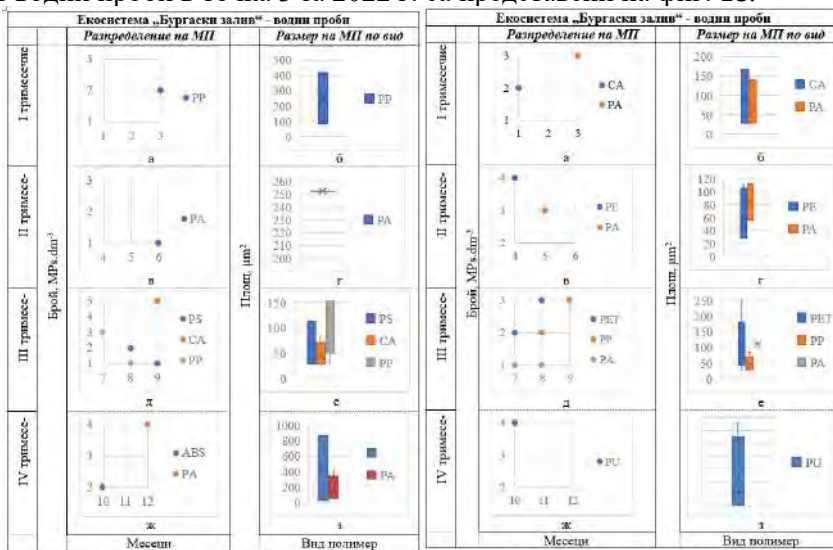
Фиг. 17. Данни за наличните МП в пясъчен седимент за 2023 г.

От данните се вижда, че най-голямото замърсяване по брой МП е през юни, септември и декември с по 5 регистрирани частици. Месец юни е с най-голямо замърсяване по обща площ на МП - $1485,31 \mu\text{m}^2$. Не се наблюдават частици през месеците април и октомври. Най-голям е дялът на PVC ($1,681,49 \mu\text{m}^2$), който представлява около 30% от общата площ на частиците, докато PET е с най-много регистрирани частици.

Сравнителен анализ на данните показва намаляване на замърсяването в седимента с 26% по броя на частиците ($42 \rightarrow 31$ МП) и с 39% по обща площ на микропластмасите ($8967,91 \mu\text{m}^2 \rightarrow 5464,82 \mu\text{m}^2$) през 2023 г. спрямо 2022 г.

През 2023 г. броят на откритите полимери намалява, като някои видове липсват (PLA, PU, PS, PBT и CA), но се появяват други (ABS и PAN). През 2023 г., през първото и четвъртото тримесечие, замърсяването е намаляло спрямо 2022 г. През второто и третото тримесечие на 2023 г. се наблюдава повишаване на общата площ на микропластмасите, което може да е свързано с локални източници на замърсяване и вероятната деструкция и изветряне на налични макрочастици в екосистемата. Най-голямо намаляване на замърсяването се наблюдава през четвъртото тримесечие на 2023 г., когато площта на микропластмасите е почти пет пъти по-малка от тази през същия период на 2022 г.

Стойностите и характеристиките на микропластмасите, регистрирани във водни проби в точка 3 за 2022 г. са представени на фиг. 18.



Фиг. 18. Наличие на МП във водни проби 2022 г.

Фиг. 19. Наличие на МП във водни проби 2023 г.

През 2022 г. във водни проби са идентифицирани са общо 21 частици от 5 вида полимери с обща площ 4252,12 μm^2 . Съотношението на частиците по видове полимери е следното: PP - 6 частици – 840,76 μm^2 ; PS - 3 частици - 224,22 μm^2 ; PA - 5 частици – 840,79 μm^2 ; CA - 5 частици – 224,18 μm^2 ; ABS - 2 частици – 896,79 μm^2 .

С най-голям брой частици е септември с 6 частици, докато октомври е с най-голямо замърсяване по обща площ 896,79 μm^2 . Януари, февруари, април, май, ноември са месеци без отчетени микропластмасови частици.

Анализът показва, че най-голямото замърсяване по брой частици (12 МП) е отчетено през третото тримесечие, докато най-голямата обща площ на микропластмасови частици (2 730,68 μm^2) е регистрирана през четвъртото тримесечие. Второто тримесечие е периодът с най-малко замърсяване.

Резултатите от изследването на водни проби в т. 3 през 2023 г. са отразени на фиг. 19.

През разглеждания период общия брой на частиците е 30 от 6 вида полимери с обща площ 3 605,91 μm^2 , които са CA - 3 частици – 169,17 μm^2 ; PA - 7 частици – 560,46 μm^2 ; PE - 4 частици – 252,21 μm^2 ; PET - 5 частици – 532,39 μm^2 ; PP - 5 частици – 196,26 μm^2 ; PU - 4 частици – 799,58. Общата площ на частиците е 3605,91 μm^2 .

Най-голям брой МП е отчетен през септември – 6 частици, докато най-голяма обща площ на частиците е измерена през октомври – 1799,58 μm^2 . През месеците февруари, юни, ноември и декември не са установени МП.

От данните се вижда, че най голямо замърсяване по брой частици е третото тримесечие, докато четвъртото тримесечие има най-голяма обща площ на микропластмасови частици. За изследвания период най-голямата измерена частица е PU с площ 1317,17 μm^2 - през октомври.

Сравнителният анализ показва, че през 2023 г. се наблюдава увеличение на броя на частиците с 43%, но общата площ на микропластмасите намалява с 15%, което сочи към наличие на повече, но по-дребни частици спрямо 2022 г.

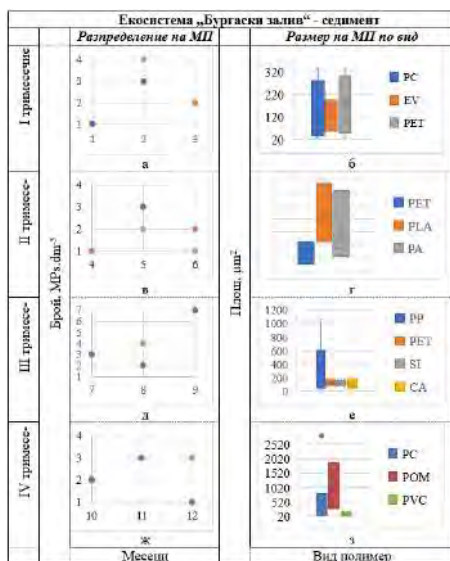
През 2023 г. се отчита увеличаване на разнообразието на полимерите – PE, PET и PU регистрирани са новопоявили в сравнение с 2022 г., но PS и ABS отсъстват.

През първото тримесечие на 2023 г. броят на частиците се увеличава, но общата площ намалява спрямо 2022 г., което предполага по-малки по размер частици. Второто тримесечие на 2023 г. показва най-голямо увеличение в замърсяването – близо два пъти по-голяма площ от 2022 г. Третото тримесечие има стабилни нива на замърсяване с минимална разлика в площта на частиците. През четвъртото тримесечие през 2023 г. се наблюдава спад в броя и площта на частиците, но все още остава най-замърсеният период.

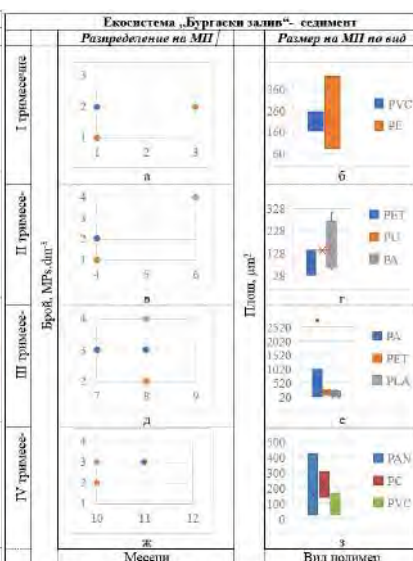
През 2023 г. броят на микропластмасовите частици във водните проби в т. 3 се увеличава с 43% спрямо 2022 г., но общата площ намалява с 15%, което подсказва тенденция към по-малки частици. Появяват се PE, PET и PU, докато PS и ABS вече не се откриват. Второто тримесечие на 2023 г. регистрира най-силно увеличение на замърсяването в сравнение с предходната година. Въпреки увеличаването на броя на частиците, намаляването на площта предполага промяна в характеристиките на замърсителите, което изисква допълнително проучване.

Резултатите от изследването на седимент от брега в точка 3 през 2022 г. са на фиг. 20.

През изследвания период се наблюдават общо 50 броя частици с обща площ 12 387,18 μm^2 , които принадлежат към 9 различни вида полимери разпределени по следния начин: PC - 10 частици с обща площ 3699,31 μm^2 ; PET - 9 частици – 1149,03 μm^2 ; PP - 7 частици – 2494,23; PLA 3 частици – 644,57 μm^2 ; PA 3 частици – 448,35 μm^2 ; POM 2 частици – 2157,93; SI - 4 частици – 476,43; EVONH 2 частици – 252,22; PVC 3 частици – 308,28 μm^2 .



Фиг. 20. Наличие на МП в седимент 2022 г.



Фиг. 21. Наличие на МП в седимент от брега 2023 г.

През август са отчетени най-много микропластмасови частици (10 частици), докато през ноември е измерена най-голямата обща площ на частиците ($2914,61 \mu\text{m}^2$).

Третото тримесечие е с най-много отчетени частици (20 МП), а четвъртото тримесечие с най-голямо замърсяване по площ на МП ($5633,04$).

Резултатите от изследването на седимент от брега в т. 3 през 2023 г. са на фиг. 21.

През разглеждания период е установено, че общия брой частици е 32, които принадлежат към 8 вида полимери с обща площ на частиците $7258,44 \mu\text{m}^2$. Разпределението е PE - 3 частица – $644,57 \mu\text{m}^2$; PVC - 5 частици – $588,52 \mu\text{m}^2$; PA - 10 частици – $3979,54 \mu\text{m}^2$; PET - 4 частици – $532,47 \mu\text{m}^2$; PU - 1 частица – $140,12 \mu\text{m}^2$; PC - 2 частици – $448,39 \mu\text{m}^2$; PAN - 3 частици – $476,42$; PLA – 4 частици – $448,41 \mu\text{m}^2$

Месеците с най-голямо замърсяване по брой частици е август с 9 частици, докато по площ е отчетено замърсяване през юли ($3194,86 \mu\text{m}^2$). През февруари, май, септември и декември няма регистрирани МП. Замърсяването е най-голямо през третото тримесечие както по брой частици (12 частици), така и по обща площ ($4175,74 \mu\text{m}^2$). PA е най-разпространеният полимер както по брой частици (10), така и по обща площ ($3979,54 \mu\text{m}^2$).

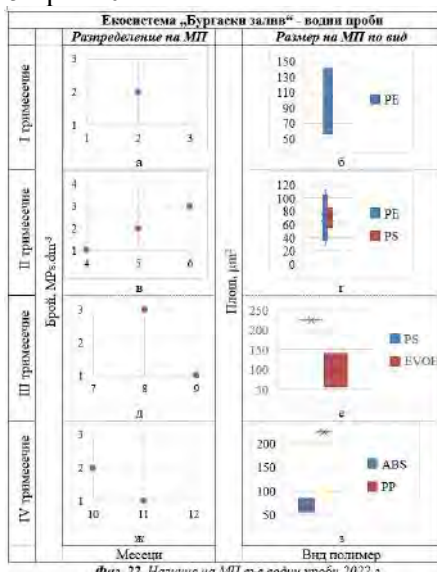
При сравнителният анализ на данните в т. 3 г. се наблюдава 36% намаление в броя на микропластмасовите частици и 41% спад в общата

площ през 2023 г., което е тенденция към намаляване на замърсяването в седимента. През 2023 г. има по-малко разнообразие на полимерите – POM, SI и EVOH не се откриват, появяват се и PE, PU и PAN.

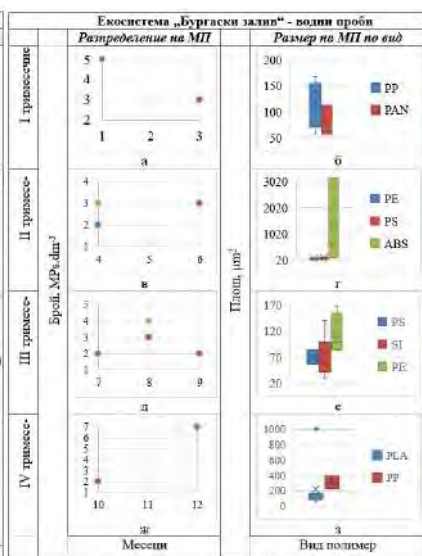
През първото и второто тримесечие на 2023 г. замърсяването намалява както по брой частици, така и по площ, което е положителна тенденция. През третото тримесечие площта на микропластмасите леко се увеличава спрямо 2022 г., въпреки че броят на частиците намалява. Четвъртото тримесечие бележи най-голям спад – с 79% намаление в площта спрямо 2022 г., което показва значително по-малко замърсяване в края на 2023 г.

През 2023 г. замърсяването с микропластмаса в седимента от брега в т. 3 намалява значително – с 36% по-малко частици и 41% по-малка обща площ спрямо 2022 г. Разнообразието на полимерите също намалява, но се появяват PE, PU и PAN. Единственото изключение е третото тримесечие на 2023 г., където площта на микропластмасите е малко по-висока в сравнение с 2022 г., въпреки че броят на частиците е по-малък. Най-значителното намаляване на замърсяването се наблюдава през четвъртото тримесечие, което е положителен индикатор за намаляващо натрупване на микропластмаси в седимента.

На фиг. 22 са представени данните от изследването на водни проби в т. 5 през 2022 г.



Фиг. 22. Наличие на МП във водни проби 2022 г.



Фиг. 23. Наличие на МП във водни проби 2023 г.

През разглеждания период се наблюдават 15 частици, които принадлежат към 5 вида полимери: PE - 6 частици с обща площ 420,36 μm^2 ; PS 3 частици – 364,32 μm^2 ; EVOH 3 частици – 252,22 μm^2 ; ABS 2 частици – 140,12 μm^2 ; PP 1 частица – 224,20 μm^2 ; Общата площ на всички частиците е 1401,22 μm^2 .

Най-големият брой частици – 3 МП – е регистриран в проби, взети през юни и август. През септември е отчетена най-голямата обща площ – 224,20 μm^2 . Не са установени частици през януари, февруари, юли и декември.

Второто тримесечие е с най-много отчетени частици (6 частици), а третото тримесечие е с най-голямо замърсяване по площ на МП (476,42 μm^2).

Най-често срещания полимер е PE с 6 броя частици и обща площ 420,36 μm^2 . Най-голямата отчетена частица е PS с площ 224,20 μm^2 , отчетена през септември.

На фиг. 23 са представени резултатите от анализа на водни проби, взети от т. 5 през 2023 г.

През разглеждания период се наблюдават 36 частици от 8 различни вида с обща площ 9155,21 μm^2 , разпределени: PP - 7 частици – 2 205,06 μm^2 ; PE - 6 частици – 560,48 μm^2 ; PS - 5 частици – 392,34 μm^2 ; SI - 5 частици 280,24 μm^2 ; PLA - 7 частици – 1625,43 μm^2 ; PAN - 3 частици – 224,24 μm^2 ; ABS - 3 частици – 3866,42 μm^2 .

Декември е месецът с най-голям брой частици - 7 (PLA), докато април е с най-голяма обща площ 3979,51 μm^2 . Няма отчетени частици през февруари, май, ноември.

Най-голямо замърсяване по брой частици е отчетено през третото тримесечие - 11 частици, а второто тримесечие е с най-голямо замърсяване по площ на МП (4231,73 μm^2).

Най-голям е броят частици на PP и PLA (7), а по обща площ ABS (3866,42 μm^2).

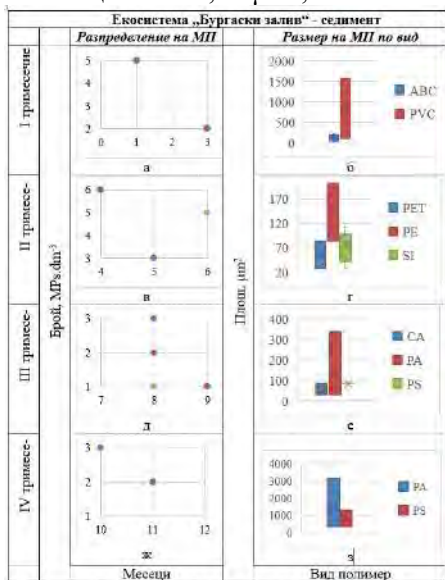
Анализът показва, че през 2023 г. във водните проби в т. 5 са регистрирани повече от два пъти повече частици (15→36), разпределени между повече видове полимери. Общата площ на микропластмасите също е значително по-голяма – 6,5 пъти повече в 2023 г. Резултатите показва повишено разнообразие на видове полимери (регистрирани са допълнително SI, PLA, PAN) през 2023 г. Въпреки че броят на PE частиците е еднакъв, площта им е по-голяма през 2023 г. Най-значителен ръст има при ABS (+2 660%) и PP (+884%), което показва повишено присъствие на тези замърсители. Второто тримесечие на 2023 г. има най-голям ръст в замърсяването – площта е над 10 пъти по-голяма спрямо разглеждания период.

През първото и четвъртото тримесечие също се наблюдава значително повишаване на замърсяването през 2023 г. спрямо 2022 г. Единствено през третото тримесечие ръстът е по-слаб, но все пак площта е с 82% по-голяма.

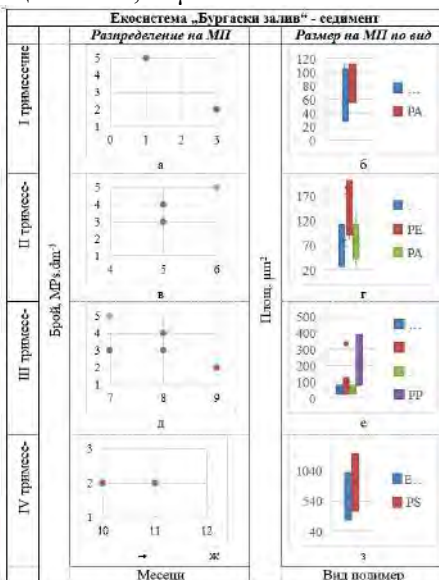
През 2023 г. се наблюдава силно замърсяването с микропластмаси във водни проби в т.5 с над два повече частиците, шест пъти по-голяма площ и разнообразие спрямо 2022 г. Най-значително нарастване на ABS и PP, което показва нови източници на замърсяване. През второто тримесечие на 2023 г. има най-голямо замърсяване, което може да е свързано със сезонни фактори или индустриална активност.

Резултатите от изследването на седимент в т. 5 през 2022 г. са отразени на фиг. 24.

През разглеждания период се наблюдават 32 частици с обща площ 11826,33 μm^2 от 9 вида полимери: ABS - 5 частици – 588,51 μm^2 ; PVC - 2 частици – 1681,50 μm^2 ; PE 6 частици – 2157,78 μm^2 ; PET - 3 частици – 168,14 μm^2 ; SI 5 частици – 364,31 μm^2 ; CA 3 частици – 140,11 μm^2 ; PA - 6 частици – 4960,42 μm^2 ; PS - 3 частици – 1765,56 μm^2 .



Фиг. 24. Наличие на МП в седимент 2022 г.



Фиг. 25. Наличие на МП в седимент 2023 г.

Април е месецът с най-голям брой частици е 6 (PE), докато октомври е с най-голяма обща площ 4540,05 μm^2 . Няма отчетени частици през февруари, юли, декември. Най-голямо замърсяване по брой частици е отчетено през второто тримесечие - 14 частици, а четвърто тримесечие е с най-голямо замърсяване по площ на МП (6221,54 μm^2)

Най-разпространения полимер по броя на частиците е PE (6), а по обща площ PA (4960,42 μm^2).

Резултатите от изследването на седимент в т. 5 през 2023 г. са отразени на фиг. 25.

През разглеждания период се наблюдават 45 частици с обща площ 6193,33 μm^2 от 10 вида полимери: ABS - 5 частици – 252,21 μm^2 ; PA - 7 частици – 560,40 μm^2 ; PVC - 3 частици – 224,19 μm^2 ; PE - 4 частици – 728,64 μm^2 ; PLA - 5 частици – 280,23 μm^2 ; PP - 3 частици – 588,52 μm^2 ; CA - 3 частици – 140 μm^2 ; PU - 6 частици – 504,43 μm^2 ; PS - 2 частици – 1681,49 μm^2 ; EVON 2 частици – 1233,10 μm^2 .

Най-големият брой частици е 8, които са регистрирани през юли. Октомври е с най-голяма обща площ 1681,49 μm^2 . Няма отчетени частици през февруари, април и декември.

Третото тримесечие е с най-много отчетени частици (22) а четвъртото тримесечие е с най-голямо замърсяване по площ на МП (2914,59 μm^2).

Най-разпространения полимер е PE с 6 броя частици и обща площ 420,36 μm^2 . Най-голямата отчетена частица е PS с площ 224,20 μm^2 , отчетена през септември.

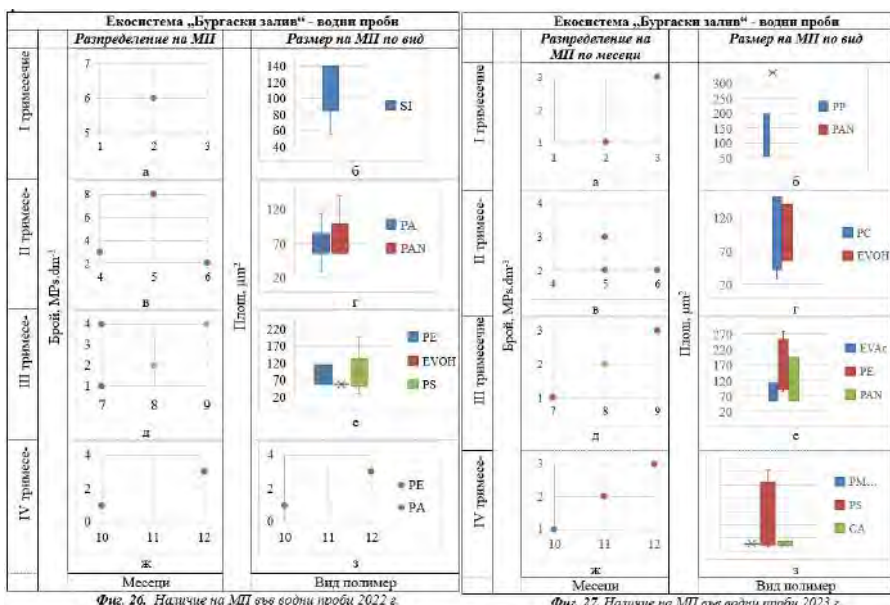
Най-разпространения полимер по броя на частиците е PA (7), а по обща площ PS (1681,49 μm^2).

Сравнителният анализ на данните за проби от седимент в т. 5 показва, че през 2023 г. е регистрирано 40,6% увеличение на броя частици (32→45) и два пъти по-малка обща площ на микропластмасите спрямо 2022 г. Забелязва се значителен спад в площта на PA (-88,7%), PVC (-86,7%) и PE (-66,2%), ABS запазва количеството си, но площта му е намаляла с 57%. Най-голямо намаление има в първото тримесечие (-81,5%), четвъртото (-53,2%) и второто тримесечие също бележат спад (-50%). През третото тримесечие площта се е увеличила с 135%, което показва локално увеличение на микропластмасите.

Резултатите от изследването в точка 7 през 2022 г. са представени на фиг. 26.

През разглеждания период се наблюдават 36 частици с обща площ 3278,91 μm^2 , които принадлежат към 6 различни вида полимери: SI - 6 частици – 560,54 μm^2 ; PA - 10 частици – 1 149,00 μm^2 ; PAN - 8 частици – 364,32 μm^2 ; PE - 7 частици – 644,57 μm^2 ; PS - 6 частици – 500,48 μm^2 ; EVON - 1 частица – 56,05 μm^2 .

Месеците с най-голям брой частици (8) са май и юли, а декември по обща площ (588,52 μm^2). Няма отчетени частици през януари, март, ноември.



Фиг. 26. Наличие на МП във водни проби 2022 г.

Фиг. 27. Наличие на МП във водни проби 2023 г.

Второто и третото тримесечие са с най-много отчетени частици (13), а третото по площ на МП ($1092,95 \mu\text{m}^2$).

Най-разпространения полимер по брой частици и обща площ е РА с $1149,00 \mu\text{m}^2$. През декември е регистрирана и най-голямата частица РА ($392,35 \mu\text{m}^2$).

Резултатите от изследването на водни проби в т. 7 през 2023 г. са представени на фиг. 27 по тримесечия.

През разглеждания период се наблюдават 25 частици с обща площ $5016,39 \mu\text{m}^2$, които принадлежат към 9 вида полимери: PAN - 3 частици – $588,52 \mu\text{m}^2$; PP - 3 частици – $336,29 \mu\text{m}^2$; PC - 4 частици – $840,75 \mu\text{m}^2$; EVON - 3 частици – $252,22 \mu\text{m}^2$; PE - 4 частици – $644,57 \mu\text{m}^2$; EVAc - 2 частици – $168,15 \mu\text{m}^2$; PMMA – 1 – $112,10 \mu\text{m}^2$; PS - 5 частици – $2073,84 \mu\text{m}^2$.

Месецът с най-голям брой частици (5) е май, а декември по обща площ ($1793,59 \mu\text{m}^2$). Няма отчетени частици през януари, април. Третото тримесечие е с най-много отчетени частици (8 частици), а четвъртото по площ на МП ($2185,94 \mu\text{m}^2$).

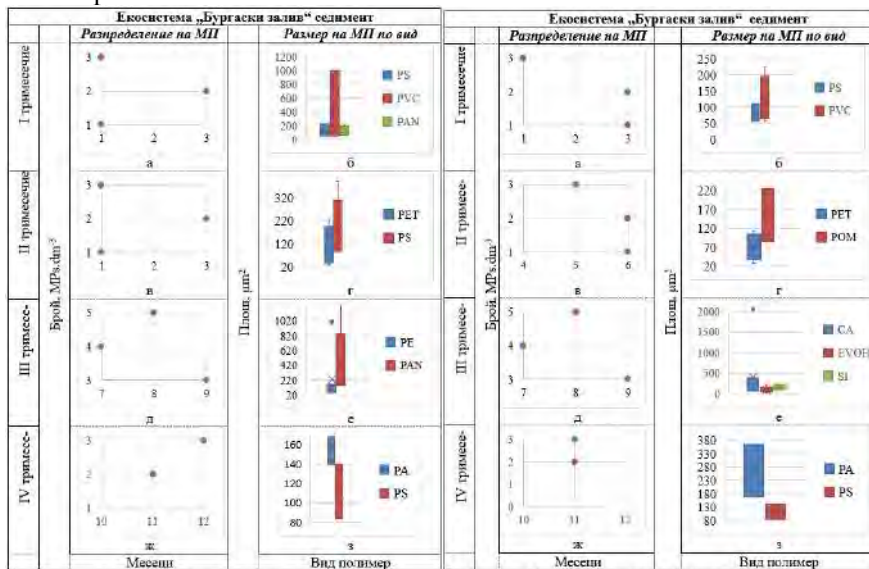
Най-разпространения полимер е PS с 5 броя частици и обща площ $2073,84 \mu\text{m}^2$. През декември е регистрирана и най-голямата частица PS ($1233,10 \mu\text{m}^2$).

Данните показват съществени разлики между 2022 и 2023 г. в броя и площта на микропластмасовите частици във водните проби от т. 7. През

2023 г. броят на частиците намалява с 30,6% (от 36 на 25), но общата площ на микропластмасите се увеличава със 53% (от 3278,91 на 5016,39 μm^2). През 2022 г. са идентифицирани 6 различни полимера, докато през 2023 г. техният брой нараства на 9. Полимерите PAN, PE, PS, EVOH остават непроменени. Наблюдава се намаление в броя на частиците, но увеличение в общата площ през първото и второто тримесечие на 2023 спрямо 2022 г. Леко намаление на площта (с 2,6%), но значително намаляване на броя на частиците има през трето тримесечие на 2023 г. Значително увеличение както в броя на частиците, така и в общата площ (с 212%) се наблюдава през четвъртото тримесечие на 2023 спрямо 2022 г.

През 2023 г. броят на микропластмасовите частици във водните проби в т. 7 намалява с 30,6%, но общата им площ се увеличава с 53%, което показва наличието на по-големи частици в сравнение с предходната година. Разнообразието на полимерите нараства – от 6 на 9 вида, което предполага промяна в източниците на замърсяване. Най-голямо увеличение в площта на микропластмасите се наблюдава през четвъртото тримесечие на 2023 г. (с 212%). Резултатите показват значителни промени в характеристиките на микропластмасовото замърсяване във водните проби, което изисква допълнителен анализ за определяне на източниците и потенциалното въздействие върху околната среда.

Резултатите от изследването на седимент в т. 7 през 2022 г. са отразени на фиг. 28.



Фиг. 28. Наличие на МП в дънен седимент 2022 г.

Фиг. 29. Наличие на МП в дънен седимент 2023 г.

През разглеждания период се наблюдават общо 35 частици с обща площ 7 846,93 μm^2 , които принадлежат към 6 различни вида полимери: PS - 10 частици – 1 513,33 μm^2 ; PVC - 3 частици – 1 233,10 μm^2 ; PAN - 9 частици – 2 606,30 μm^2 ; PET - 4 частици – 420,37 μm^2 ; PE - 7 частици – 1 625,44 μm^2 ; PA - 3 частици – 448,39 μm^2 .

Месецът с най-голямо замърсяване по брой частици (5 МП) и обща площ (2 129,88 μm^2) е август. Няма отчетени частици през октомври.

Третото тримесечие е с най-много отчетени частици (12 частици), а също и площ на МП (3755,32 μm^2).

Най-разпространеният полимер е PS с 5 отчетени частици и обща площ от 2073,84 μm^2 . Най-голямата частица PS (1233,10 μm^2) е открита в проба, събрана през декември.

Резултатите от изследването на седимент в т. 7 през 2023 г. са представени на фиг. 29.

През разглеждания период се наблюдават 31 частици с обща площ 5717,07 μm^2 , които принадлежат към 9 вида полимери: PVC 4 частици – 448,40 μm^2 ; PS 2 частици – 168,15 μm^2 ; PET 4 частици – 280,24 μm^2 ; POM 2 частици – 308,27 μm^2 ; CA 7 частици – 2 830,53 μm^2 ; SI 2 частици – 336,30 μm^2 ; EVON 5 частици – 476,42 μm^2 ; PU 3 частици – 644,57 μm^2 ; ABS - 2 частици – 224,19 μm^2 .

Месеци с най-голямо замърсяване по брой частици (5) са август и ноември, а по обща площ - септември (2157,93 μm^2). Няма отчетени частици през февруари, април, октомври, декември.

Третото тримесечие е с най-много отчетени частици (14 частици), а също и площ на МП (3 643,25 μm^2).

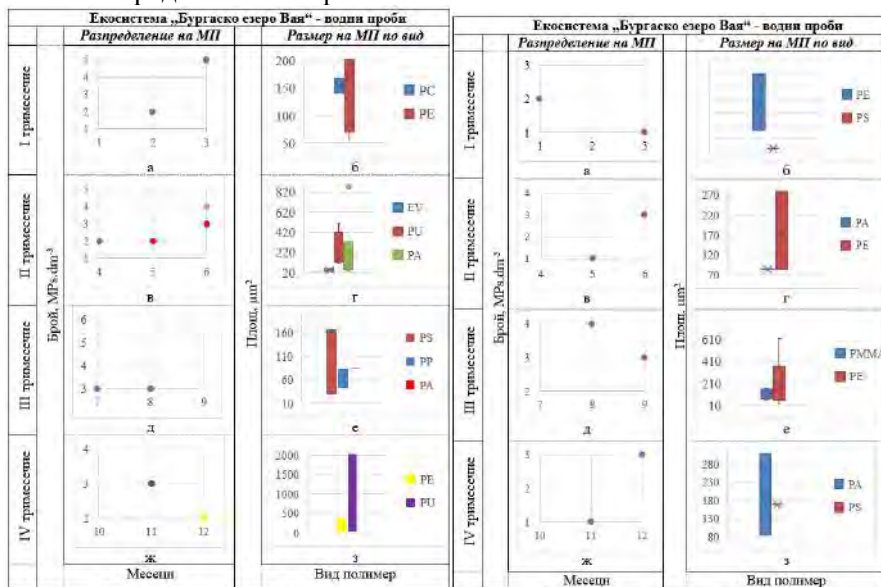
Полимерът CA е най-разпространен с 7 установени частици и обща площ от 2830,53 μm^2 . През септември е отчетена и най-голямата частица CA с площ 2045,83 μm^2 .

През 2023 г. в т. 7 се наблюдава намаляване на общото количество микропластмаси в седимента спрямо 2022 г., като броят на частиците намалява с 4, а общата им площ – с 27,1%. Въпреки това, разнообразието на полимерите се увеличава, като през 2023 г. са идентифицирани 9 вида, в сравнение с 6 вида през 2022 г.

Анализът по тримесечия показва значително намаление на микропластмасите през първите две тримесечия, докато третото тримесечие остава с най-високи нива на замърсяване, но с тенденция към стабилизиране. През четвъртото тримесечие броят на частиците остава същият, но общата им площ нараства с 29,2%.

Основните изводи очертават тенденцията към намаляване на общото замърсяване, необходимостта от анализ на новите полимерни замърсители и допълнително проучване на източниците им.

Резултатите от изследването на водни проби в пробовземна т. 8 през 2022 г. са представени на фиг. 30.



Фиг. 30. Наличие на МП във водни проби 2022 г.

През разглеждания период се наблюдават 32 частици с обща площ 6 501,81 μm², които принадлежат към 7 вида полимери: PC - 7 частици – 1 177,03 μm²; EVON - 2 частици – 84,07 μm²; PA - 6 частици – 1 261,10 μm²; PU - 7 частици – 1 345,24 μm²; PP - 5 частици – 308,27 μm²; PAN - 3 частици – 252,22; PE - 2 частици – 2 073,85 μm².

Месец с най-голямо замърсяване по брой частици (7 МП) е юни, а по обща площ - декември (2 073,85 μm²). Няма отчетени частици през януари и октомври.

Второто тримесечие е с най-много отчетени частици (11 частици), а по площ на МП четвъртото (2 522,30 μm²). Най-разпространени полимери по брой частици (7) са PC и PU, а по площ PE (2 073,85 μm²), който е и най-голямата регистрирана частица отчетена през декември.

Резултатите от изследването на водни проби в т. 8 през 2023 г. са представени на фиг. 31 по тримесечия.

През разглеждания период се наблюдават частици 18 с обща площ 2 830,56 μm², които принадлежат към 5 различни вида полимери: SI - 2 частици – 252,22 μm²; PS - 2 частици – 224,20 μm²; PA - 4 частици –

644,56 μm^2 ; РЕ - 6 частици – 1 261,11 μm^2 ; РММА (Полиметилметакрилат) - 4 частици – 448,47 μm^2 .

Август е месецът с отчетени най-много частици (4 МП), а септември с най-голяма площ 728,64 μm^2 . Не са отчетени частици през февруари, април, юли, октомври.

Най-голямо замърсяване по брой частици и обща площ е регистрирано през третото тримесечие 7 частици – 1177,11 μm^2 . РЕ е доминиращият полимер по брой частици (6 частици) с площ 1261,11 μm^2 и допринася с най-голямата частица (616,55 μm^2).

През 2023 г. се наблюдава намаление на общото количество микропластмаси в сравнение с 2022 г., като броят на частиците намалява от 32 на 18, а общата им площ – от 6501,81 μm^2 на 2830,56 μm^2 . Разнообразието на полимерите също намалява, като през 2023 г. са идентифицирани 5 вида, спрямо 7 вида през 2022 г.

Анализът по тримесечия показва, че първото тримесечие има сходен брой частици през двете години, но с намалена обща площ през 2023 г. Второто тримесечие остава с най-много отчетени частици през 2022 г., докато през 2023 г. се регистрира значително намаление. Третото тримесечие запазва високи нива на замърсяване, но с различно разпределение на полимерите. Четвъртото тримесечие през 2023 г. отчита сходен брой частици с предходната година, но с по-малка площ.

Наблюдава се тенденция към намаляване на замърсяването, както и промяна в разпространението на различните видове полимери. РЕ остава доминиращ по площ и през двете години.

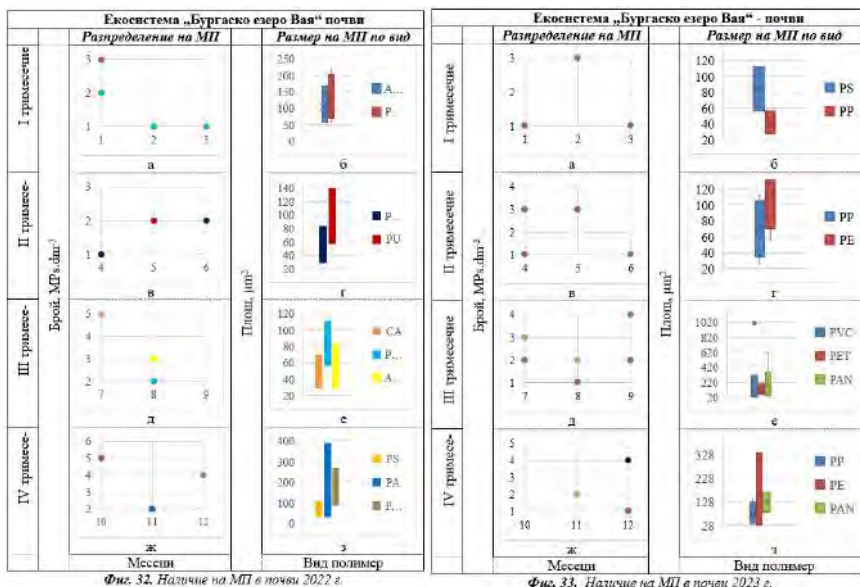
Резултатите от изследването на почви в т. 8 през 2022 г. са отразени на фиг. 32.

През разглеждания период се наблюдават 33 частици с обща площ 3 194,79 μm^2 и 8 вида полимери: ABS - 6 частици – 448,41 μm^2 ; PVC - 7 частици – 700,64 μm^2 ; PU - 2 частици – 196,17 μm^2 ; СА - 5 частици – 252,21 μm^2 ; PET - 2 частици – 168,15 μm^2 ; PS - 5 частици – 336,28 μm^2 ; РА - 2 частици – 420,37 μm^2 ; PAN - 4 частици – 644,56 μm^2 .

Месеците януари, юли, август и октомври са с по 5 МП, а месец декември е с най-голямо замърсяване по площ 644,56 μm^2 . Липсва замърсяване през септември, когато не са отчетени частици.

Най-голямо замърсяване по брой частици и обща площ е през четвъртото тримесечие с 11 частици и 1401,21 μm^2 . Второто тримесечие е с най-малко брой частици 5 МП.

PVC е доминиращият полимер по брой частици (7) и площ от 700,64 μm^2 . РА има най-голямата частица по площ (392,35 μm^2), регистрирана през ноември.



Резултатите от изследването на почви в т. 8 през 2023 г. са отразени на фиг. 33.

През разглеждания период се наблюдават 36 частици с обща площ 4 652,14 μm^2 и 7 вида полимери: PP - 10 частици – 672,57 μm^2 ; PE - 7 частици – 924,85 μm^2 ; PS - 3 частици – 252,22 μm^2 ; PVC - 6 частици – 252,21 μm^2 ; PA - 5 частици – 896,79 μm^2 ; PET 3 частици; PAN 2 частици.

Разпределение микропластмасите по тримесечия и месеци

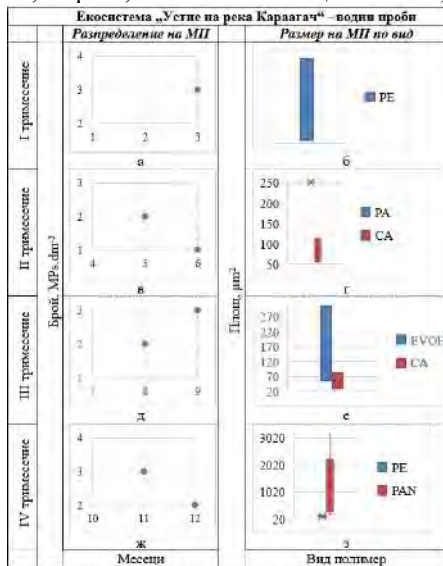
Септември е месецът с отчетени най-много частици (6 МП) и с най-голяма площ 1 429,30 μm^2 . Не са отчетени частици през октомври.

Най-голямо замърсяване по брой частици и обща площ е регистрирано през третото тримесечие 14 частици – 2 550,28 μm^2 . PP е доминиращият полимер по брой частици (10 частици), а по площ PET - 1 345,23 μm^2 и допринася с най-голямата частица (1 008.93 μm^2).

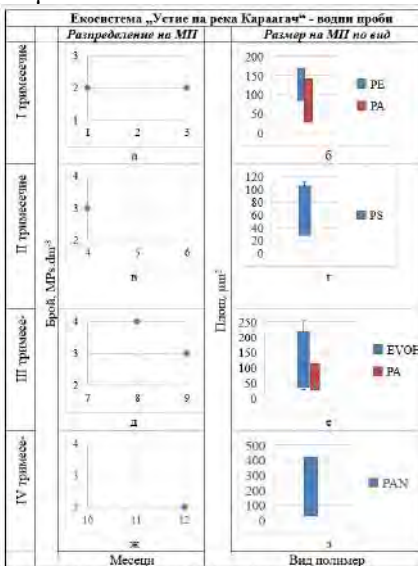
През 2022 г. е отчетено увеличение с 9 % в броя на частиците (33→36) и 46 % в общата площ на замърсяването (3194,79 μm^2 → 4652,14 μm^2). През 2023 г. се отчита увеличение на общото замърсяване с микропластмаса, особено през третото тримесечие с над 4 пъти по-голяма обща площ в сравнение с 2022 г. Наблюдава се промяна във видовете полимери – PP и PE заместват ABS и CA. Най-засегнатите периоди са юли-септември през 2023 г. и октомври-декември през 2022 г. Това показва тенденция на нарастващо замърсяване, което може да бъде резултат от различни източници на пластмасови отпадъци и екологични фактори.

Резултатите от изследването на водни проби в пробовземна т. 9 за през 2022 г. са представени на фиг. 34 по тримесечия.

През разглеждания период се наблюдават 16 частици с обща площ 4 147,75 μm^2 и 5 вида полимери: PC - 5 частици - 1 149,01 μm^2 ; CA - 5 частици - 308,32 μm^2 ; PU - 1 частица - 252,22 μm^2 ; EVON - 2 частици - 364,32 μm^2 ; ABS - 3 частици - 2 073,88 μm^2 .



Фиг. 34. Наличие на МП във водни проби 2022 г.



Фиг. 35. Наличие на МП във водни проби 2023 г.

Месеците март, септември, ноември са с по 3 МП, а месец ноември е с най-голямо замърсяване по площ 2 073,88 μm^2 . Липсва замърсяване през януари, февруари, април, юли, октомври, когато не са отчетени частици.

Най-голямо замърсяване по брой частици е през трето и четвърто тримесечие с по 5 частици и четвърто тримесечие по обща площ и 2 550,30 μm^2 . Най-разпространени полимери са PC и CA по 5 частици всеки. Най-голямата регистрирана частица е през ноември ABS с площ 2 045,83 μm^2 .

Резултатите от изследването на водни проби в т. 9 през 2023 г. са представени на фиг. 35 по тримесечия.

През разглеждания период се наблюдават 17 частици с обща площ 1 765,58 μm^2 от 5 вида полимери: PA - 5 частици - 392,39 μm^2 ; PE - 2 частици - 252,22 μm^2 ; PS - 3 частици - 224,19 μm^2 ; EVON - 4 частици - 448,39 μm^2 ; PAN - 3 частици - 448,39 μm^2 .

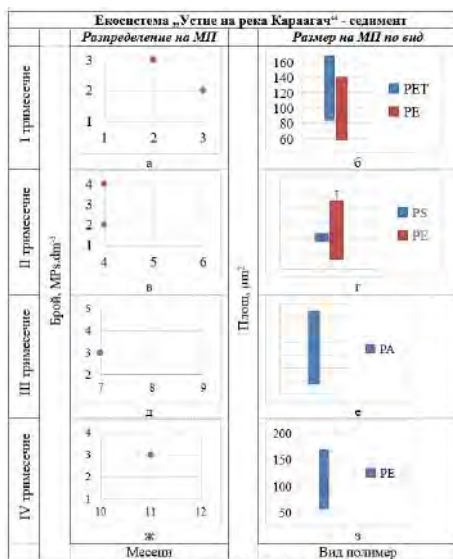
Август е месецът с отчетени най-много частици (4) и с най-голяма площ 448,39 μm^2 . Не са отчетени частици през февруари, май, юни, юли, октомври, ноември.

Най-голямо замърсяване по брой частици и обща площ е регистрирано през третото тримесечие 7 частици - 672,58 μm^2 . РА е доминиращият полимер по брой частици (5), по площ EVONH - 448,39 μm^2 . Най-голямата частица PAN (420,37 μm^2) е регистрирана през декември.

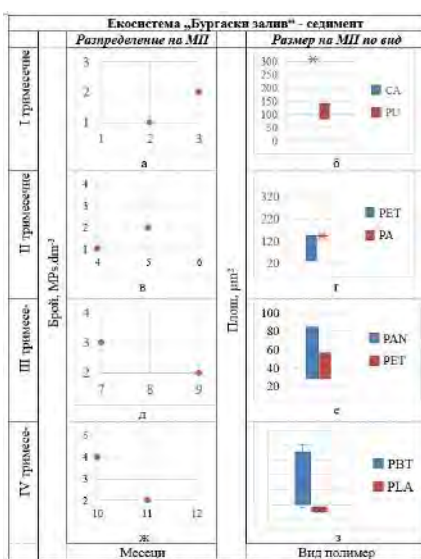
Във водните проби през 2023 г. се наблюдава тенденция на нарастващо замърсяване. Регистрирано е увеличение на броя на частиците (6,25%) и значително намаляване на общата площ на замърсяването (-57,43%). Също се отчита увеличение на общото замърсяване с микропластмаса, особено през третото тримесечие (+40% брой частици, +33,33% площ). Има промяна и във видовете полимери. Най-засегнатите периоди са юли-септември през 2023 г., когато е отчетено 40% увеличение по брой частици.

Резултатите от изследването на седимент в т. 9 през 2022 г. са отразени на фиг. 36.

През разглеждания период се наблюдават 16 частици, с обща площ 1 877,53 μm^2 от 4 вида полимери: PC - 3 частици – 280,24 μm^2 ; PE - 8 частици – 1 120,88 μm^2 ; PS - 2 частици – 308,27 μm^2 ; PA - 3 частици – 168,14 μm^2 .



Фиг. 36. Натицие на МП в седимент 2022 г.



Фиг. 37. Натицие на МП в седимент 2023 г.

Април е месецът с отчетени най-много частици (6) и с най-голяма площ 952,73 μm^2 . Не са отчетени частици през януари, май, юни, август, септември, октомври, декември.

Най-голямо замърсяване по брой частици и обща площ е регистрирано през второто тримесечие 6 частици – 952,73 μm^2 . PE е доминиращият полимер по брой частици (8 MP) и по площ 1 120,88 μm^2 . През април е регистрирана най-голямата частица PE (308,17 μm^2).

Резултатите от изследването на седимент в т. 9 през 2023 г. са отразени на фиг. 37.

През разглеждания период се наблюдават 17 частици с обща площ 2 269,96 μm^2 от 7 вида полимери: СА - 1 частица – 308,27 μm^2 ; PU - 2 частици – 224,19 μm^2 ; PA - 1 частица – 140,12 μm^2 ; PET - 4 частици – 252,21 μm^2 ; PAN - 3 частици – 140,11 μm^2 ; PBT - 4 частици – 1 064,94 μm^2 ; PLA - 2 частици – 140,12 μm^2 .

Октомври е с отчетени най-много частици (4) и с най-голяма площ 1064,94 μm^2 . Не са отчетени частици през януари, юни, август, декември.

Най-голямо замърсяване по брой частици и обща площ е регистрирано през четвърто тримесечие 6 частици – 1205,06 μm^2 . PE и PBT са полимери с най-много частици (4 MP), по PBT (1 064.94 μm^2). През октомври е регистрирана най-голямата частица PBT (504,45 μm^2).

В табл. 8 и табл. 9 е представено сравнение на броя и площта на микропластмасовите частици, регистрирани в 9-те пробовземни точки през 2022 г. и 2023 г. Данните дават ясна представа за тенденциите в замърсяването и промените в броя и размера на микропластмасите.

Анализът показва, че най-голямо увеличение на замърсяването във водни проби през разглеждания период има в т. 5 - по площ (+553%) и по брой частици (140%). Най-драстичен спад от (-67%) по-малко частици и (-83%) по-малка площ са регистрирани в т. 1. Точка 3 е единствената с увеличение на броя частици (+42,9%), но намаляване на площта (-15,2%). В т. 7 е регистрирано намаляване на броя частици (-30,6%), но увеличение на площта с 53%. Умерено увеличение на площта, но с намаляване на броя частици имаме в т. 6 и т. 8.

Наблюдава се намаляване на броя на микропластмасовите частици в 7 от 9-те точки. Намаляване има и на общата площ на микропластмасите във всички точки, освен в точка 4 (+11,4%). Най-голям е спада на броя частици в т. 3 (-36%). Най-голям е спада в площта на микропластмасите в т. 5 (-47,6%). Точка 4 показва увеличение на площта (+11,4%), което изисква мониторинг. Точка 5 е единствената с увеличение на броя на частиците (+40,6%).

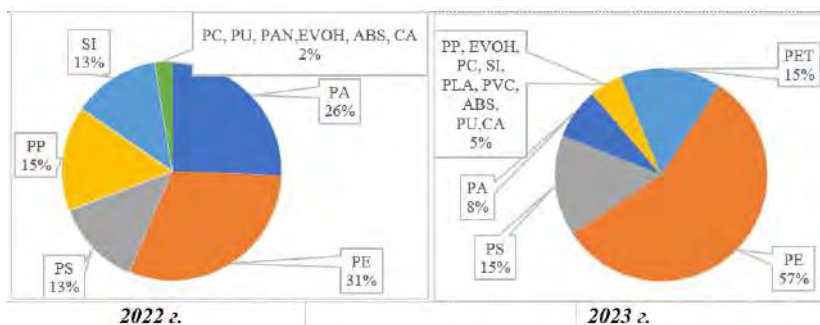
Таблица 8. Замърсяване на водни проби с МП.

Точка	Брой час-тици 2022 г.	Брой час-тици 2023 г.	Разлика в броя (%)	Обща площ, 2022 (µm²)	Обща площ, 2023 (µm²)	Разлика в площта (%)
1	39	13	-66,7%	6598,96	1122,86	-83,0%
2	30	25	-16,7%	5128,51	5604,97	+9,3%
3	21	30	+42,9%	4252,12	3605,91	-15,2%
4	31	21	-32,3%	4708,02	4175,48	-11,3%
5	15	36	+140,0%	1401,22	9155,21	+553,4%
6	29	25	-13,8%	3503,99	4203,75	+20,0%
7	36	25	-30,6%	3278,91	5016,39	+53,0%
8	32	28	-12,5%	6501,81	6824,55	+5,0%
9	27	22	-18,5%	3054,88	2899,77	-5,1%

Таблица 9. Обобщени данни на замърсяването с МП в седимент през 2022 г. и 2023 г.

Точка	Брой час-тици 2022 г.	Брой час-тици 2023 г.	Раз-лика в броя (%)	Обща площ, 2022 (µm²)	Обща площ, 2023 (µm²)	Разлика в площта (%)
1	42	31	-26,2%	8 967,91	5 464,82	-39,1%
2	45	36	-20,0%	14 733,24	8 525,54	-42,1%
3	50	32	-36,0%	12 387,18	7 258,44	-41,4%
4	47	48	+2,1%	5 168,70	5 757,00	+11,4%
5	32	45	+40,6%	11 826,33	6 193,33	-47,6%
6	26	24	-7,7%	8 155,25	5 744,07	-29,6%
7	35	28	-20,0%	7 846,93	5 289,12	-32,6%
8	29	22	-24,1%	6 512,78	4 385,47	-32,7%
9	41	34	-17,1%	9 174,32	6 987,21	-23,8%

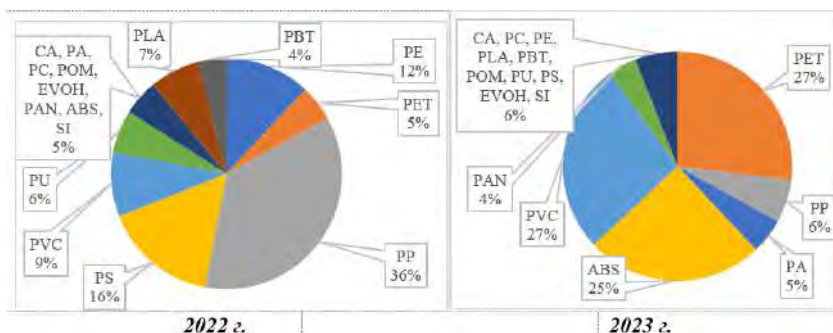
На фиг. 72 е представено процентното разпределение на видовете полимери според площта на микропластмасите (в µm²/dm³) в общото количество анализирани водни проби за 2022 и 2023 г.



Фиг. 38. Разпределение на МП по видове полимери във водни проби

Полимерите PS (13%), PP (15%) и SI (13%) също са добре представени, докато останалите полимери (като PC, PU, PAN, EVOH, ABS, CA) са с минимален дял. През 2023 г. се наблюдава значителна промяна в състава – РЕ доминира с 56,4%, а делът на РА намалява до 7,7%. Освен това, се появяват нови полимери, като РЕТ, което показва промяна в характера и източниците на микропластмасовото замърсяване във воден стълб.

Процентното разпределение на видовете полимери според площта на МП ($\mu\text{m}^2/\text{kg}$) в общото количество анализирани проби седимент е отразено на фиг. 39.



Фиг. 39. Разпределение на МП по видове полимери в седимент.

През 2022 г. най-разпространените полимери в седимента са РР (36%), PS (16%) и РЕ (12%). През 2023 г. се наблюдава промяна – PVC, РЕТ и ABS стават доминиращи, докато РР намалява значително (от 36% на 6%). Това предполага промяна в източниците на замърсяване.

ИЗВОДИ

1. Установено е, че замърсяването с микропластмаси, токсични метали и металоиди е широко разпространено в морските и крайбрежните екосистеми на Българското Черноморие.

2. За първи път е проведено изследване на замърсяването с микропластмаси и количественото и качествено им идентифициране в Черно море (акваторията на Бургаски залив), Бургаско езеро (Вая) и устието на река Китенска (Караагач), като индикатори на замърсяването на морски и крайбрежни екосистеми по Южното Черноморие.

➤ Резултатите от изследванията за замърсяване с микропластмаси ясно показват, че най-голямо увеличение на съдържанието им във водните проби през разглеждания период (2023 спрямо 2022 г.) е установено в т. 5 - както по площ (+553%), така и по брой частици (+140%) в dm^3 . Най-съществено намаление е регистрирано в т. 1 – с по-малък брой частици (-67%) и намалена площ (-83%). Установено е, че т. 3 е единствената както с увеличение на броя частици (+42,9%), така и с намаляване на площта (-15,2%). Наблюдаваните промени в т. 1 и 3, вероятно се дължат на водните и въздушни течения, атмосферните и климатични фактори за дълъг период от време. В т. 7 е регистрирано намаляване на броя частици (-30,6%), но увеличение на площта им (+53%). Това може да се обясни с по-краткия им престой (или са новопостъпили) в средата.

➤ Установено е, че през 2022 г. най-разпространените полимери във водна среда са PE (31%) и PA (26%), които заедно съставляват повече от половината от всички регистрирани частици. Полимерите PS (13%), PP (15%) и SI (13%) също са добре представени, докато останалите полимери (като PC, PU, PAN, EVON, ABS, CA) са с минимален дял. През 2023 г. се наблюдава значителна промяна в състава – PE доминира с 56,4%, а дялът на PA намалява до 7,7%. Освен това, се появяват нови полимери, като PET, който достига дял от 15,4%, което показва промяна в характера и източниците на микропластмасовото замърсяване във воден стълб между двете години.

3. Наблюдава се едновременно намаляване на броя и на общата площ на микропластмасовите частици в седимент, в седем от 9-те точки.

➤ Най-голям спад в броя на частици е установен в т. 3 (-36%), докато в точка 5 е наблюдавано най-значително намаление на площта им (-47,6%). Получените резултати биха могли да се

обяснят с наличието на водни течения и климатични фактори. Дефинирана е ясна необходимост от продължаване на мониторинга за т. 4 и 5 (показващи увеличение на площта +11,4% и на броя на частиците +40,6%).

- През 2022 г. най-разпространените полимери в седимента са РР (36%), PS (16%) и РЕ (12%), което свидетелства за разнообразни източници на замърсяване. През 2023 г. се наблюдава промяна – PVC (27%), PET (27%) и ABS (26%) стават доминиращи, докато РР намалява значително (от 36% на 6%). Тези наблюдавани промени могат да се свържат с различни източници на замърсяване, с по-високата плътност на някои от полимерите, а също и с тяхната деструкция във времето.

4. Извършено е изследване на замърсяването с токсични метали и металоиди в Бургаско езеро (Вая) и устието на река Китенска (Караагач) като индикатори на замърсяването на морски и крайбрежни екосистеми по Южното Черноморие.

- Анализът на резултатите свидетелства, че в Бургаско езеро (Вая) основният замърсител е *Al*, показващ сериозни периодични завишения над допустимите концентрации. Допълнителните замърсители - *Pb*, *Ni*, *Cd* и *Mn*, са със сезонен (пролет-лято) или месечен характер, повлияни от автомобилен трафик, подходящи климатични условия за разтварянето им в повърхностната вода, антропогенна активност и прилежащи индустриални зони.

- Доказано е, че за устието на река Китенска (Караагач) основните замърсители са *Al* и *Mn*, а допълнителните - *Pb*, *Ni* и *Zn*. Замърсителят *Al* показва сезонна тенденция на сериозни завишения над допустимите концентрации (пролет-лято). Постоянната експозиция вероятно се дължи на натоварен автомобилен трафик и близост до главен път с интензивно движение през тези сезони.

5. Установено е, че наличието на идентифицираните и изследвани в дисертационната работа замърсители се дължи на постоянен антропогенен натиск, включващ движение на хора, селскостопанска, промишлена, туристическа и търговска дейност. Присъствието им в изучаваните екосистеми може да бъде обяснено и с водни и въздушни течения, свързани с атмосферни и климатични фактори, пренасящи ги дифузно от различни източници.

НАУЧНИ И НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1. НАУЧНИ ПРИНОСИ

- За първи път е проведено системно изследване на замърсяването с микропластмаси и качествено им идентифициране в Бургаски залив, Бургаско езеро (Вая) и устието на река Китенска (Караагач).
- Потвърдени са основните замърсители от токсични метали и металоиди в Бургаско езеро (Вая) и устието на река Китенска (Караагач) като индикатори на замърсяването на морски и крайбрежни екосистеми по Южното Черноморие.
- Проучването и определянето на вида на микропластмасите, токсичните метали и металоиди има важен принос за локализация на източниците на замърсяване на изучаваните екосистеми.

2. НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

- Разработената в дисертационната работа методика за извличане и анализ на микрополимери от матрица (вода или седимент) е важен елемент в разработване на стандартизиран метод, който липсва в световната научна литература.
- Знанията, получени от изследването и анализирането на наличието на микропластмаси като индикатори на замърсяването на изучаваните морски и крайбрежни екосистеми по Южното Черноморие, са потенциална основа за разработване и прилагане на програми за мониторинг. Последните са необходими за оценка на състоянието и предлагането на мерки за ограничаване на замърсителите, на информационни кампании и образователни политики за предотвратяване досъпа им до водните екосистеми.

Списък на научните публикации по темата на дисертацията

А. Научни публикации

1. **Mollova E.**, E. Ivanova, S. Turmanova, A. Dimitrov, **2023**. Contamination of the coastline of Burgas bay with microplastics. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 24 (8), pp. 2614-2621. **Q3=15**
2. **Mollova E.**, E. Ivanova, P. Atanasova, S. Turmanova, A. Dimitrov, **2024**. Monitoring the seasonal distribution of microplastics in Burgas bay, Bulgaria. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 25 (6), pp. 1795-1802. **Q3=15**
3. **Mollova E.**, E. Ivanova, S. Turmanova, A. Dimitrov, **2025**. Monitoring of marine organisms for microplastics in the water area of burgas bay. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 26 (1), pp. 49-55. **Q3=15**

Б. Участия в международни и национални научни конференции

1. Turmanova S., S. Nedkova, P. Atanasova, E. Ivanova, A. Veli, A. Dimitrov, N. Todorov, V. Georgieva, B. Midyurova, S. Naydenova, **E. Mollova**, **2021**. *Cross-border regions collaborate for Blue Growth. Part 1. Exploratory monitoring of aquatic ecosystems*. 60th Annual Scientific Conference - University of Ruse and Union of Scientists, Bulgaria, 2021, (ISBN 978-954-712-864-4), p. 193. **Reports Awarded with “Best Paper” Crystal Prize’21**.
2. **E. Mollova**, E. Ivanova, S. Turmanova, A. Dimitrov, **2022**. Polymers – pollution and impacts on ecosystems. „20-th Symposium POLYMERS 2022“, July 5–8, 2022, Velingrad, Bulgaria.
3. **E. Mollova**, J. Kostadinova, S. Staneva, **2024**. Study for the presence of microplastics in marine organisms from the coastal zone of Burgas Bay. *Life wateroil project, Scientific conference and events, Burgas, Bulgaria/ November 28-29, 2024*.
4. **E. Mollova**, E. Ivanova, S. Turmanova, A. Dimitrov, **2024**. „Изследване на замърсяването с микропластмаса в приливната линия на Бургаски плаж“. *Студентска научна сесия на ФТН и ФПН’2024*.

В. Участия в научни проекти

- Договор НИХ 453/2021 на тема: “Изчисляване на някои параметри на инсталации за адсорбционно почистване на вентилационен въздух от летливи органични съединения”. Възложител фонд “НИХТД” към НИИ.
- Договор НИХ 481/2023 г. на тема: „Проучвателен мониторинг на замърсяването с микрополимери по брегова ивица на водни екосистеми. Възложител фонд “НИХТД” към НИИ.
- Договор НПО 3/2024 на тема: “Мониторинг на морски организми за съдържание на микропластмаси в акваторията на Бургаски залив”. Възложител Община Бургас.