

Пластмасовият бумеранг

Албена Александрова, Нешо Чупев

Всеки учен мечтае неговите постижения и открития да намерят широко приложение, но надали откривателят на винилхлорида Анри Виктор Реньо (Henri Victor Regnault, 1810 – 1878) и Едуард Симон (Eduard Simon, 1789 – 1856), описал полистирена през 1839 г., са си представяли, че тези пластмаси ще зaleyт света.

Качествата им – здравина, съчетана с гъвкавост, топлинна и химическа устойчивост, ниска цена, лесно и бързо производство – са ги превърнали в материал с изключително широка употреба, измествайки традиционно използваните естествени материали като дърво, камък, стъкло и др. Днес много и най-различни продукти са от пластмаса, от чашки и вилчки за еднократна упот-

реба до устойчиви детайли, влагани в най-модерните технологични постижения, дори в космически ракети.

Масовото производство на пластмаси в света започва през 50-те години на миналия век и досега нараства експоненциално. Прогнозите за нарастването на производство на пластмаси предвиждат, че до 2060 г. то вероятно ще надхвърли 1 милиард тона годишно,

според анализ на Организация за икономическо сътрудничество (OECD) от 2022 г. Съответно, пропорционално ще нараства и пластмасовият отпадък.

При някои кризисни ситуации пластмасовото производство и отпадъци могат да нараснат рязко. Последният такъв пример е пандемията COVID-19, която доведе до допълнително производство на огромен брой предпазни



Прогнозите са световното потребление на пластмаса да нарасне трикратно до 2060 г. Източник: OECD, 2022

средства от пластмаси за еднократна употреба (маски, ръкавици, очила и др.) и това увеличи допълнително пластмасовите отпадъци по целия свят. За съжаление, днес само незначителна част от тях се рециклират или се съхраняват в относително безопасни условия. И ако преди години хората са се питали „къде в околната среда има пластмаси?“, то сега въпросът се обърна – „къде всъщност по света няма пластмаси“. Защото пластмасовото замърсяване е вече трайно установено навсякъде, дори в такива отдалечени от цивилизацията места като връх Еверест в Хималаите или вечните ледове на Арктика и Антарктика.

А в централната част на най-големия океан е оформено **Голямото тихоокеанско сметище** (*Great Pacific garbage patch*), циркулиращ морски боклук, чиито размери вече се оценяват до 1,6 млн. km². Съставено е главно от микропластмасови частици с размер под 5 mm. Смята се, че се е образувало постепенно в резултат на океанско и морско замърсяване, натрупвано от океанските течения. Циркулацията на петното привлича допълнително боклуци, включително от крайбрежните води на Северна Америка и Япония. След това материалът постепенно бива изтласкван към центъра на боклуковъртежа чрез повърхностни течения.

Поради растящо разпространение и натрупване на пластмаси в природата и особено в морската среда, ООН предупреждава, че към 2050 г. океаните ще съдържат повече пластмаси, отколкото риба, което ще бъде пагубно не само за морските екосистеми, но и за човека и цялата биосфера. Резултатът е повсеместно и непрекъснато нарастване на замърсяване на околната среда с пластмаса.



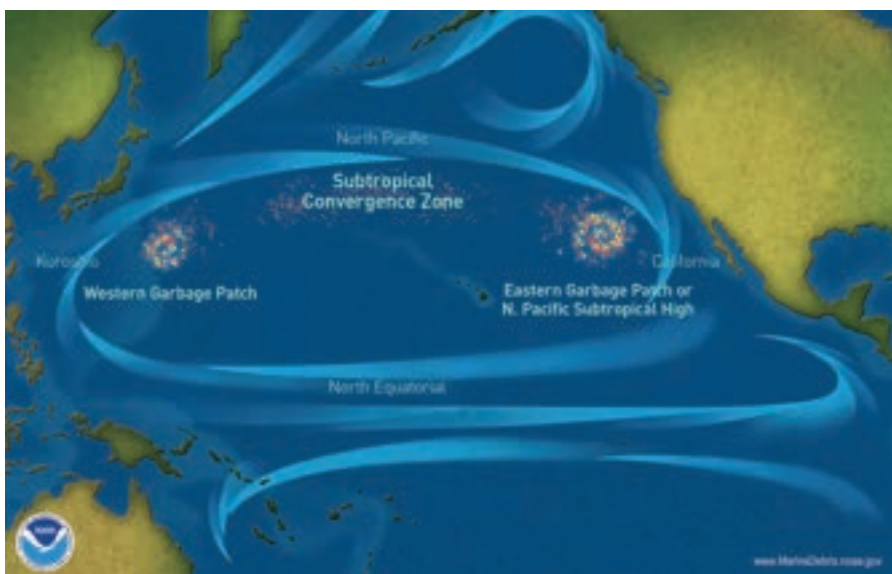
Проф. g-р Албена Александрова работи в Институт по невробиология на БАН, научно направление „Биологични ефекти на природни и синтетични вещества“ и в момента ръководи научна работна група „Свободно радикални процеси“, и също така е ръководител на Център за научна и приложна дейност на Национална спортна академия „Васил Левски“.



Проф. g-р Нешо Чипев е бил директор на Централната лаборатория по обща екология на БАН, а след това е бил ръководител на Секция „Екосистемни изследвания“ в Институт по биоразнообразие и екосистемни изследвания на БАН. Продължителната им съвместна научна работа е свързана с реализация на научни проекти в областта на стрес екологията на черноморската биота.



Пластмасови отпадъци в: А) подножието на връх Еверест, Б) Арктика и В) Антарктика



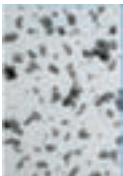
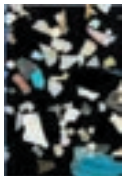
Географска схема на Голямото тихоокеанско сметище
Карта: NOAA



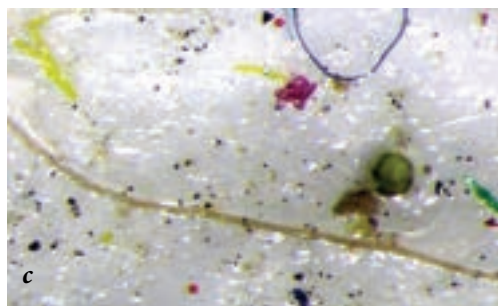
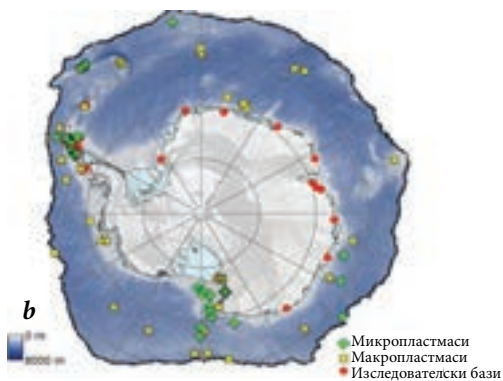
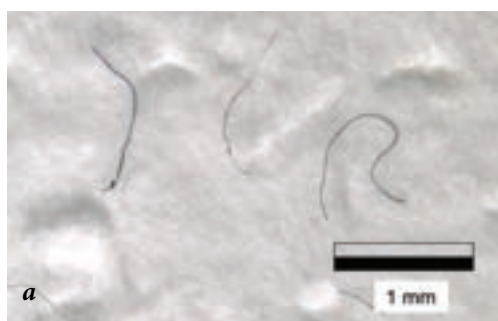
Понякога ветровете правят истински острови от боклуци
Снимка: Giant Ocean-Trash Vortex Documented—A First

В околната среда се намират много разнообразни пластмаси, които се различават по размер, произход, форма, химичен състав и цвят. Размерът на пластмасите, които се намират в природата, варира в широки граници и те

могат да бъдат категоризирани в пет широко приети класа: мегапластмаси ($>50\text{cm}$), макропластмаси (>5 до 50cm), мезопластмаси ($\geq 5\text{mm}$ до 5cm), микропластмаси ($\geq 1\mu\text{m}$ до $<5\text{mm}$) и нанопластмаси ($<1\mu\text{m}$).

нано	микро	мезо	макро	мега
<0,001 мм	<0,01-5 мм	5 мм-2,5 см	2,5 см – 1 м	>1 м
				

Класификация на пластмасите според размера им



Последните две категории, микро- и нанопластмасите, привличат напоследък особено внимание от страна на учените. Тези частици се оказват повсеместно разпространени. Открити са на Еверест, в снеговете на северния и южния полюс.

Те присъстват във въздуха, водата, почвата и храната и могат да се биоакмулират в организмите по хранителните вериги. Микро- и особено наночастиците могат успешно да проникват в тъканите и органите на всички организми, вкл. човека, и да увреждат здравето им. През последното десетилетие замърсяването с микро- и нанопластмаси се определя вече като нарастваща глобална заплаха, криеща реална опасност да засегне биологичното разнообразие, екосистемите и човешкото здраве.

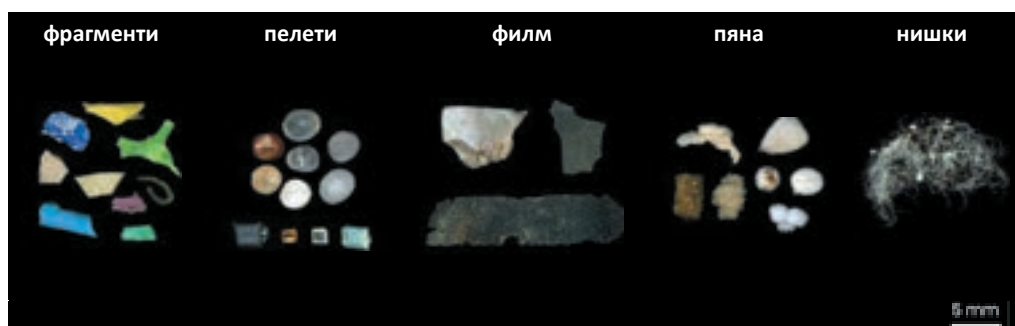
← *Разпространение на микропластмаси в околната среда*

a - Микрофибри, открити в сняг на 8440 м надморска височина на връх Еверест.

Източник: Imogen Napper/National Geographic

b - Находки на макропластмаса и микропластмаса във водите на Южния полярен океан

c - Микропластмаси, открити в антарктически сняг



Видове микропластмаси в зависимост от формата им

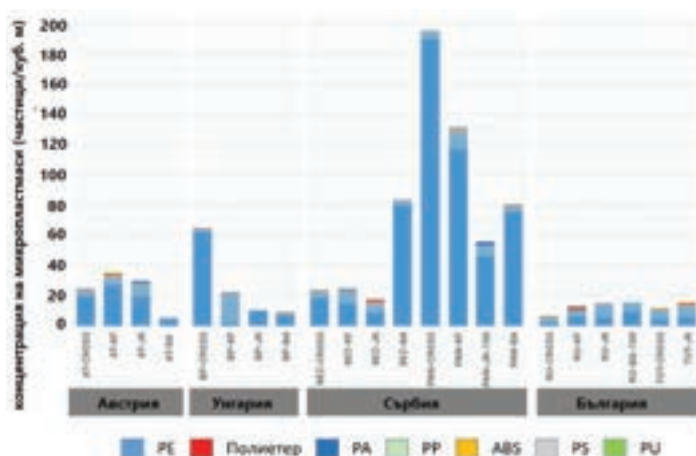
Освен размерите, формата на пластмасовите частици е също различна. Няма единноприета класификация и названия за формата на микропластмасите (МП). Една по-широко приета класификация по форма, ги разделя на гранули/пелети, влакна/нишки, фрагменти, пяна и филм.

В зависимост от произхода си, МП се делят на първични и вторични. Първичните са фабрично произведени микророзърна или влакна, които се влагат в определени промишлени продукти – например за лична хигиена (паста за зъби, експфолианти, кремове и гр.), абразивни материали, синтетичен текстил. Вторичните МП се образуват от разграждането на по-големи по размер пластмаси най-често по атмосферни въздействия, като вятър, слънчева светлина, вълни и гр. Според последните изследвания се оказва, че синтетич-

ният текстил има най-голям принос за замърсяването с малки по размер пластмасови частици. При едно обикновено пране, например, от една греха могат да се отделят над 1900 микровлакна или средно от грехите се отмиват и попадат в отпадните води между 3,2 и 17 милиона микровлакна, което е приблизително между 0,5 и 1,3 грама. При очакваните общи количества пране в страните от ЕС, битовите отпадни води ще приемат от 18 430 до 46 175 тона микровлакна годишно.

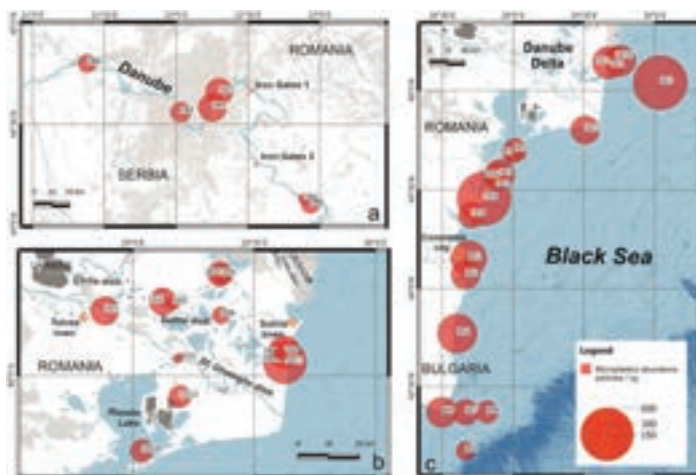


Основни източници на микропластмаси в морската среда IUCN, 2022



Микропластмаси във водите на р. Дунав при крайдунавските държави

Източник: Международен проект TID(Y)UP 2022г.; <https://www.interreg-danube.eu/>



Микропластмаси в седиментите в делтата на р. Дунав и Черно море

Източник: Pojar et al., 2000; <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81724-4>

Пластмасите в околната среда имат и различен химичен състав. Известни са най-малко 45 различни вида пластмаси с търговска употреба, включително полипропилен (PP), полиетилен (PE), полиетилен терефталат (PET), полистирен

(PS), полиуретан (PU), поливинилхлорид (PVC) и поликарбонат (PC), които могат да бъдат в състава на микропластмасите. Най-голям дял от сега произвежданите пластмаси се пада на полиетилен (~30%), следван от полипропилен (19%), поливинилхлорида (11%) и полиетилен терефталат (5%), използван за производство на синтетични влакна и бутилки. От МП най-често срещан е полиетилен терефталат (PET). Във въздуха на закрито тези МП са между 59 – 92%, в бутилираната вода са около 80%, а в храните около 8%.

В България, а също и в съседните страни, изследванията на разпространението и съдържанието на пластмаси и особено на МП в основните компоненти на околната среда са все още в начален стадий. Има изследвания (по международни проекти) за замърсяването на р. Дунав с МП, като Австрийската агенция за околната

среда оповести, че това замърсяване възлиза средно на около 17 тона/година. Немски учени също установяват, че водите на р. Дунав носят над 2800 МП/л (46 МП/л с размери > 105µm, 95 МП/л с размери >65µm и 2677 МП/л с размери

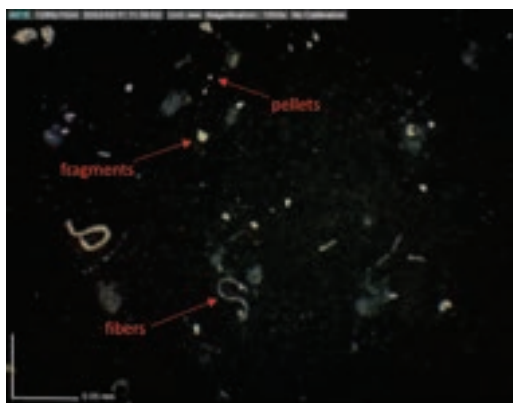
>20µm). Аналогично, в изследванията си, румънски учени установяват значително количество на МП в седиментите в делтата на р. Дунав и седиментите по бреговете на Черно море, както в шелфа, така и на дълбочина над 2000 м.

Български учени от Института по биоразнообразие и екосистемни изследвания при БАН участваха в проведеното за първи път мащабно изследване и докладваха данни за наличието на МП във водите на българския сектор на Черно море. В това изследване, проведено съвместно с „Грийнпийс България“ (август 2017 г.), в района между Бургас и нос Калиакра са установени средно 429 000 частици МП/км². Учени от Медицински университет Варна също установяват МП в крайбрежните черноморски води със средна концентрация на частиците (предимно влакна и фрагменти) $7,3 \pm 4,9$ МП/л. Моретата и океаните са основни гепа на пластмасови отпадци, като източниците на МП в морската среда са различни.

Проучванията за биоаккумуляцията на МП в черноморските организми са мал-

ко и от скоро. За първи път е отчетено присъствие на МП в зоопланктон в южната част на Черно море (турско крайбрежие), а по-късно пак там в черна миди, както и в различни видове бели миди (*Donax trunculus*, *Chamelea gallina*, *Anadara inaequalis*, *Pitar rudis*). Наш екип, включващ учени от Институт по невробриология БАН, Институт по молекулярна биология БАН и катедра Биология при Шуменски университет, започна първите изследвания на съдържанието на МП в черни и бели миди от българския шелф на Черно море.

Анализите показаха, че изследваните видове миди масово съдържат МП, като по-голям брой частици са отчетени в мидите от Варненския залив и Ахтопол. Във всички изследвани миди преобладават МП с размери <25 µm, които според публикувани изследвания се приемат за най-опасни за здравето на организмите. Научните изследвания за конкретното въздействие на различни МП върху здравето на организмите и човека са особено актуални, но са все още в начален етап и данните са недостатъчни. При



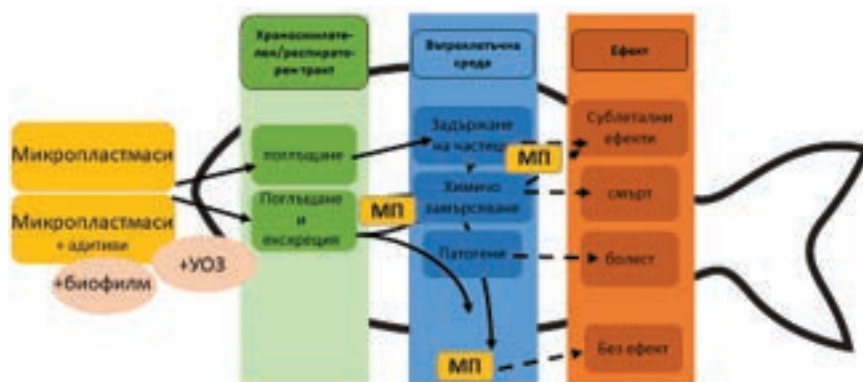
Микропластмаси, изолирани от бели миди от Българското черноморско крайбрежие
Източник: Alexandrova et al., (2022) Pilot Screening and Assessment of Microplastic Bioaccumulation in Wedge Clams *Donax trunculus* Linnaeus, 1758 (Bivalvia) from the Bulgarian Black Sea Coast. *Acta Zoologica Bulgarica*, 74(4): 569. <http://www.acta-zoologica-bulgarica.eu/2022/002641>

морски организми е установено, че МП могат да проникват по най-различни пътища в тъканите и органите и да засягат тяхното здравословно състояние. Трябва да се отбележи, че върху МП могат да се залепват (адсорбират) и други вредни агенти, налични в средата, като метали, органични замърсители, патогенни микроби, които проникват в организмите заедно с тях и те могат да оказват допълнителен негативен ефект. Вредните въздействия на проникналите в един организъм частици могат да са многопосочни. При рибите и други водни обитатели те са свързани предимно с намаляване на приема на храна, забавяне на растежа, необичайно поведение, намаляване на репродукцията, генетични промени и гр.

Микро- и нанопластмасите, попаднали в различни организми, могат да преминават през биологичните бариери и, попадайки в клетките, могат да доведат до оксидативен стрес, който засяга липидния метаболизъм, структурата и функциите на белтъците, причинява генетични изменения. Нашата изследователска група започна за първи път у нас изследвания за оценка на ефекта на

МП върху нивата на оксидативен стрес в черноморски миди и риби, като общ показател за здравословното състояние не само на отделния организъм, но и на морските екосистеми.

На сушата МП са изследвани в почвите, главно селскостопански, и е установено тяхното значително наличие. Счита се, че почвите натрупват МП, които се задържат дългосрочно в тях и това увеличава последващите неблагоприятни ефекти върху почвените екосистеми, земеделското производство и здравето на човек. Последните проучвания доказват, че замърсяването на агроекосистемите с МП може да промени микробиологичните, биохимичните и физичните свойства на почвата и съответно – нейното плодородие. От почвата МП частици могат да преминават в растенията. Установено е, че пластмасови наночастици (с размери под 40 – 50 nm) могат да проникват в различни растителни тъкани, в зависимост от вида на растенията и от етапа на тяхното развитие. Направени са няколко по-детайлни експериментални проучвания с използване на полистиренови частици, при което са установени



Ефекти на микропластмаси в риби

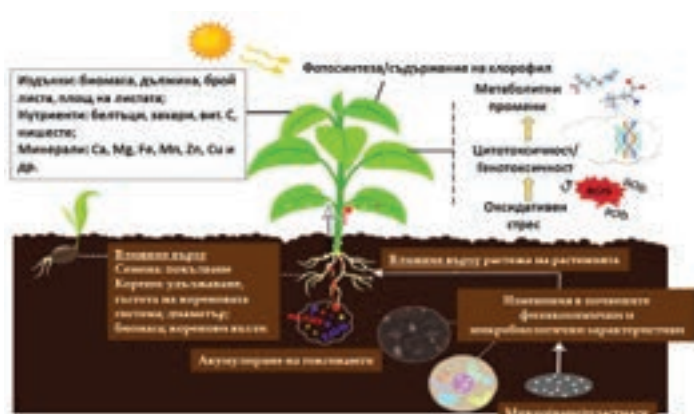


Основни здравни ефекти на микропластмаси в морски организми

пътищата на проникване и абсорбцията на пластмасови частици от корените. В зависимост от дозата (количеството), нанопластмасите могат да намаляват височината на растенията, броя на листата, листната площ и като цяло, растителната биомаса. Установено е намаляване на хлорофила на растенията, намаляване на енергийния метаболизъм, оксидативен стрес, цито- и генотоксичност, което води до увреждане на растенията. Засага проучванията върху растителни видове, използвани за храна от хората, се отнасят главно до механизмите на абсорбцията и транслокацията на пластмасовите частици в растението. В изследване на плодове (ябълки и круши) и зеленчуци (броколи, марули, моркови и картофи), закупени от търговската мрежа в Катания (Италия) е установено значително наличие на

пластмасови частици (от 52,05 до 233 частици/kg), като в плодовете те са многократно повече. Това вероятно се дължи на високата васкуларност на пулпата, на по-големия размер и сложност на кореновата система и на възрастта на дърветата (поне няколко години) в сравнение с тази на зеленчуци (60 – 75 дни за моркови). Други проучвания показват, че нанопластмасите имат не само самостоятелен ефект, но поради адсорбиране на повърхността им на тежки метали и/или на устойчиви органични замърсители може допълнително и сериозно да повлияват върху усвояването на минерали от растенията, синтеза на въглехидрати и белтъци, намалявайки тяхната хранителна стойност.

През последните години особено внимание започва да предизвиква натрупването на микро- и нанопластмаса в



Основни ефекти на микропластмаси върху растения и трансфер по хранителната верига към домашните животни и човека

Проникване и ефекти на микро/нанопластмаси в растения

Източник: Wang et al., 2022; <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106503>.

Проникване и ефекти на микропластмаси в домашни животни

Източник: Ling Yang et al., 2021; <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146546>.

селскостопанските животни и техните продукти. Все повече доказателства сочат, че селскостопанските животни поглъщат МП в различни количества, в зависимост от замърсяването на тяхната околна среда. Установен е трансфер на МП от почвата през земни червеи към пилета. Потенциално попадналите в ор-

ганизма на селскостопанските животни МП могат да причинят възпаление, цитотоксичност, генотоксичност и имунна токсичност в клетките и тъканите. Възпроизводството на селскостопанските животни изглежда може да бъде засегнато не само от МП сами по себе си, но и от адсорбираните върху тях замърсители и патогени, като те могат да предизвикват хормонален дисбаланс и нарушена плодовитост. Конкретните и специфични въздействия на пластмасовото замърсяване върху репродуктивната ефективност и здравето на селскостопанските животни, отглеждани за храна, трудно се установяват поради разнообразието от съпътстващи фактори (хранене, метаболизъм, продуктивно ниво, начин на отглеждане и др.).

Днес темата за пластмасите и здравето на човека започва

да става особено актуална. И тук за съжаление, научните изследвания и наличните данни са все още недостатъчни. Установено е, че чрез въздуха, храната и водата микро- и нанопластмаси масово попадат в човешкия организъм и могат да предизвикват реални негативни последици за неговото здраве.

Едно широко отразено в медиите проучването на Медицинския университет във Виена, публикувано в списание *Exposure&Health*, показва, че в стомашно-чревния тракт на човек седмично навлиза средно по пет грама пластмасови частици, което се равнява на една кредитна карта. Ако пресметнем тези 5 гр. за 52 седмици (една година) ще се получи, че средно се поглъщат около 260 грама пластмаса/човек/година. Обаче оценката на количеството МП, което се поглъща от човек е трудна и зависи от мястото и начина на живот, от вида и честотата на хранене и приема на течности. Различните проучвания посочват

различни данни, вариращи от 39 000 до 121 000 МП/човек/година. Доскоро се приемаше, че храната е главният път за навлизане на МП в човека, но се оказва, че основен източник е вдишаният въздух в затворени помещения. При средна отчетена концентрация във въздуха от 9,8 МП/м³ и скорост на вдишване 15 м³/ден, годишната експозицията при вдишване е средно 53 700 частици на човек.

Вторият голям източник на МП за човешкия организъм са течностите, които пием. МП са открити във водата, бутилирана в пластмасови бутилки за многократно (средно 118 частици/л) и



Пътища на поемане на микропластмаси от човека и транслокация в организма

еднократна употреба (средно 14 частици/л) и дори в стъклени бутилки (средно 50 частици/л). Различни проучвания съобщават за наличие на микропластмаси в бира, вино, безалкохолни напитки, енергийни напитки и бутилиран чай. Например – установените концентрации на МП в бира от Германия са от 10 до 256 частици/л, в бяло вино от Италия 2563 – 5857 частици/л, в безалкохолни напитки, енергийни напитки и чай от 11 до 40 частици/л. Третият установен значим източник на МП за човека са хранителните продукти. Различни изследвания показват МП в морски дарове (0,2 – 4 частици/грам), риби (1 – 7 частици/

грам), пилешко месо (0,03 до 1,19 частици/грам), захар ($0,5 \pm 2,26$ частици/грам), сол ($0,55 - 0,68$ частици/грам) и мед ($0,04 - 0,66$ частици/грам). Проучвания на нашия екип на използваните за храна бели миди (*Donax trunculus*) от българското Черноморие установиха наличие на МП в голяма част от изследвани миди ($4,06 \pm 1,09$ частици/мида).

Имайки предвид голямото разнообразие на храни и широкото използване на пластмаси за опаковане и гр., изследванията на храненето като източник на МП за човешкия организъм трябва да бъдат много по-загълбочени. Доскоро се приемаше, че пластмасовите частици преминават през храносмилателната система на човек и се изхвърлят, без да оказват значим ефект върху организма. Действително, голяма част (>90%) от погълнатите МП и особено по-големите частици (с размери над $150 \mu\text{m}$), се екскретират чрез изпражненията. Установено е обаче, че по-малките частици могат успешно да преминат през различни тъканни бариери като стомашно-чревния епител (МП< $150 \mu\text{m}$), кръвно-мозъчната бариера и плацентата (МП с размер $0,1-10 \mu\text{m}$). През 2021 г. италиански лекари съобщават за първи път за наличие на микропластмаси в човешка плацента. Били са открити общо 12 частици с размери от 5 до $10 \mu\text{m}$, със сферична или неправилна форма в плаценти от 4 жени.

Проучване на екип от Университета на Ню Мексико, САЩ (2024 г.) открива МП във всички проби от плаценти, взети от 62 жени, участвали в изследването като изчислената концентрация варира от 6,5 до 790 микрограма/грам тъкан. През 2022 г. за първи път се съобщава за МП в човешка кръв, установена в 17 от 22 човека (почти 80%). В половината от кръвните проби пластмасата

е била идентифицирана като PET, в една трета - PS и в една четвърт - PE. Концентрацията на установените частици е била изчислена на $1.6 \mu\text{g/ml}$. Наличие на МП е установено в черен дроб, бъбреци и галак на хора след аутопсия, както и в чернодробни експланти на пациенти с хронични чернодробни заболявания след трансплантация. Също така МП са открити в периферна човешка белодробна тъкан след хирургични резекции.

В научни публикации от 2023 г. вече е документирано наличие на МП в човешка сперма, в сърце и заобикалящите го тъкани, в бъбреци и галак. Въпреки все по-нарастващите доказателства за наличието на МП в различни тъкани и органи, за техните преки ефекти върху здравето на човека засега няма еднозначен отговор. Интензивни експериментални лабораторни изследвания вече се правят върху опитни животни (мишки и плъхове) и клетъчни култури, като резултатите се екстраполират към човека. До голяма степен въздействието на МП върху човешкия организъм зависи от количеството на биоаккумуляция и големината на частиците. Според Световната здравна организация обаче трябва да се има предвид, че потенциалният здравен риск от МП е свързан не само със самите частици, като физически обект, но и с химичния им състав (съдържание на токсични несвързани мономери, добавки) и с големия им потенциал да привличат и свързват на повърхността си вещества от околната среда (метали, устойчиви органични замърсители) и микроорганизми, които могат да се прикрепят и колонизират върху тях, известни като биофилми.

Изследванията и данните от различни страни в света определено показват глобалния характер на пластмасовото замърсяване и неговите негативни

ефекти. В този смисъл съвсем актуален и нетърпящ отлагане въпрос е какво се прави за предотвратяване и смекчаване на ефектите на пластмасовото замърсяване? Европейският съюз вече е приел различни мерки за справяне със замърсяването на околната среда, причинено от пластмаси и микропластмаси. Някои от ключовите инициативи на ЕС включват:

- **Стратегия за пластмасите:** Тя е приета през 2018 г. и определя цялостен подход за справяне с предизвикателствата, породени от пластмасите. Включва мерки за подобряване на дизайна и възможността за рециклиране на пластмасови продукти, насърчаване на рециклирането и повторната употреба, намаляване на пластмасовите отпадъци и насърчаване на иновациите в алтернативните материали.

- **Директива за пластмасите за еднократна употреба:** Приета е от ЕС през 2019 г. като има за цел да намали потреблението на пластмасови продукти за еднократна употреба и да ограничи въздействието им върху околната среда. Директивата забранява определени пластмасови предмети за еднократна употреба, като сламки, прибори за хранене, чинии и памучни пръчици, за които има лесно достъпни алтернативи. Директивата също така определя цели за намаляване на отпадъците от пластмасови бутилки за напитки, налага схеми за разширена отговорност на производителите и насърчава мерки за осведоменост и управление на отпадъците.

- **Ограничения за микропластмаси:** През 2023 г. ЕС предложи ограничения за умишлено добавени МП в продукти

като козметика, перилни препарати и селскостопански продукти. Тези ограничения имат за цел да предотвратят директното изпускане на МП в околната среда и да намалят въздействието им върху екосистемите и човешкото здраве.

- **Финансиране на научни изследвания и иновации:** ЕС предоставя финансиране за проекти за научни изследвания и иновации, насочени към разработване на устойчиви алтернативи на пластмасите, подобряване на технологиите за рециклиране и по-добро разбиране на въздействието на пластмасите и особено на МП върху околната среда.

- **Международно сътрудничество:** ЕС си сътрудничи с международни партньори за справяне с нарастващото глобално предизвикателство на замърсяването с пластмаси. Това включва подкрепа на инициативи като кампанията за чисти морета на Програмата на Обединените нации за околната среда и Хартата за океанската пластмаса на Г7.

Тези мерки демонстрират ангажираността на ЕС да се справя със замърсяването на околната среда, причинено от пластмаси и микропластмаси, чрез комбинация от регулаторни действия, политически рамки, научни изследвания и международно сътрудничество. Тези мерки пряко засягат и нас като европейска страна, имаща своите международни отговорности, както и като дунавска и черноморска държава. За съжаление, ние все още не правим достатъчно по проблемите на пластмасовото замърсяване в България както в научен, така и в обществено-политически план. ■