



# МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЫБОПРОМЫШЛЕННЫЙ ФОРУМ

8-10 СЕНТЯБРЯ  
2021

GLOBAL FISHERY  
FORUM

Круглый стол «Тренды рыбохозяйственной науки»

## Микропластик как новый компонент окружающей среды: каковы возможные угрозы?



*Чубаренко Ирина Петровна*

д.ф.-м.н., Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Атлантическое отделение 1

# Краткое введение. Мировой океан пластика

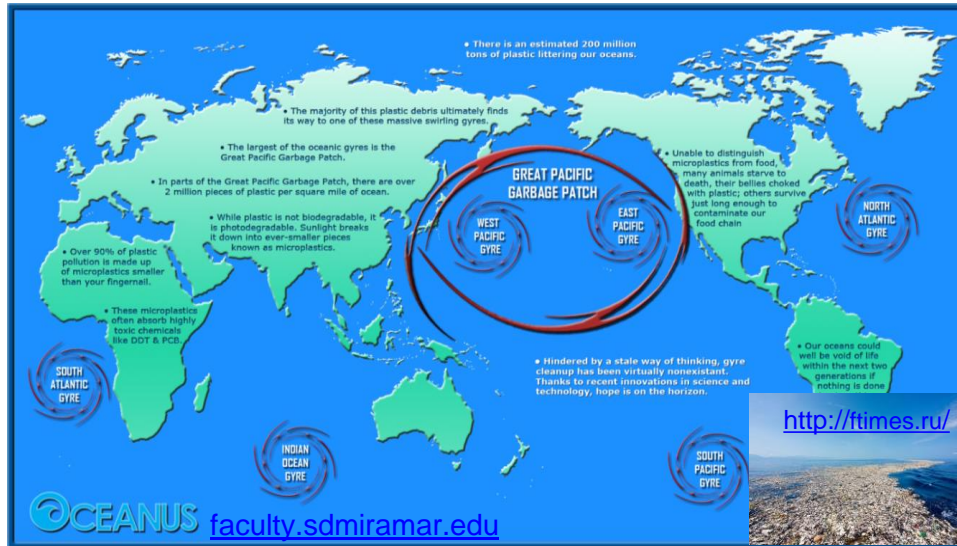


- Объем производства пластика в мире в 2020 г. составил ~ **370 млн т** (Plastics Europe 2021), что примерно равно весу половины человечества;
- В Европе перерабатывается только ~2.5 % от общей массы произведённого пластика;
- 2-7% ежегодно попадает в океан, это 4.8 to 12.7 млн т (Jambek et al., 2015);
- < 1% пластика в океане обнаруживают на поверхности в центрах основных океанских круговоротов (e.g., van Sebille et al., 2019);

- 67-77%, по-видимому, находятся в прибрежной зоне моря и на пляжах (Onink et al., 2021; Fisher et al., 2021).

- **Пластик в воде, осадках, биоте: это новый – синтетический - компонент окружающей среды.**

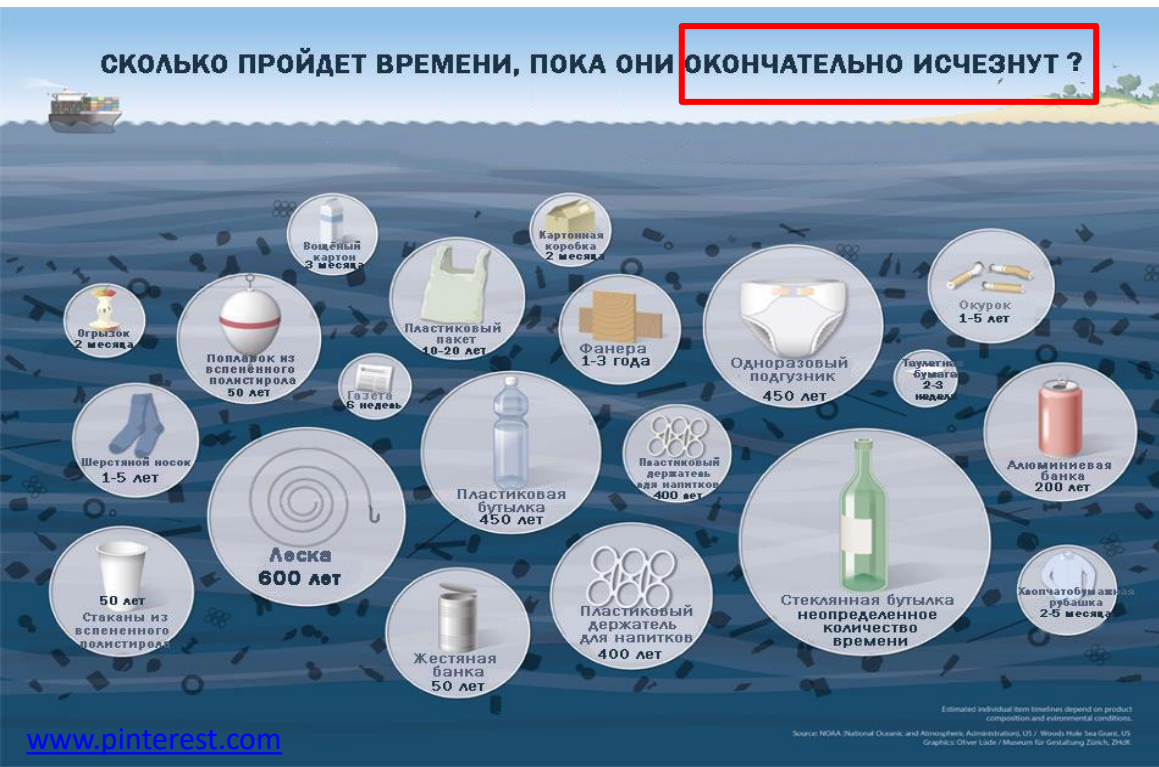
- **Чем это может быть опасно?**



# Что с происходит с пластиком в природе?



В природных условиях химически инертные синтетические молекулы практически не разлагаются. Но ультрафиолетовое излучение, перепады температур, механическое разрушение и другие факторы внешней среды постепенно разрушают пластиковые изделия.



Если принять, что поколения людей сменяются через 25 лет, то выброшенный памперс будет «жить» в океане 18 поколений,

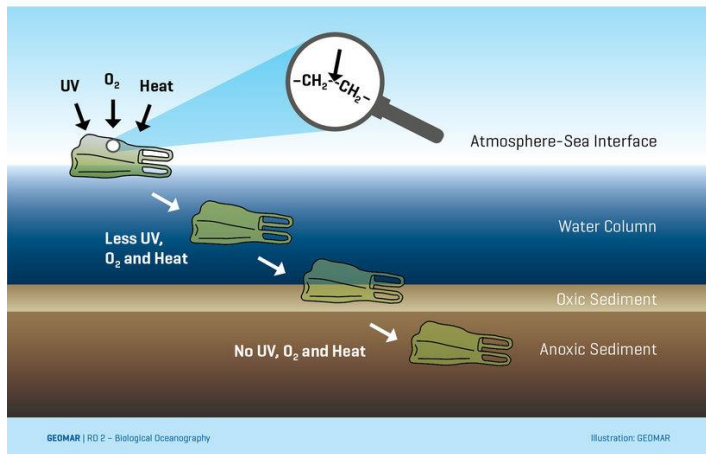
**пока не станет микропластиком...**

Пластиковый макро-мусор, выброшенный в естественную среду, постепенно разрушается под действием ультра-фиолетовых лучей, ветра, механических нагрузок, перепадов температур и рассыпается на мелкие фрагменты – **микропластик**.

В окружающей среде именно микропластик вызывает наибольшее беспокойство:

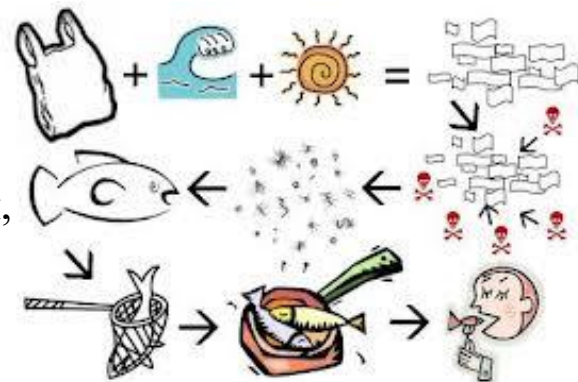


The Path of a Carrier Bag from the Ocean Surface to the Sediment



если макро-пластик –  
это главным образом эстетическая проблема,  
(и можно надеяться его убрать),

то микропластик – это принципиально другое  
(и «убрать» его невозможно) :



- на поверхности частиц скапливаются химические вещества и токсины,
- сами частицы легко принимаются птицами и рыбами за еду,
- и (помимо прямого ущерба съевшим пластик животным)  
токсины поднимаются по пищевой цепи до человека,
- в океане МП практически вечен, легко переносится течениями в океане и даже ветром.

**Минимальные и максимальные значения концентраций частиц микропластика, обнаруженных в различных средах Мирового океана (по [Booth et al., 2017])**

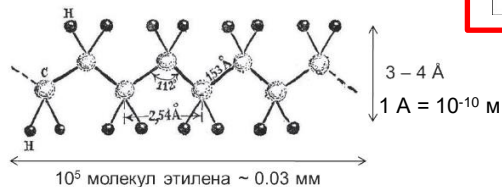
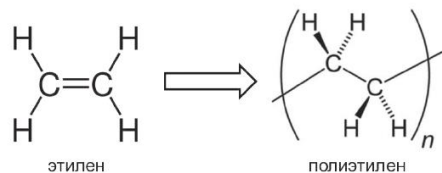
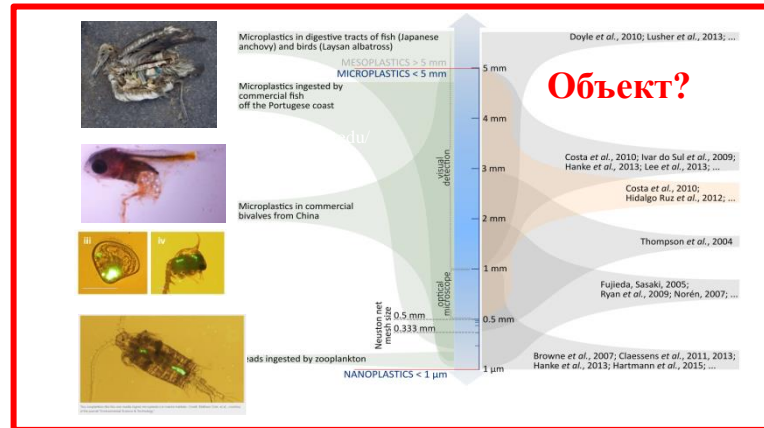
<b>Среда Мирового океана</b>	<b>Минимальная концентрация, шт./кг</b>	<b>Максимальная концентрация, шт./кг</b>	<b>Диапазон порядков величины</b>
Поверхностные воды	$8.5 \cdot 10^{-7}$	16	~7
Толща вод	$1.7 \cdot 10^{-5}$	0.28	~4
Пляжи и побережья	$1.5 \cdot 10^{-2}$	4340	~5
Осадки прибрежных зон	3.91	3320	~3
Осадки глубоководных зон	0.4	268	~3
Полярные льды	$2 \cdot 10^{-9}$	0.136	~8
Полярные воды	$1.45 \cdot 10^{-5}$	22	~6
Полярные донные осадки	3.91	33.19	~1
Рыба	$3 \cdot 10^{-2}$	7.2	~2
Пелагиальные виды (кроме рыб)	$2.5 \cdot 10^{-3}$	0.44	~2
Бентосные виды (кроме рыб)	12	10600	~3

# «Микропластик по определению»

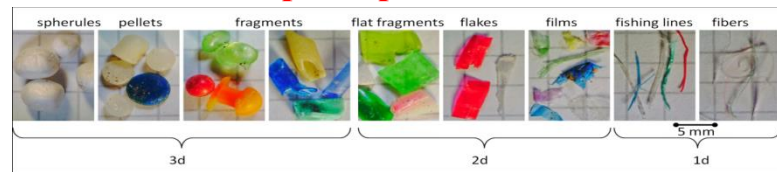


Изначально микропластиком были названы просто «мелкие частицы пластика» (Thompson et al., 2004), < 5 мм.

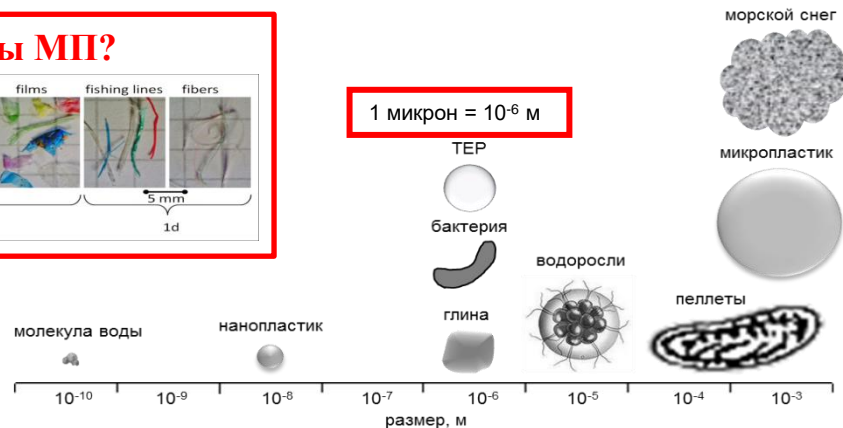
## Методы отбора и идентификации?



## Что есть размер частицы МП?



1 микрон = 10<sup>-6</sup> м



# «...пластик» - структура и свойства материала:



**Пластик** — органический материал, основой которого являются **синтетические** или **природные** высокомолекулярные соединения (полимеры). Исключительно широкое применение получили пластмассы на основе синтетических полимеров.

(Большая Российская энциклопедия, 1992)

## Термопласты и Реактопласты

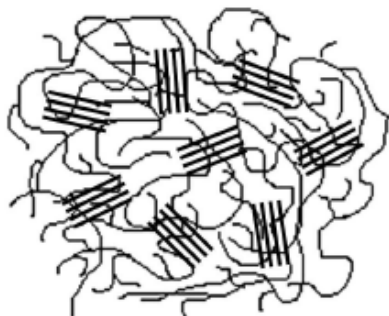
Синтетические и искусственные полимеры

Со-полимеры

Полимер-бленды

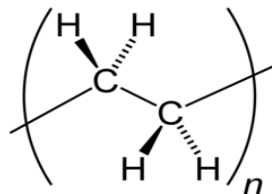
Композиты

.....



Кристалличность пластика

Свойства пластика зависит также от количества звеньев в цепи:  
например, полиэтилен



при  $n \sim 1000$  - воскообразный

при  $n \sim 100\,000$  – упаковочный материал

# Итак:



**Свойства пластиков** можно практически задавать по желанию: он может быть тонкий (как полиэтиленовые пакеты),  
ячеистый (как поролон),  
отличный теплоизолятор (как строительный утеплитель пенополистирол),  
инертный (ПЕТ-бутылки для воды),  
любой формы, цвета, фактуры, плотности, .....

**Синтетические и искусственные ткани** – нейлон, капрон, флис и многие другие –  
тоже **долговечны**, практичны, могут быть тканями и нетканями,  
легко красятся в любой цвет, и т.д.

**Table 1**  
Classes of plastics that are commonly encountered in the marine environment.

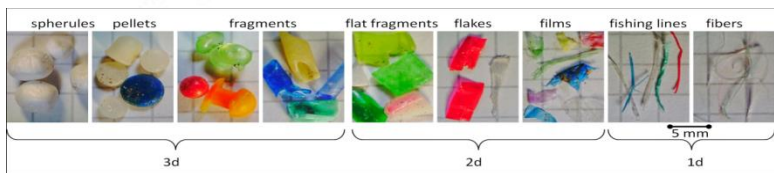
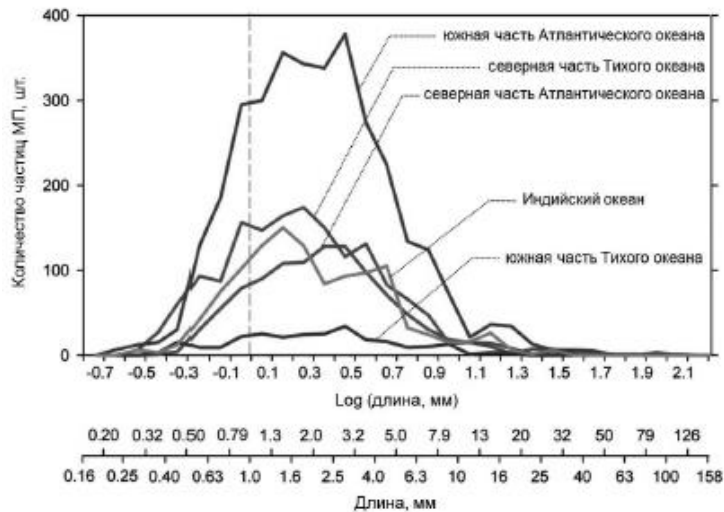
Plastic Class		Specific Gravity	Percentage production <sup>#</sup>	Products and typical origin	
Low-density polyethylene	LDPE LLDPE	0.91–0.93	21%	68%	Plastic bags, six-pack rings, bottles, netting, drinking straws
High-density polyethylene	HDPE	0.94	17%		Milk and juice jugs
Polypropylene	PP	0.85–0.83	24%		Rope, bottle caps, netting
Polystyrene	PS	1.05	6%		Plastic utensils, food containers
Foamed Polystyrene				Floats, bait boxes, foam cups	
Nylon	PA		<3%	Netting and traps	
Thermoplastic Polyester	PET	1.37	7%	Plastic beverage bottles	
Poly(vinyl chloride)	PVC	1.38	19%	Plastic film, bottles, cups	
Cellulose Acetate	CA			Cigarette filters	

<sup>#</sup> Fraction of the global plastics production in 2007 after (Brien, 2007).



# Физические свойства частиц МП оказываются исключительно разнообразными:

## Распределение частиц МП по размерам (поверхность, по данным (Cozar et al., 2014))

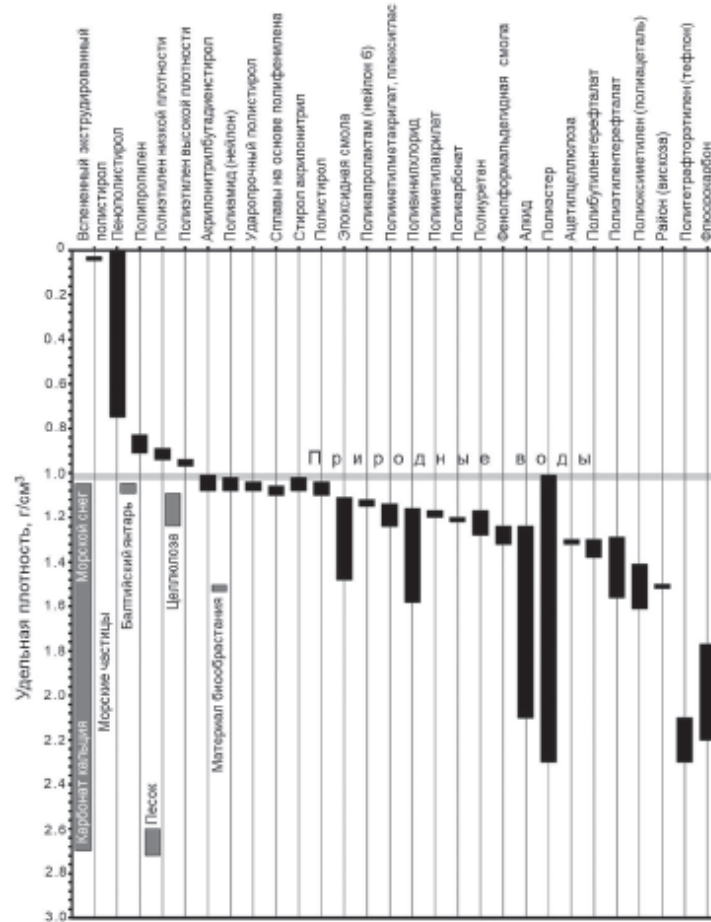


форма

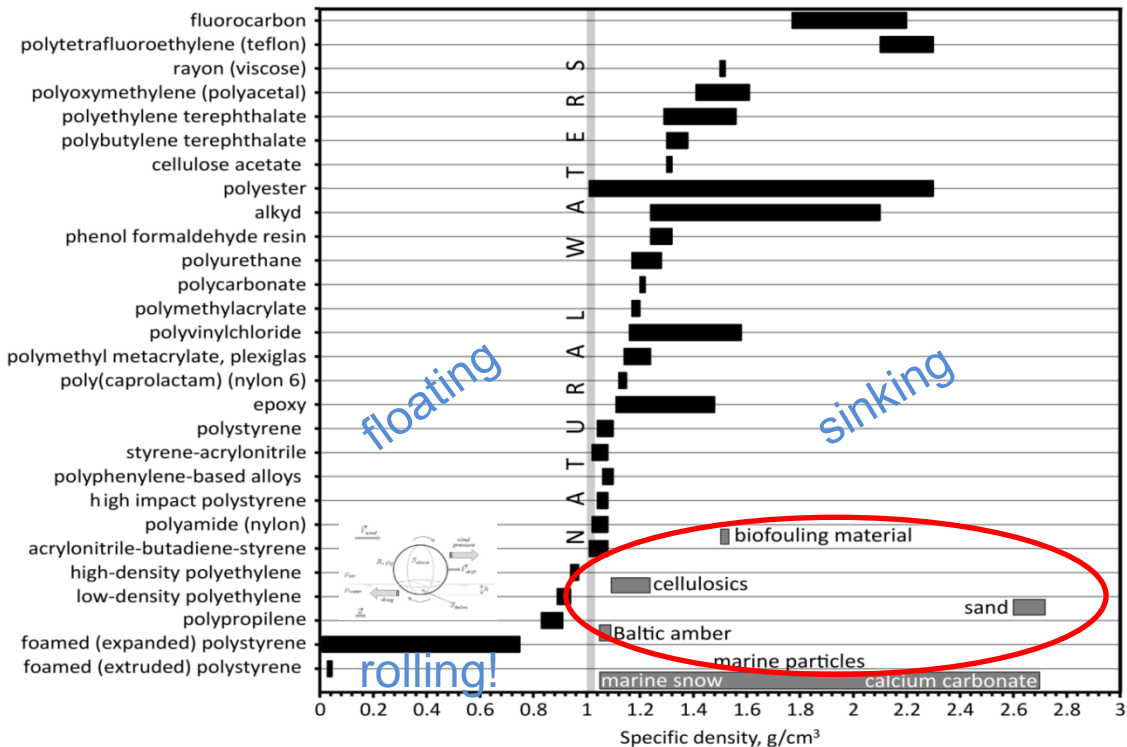
текстура поверхности (шероховатость)

цвет

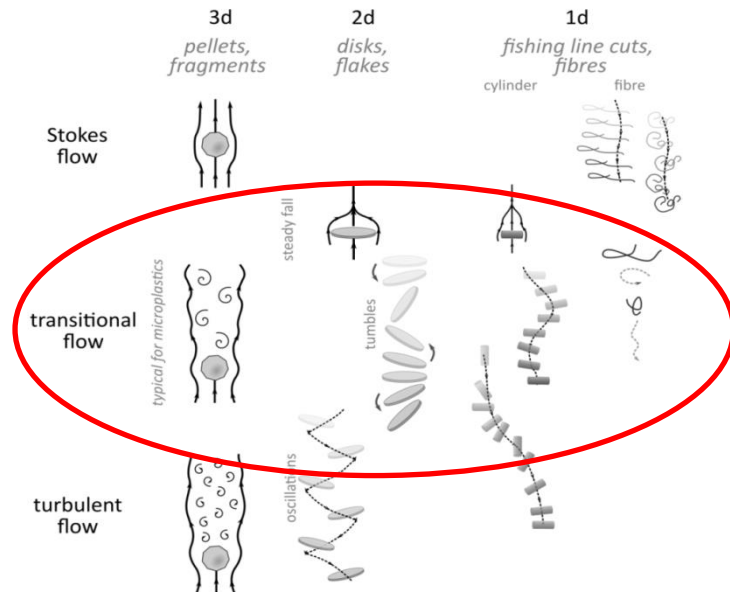
## Плотности полимеров



# Динамические характеристики



## Манера оседания



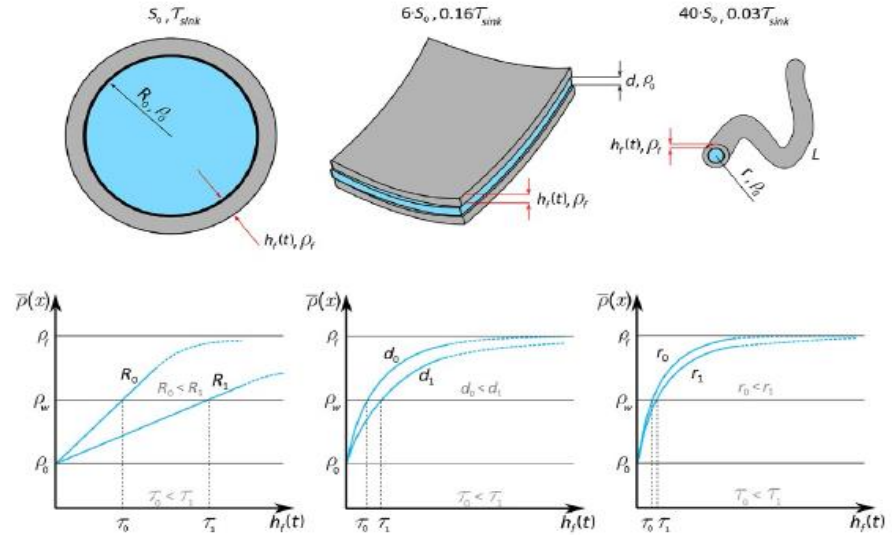
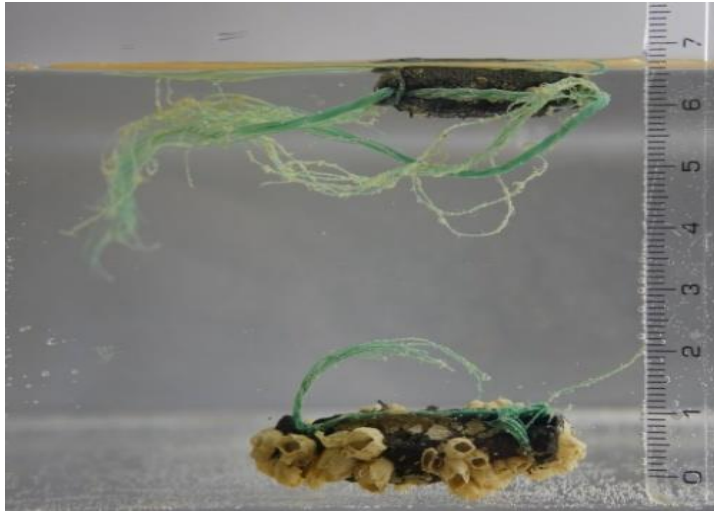
... и все эти свойства изменяются со временем «жизни» в окружающей среде

# «Междисциплинарные» частицы



## Примеры для МП в морской среде:

- скорость био-обрастания (и увеличение плотности) зависит и от вида-обрастателя, и от формы частиц, и от внешних условий (например, T, освещённость)



- фрагментация пластика зависит и от хрупкости и кристалличности самого полимера, и от внешних условий (T, UV, F)
- взаимодействие со льдом зависит от гидрофобности материала, шероховатости частицы и режима заморзания .....

# Исследования АО ИО РАН в Балтийском море (РНФ 15-17-10020, 19-17-00041)

## Лабораторные эксперименты 1. Скорости оседания МП различных форм и размеров



Экспериментальная установка



Khatmullina L., Isachenko I. Settling velocity of microplastic particles of regular shapes // Marine Pollution Bulletin. 2017. Vol. 114(2). P. 871-880. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.11.024>

## Экспедиционная деятельность 1. Экспедиция по Балтике 2015-2017



Вагари А., Khatmullina L., Chubarenko I. Anthropogenic microplastic in the Baltic Sea water column // Marine Pollution Bulletin. 2018. Vol. 129. No. 2. P. 918-923. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.10.049>

Вагари А., Мизюк А., Khatmullina L., Isachenko I., Chubarenko I. Anthropogenic fibres in the Baltic Sea water column: Field data, laboratory and numerical testing of their motion // Science of the Total Environment. 2017. Vol. 599-600. P. 560-571. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.185>


Zobkov M.B., Esakova E.E. Microplastics in Baltic Bottom Sediments: quantification procedures and first results // Marine Pollution Bulletin. 2014(2). P. 724-732. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X14308781>

Zobkov M.B., Esakova E.E. Evaluation of the Munich Plastic Sediment Separator efficiency in extraction of microplastics from natural marine bottom sediments // Limnology and Oceanography: Methods. 15.11. (2017). 867-878. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/lom3.10217/full>

Zobkov M.B., Esakova E.E., Zyubin A.Y., Samarin I.G. Microplastic content variation in water column: the observations with novel sampling tool in stratified Baltic Sea // Mar. Pollut. Bull. 2019. Vol. 138. P. 193-205. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.047>

<http://lampo.ocean.ru/index.php/2016/11/18/samples-map>

## Лабораторные эксперименты 2. Разрушение пластика в прибойной зоне моря до размера МП



а-г) Экспериментальная установка: лабораторный «миксер» стандарт

Входные материалы: LDPE (D900), PS solid (2000), PE (2000), PS foam (500)

Осадки: порода, песок, гравий, ракушки, раковины

24 ч

Фрагменты разрушенного в миксере пластика

5,0 мм, 4,5 мм, 4,0 мм, 3,5 мм, 3,0 мм, 2,5 мм

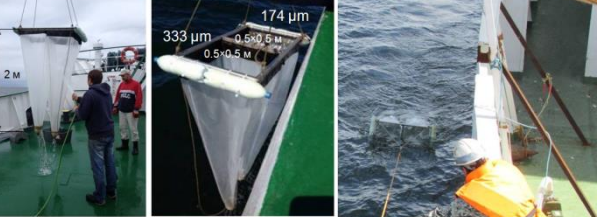
4,5 мм, 3,0 мм, 1,5 мм, 0,5 мм

Схема проведения лабораторного эксперимента

Elmova I., Bagarina M., Bagariy A., Klenov A. and Chubarenko I. Secondary Microplastics Generation in the Sea Swath Zone With Coarse Bottom Sediments: Laboratory Experiments // Front. Mar. Sci. 2018. Vol. 5. Article 213. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00213/full>

Едвардс И., Чубаренко И. Фрагментация пластикового мусора в прибойной зоне моря: лабораторный эксперимент на примере пенополистирола // Иск. Соед. - инт. Науч. журн. Серия: Науки о Земле. 2018. Т. 18. Вып. 1. С. 10-13. <https://doi.org/10.18500/1819-7963-2018-18-1-10-13>

## Экспедиционная деятельность 4. Отбор с поверхности воды: нейстонная сеть (MANTA Trawl)




2 м

333 μm, 174 μm, 0,5x0,5 м

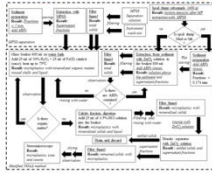
07/07/2017 14:16

## Материалы и методы 2. Сепаратор МП из донных осадков: MPSS (модификация)



Munich Plastic Sediment Separator (MPSS)

Artificial reference particles (ARPs)



Алгоритм процесса экстракции МП

Примеры извлеченного МП

Zobkov M.B., Esakova E.E. Evaluation of the Munich Plastic Sediment Separator efficiency in extraction of microplastics from natural marine bottom sediments // Limnology and Oceanography: Methods. 2017. Vol. 15. P. 867-878. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/lom3.10217/full>

## Экспедиционная деятельность 2. Отбор проб морской воды из водной толщи: PLEX (Plastic Explorer)



PLEX - высокоэффективная пропускная фильтрующая установка, оснащенная фильтрующей сеткой, роторным насосом, впускным и выпускным шлангами (защита 2-3 м³ морской воды с различных горизонтов с поверхности (при слабой волнении - глубина 1 м), верхнего слоя - посередине между основным термоклимом и поверхностью; непосредственно над термоклимом, в области ядра ХТС, над пикноклимом, в нижнем слое (посередине между пикноклимом и дном), над дном)

Фильтры

Зобков М.Б.

Примеры извлеченных образцов МП

Zobkov M.B., Esakova E.E., Zyubin A.Y., Samarin I.G. Microplastic content variation in water column: The observations with novel sampling tool in stratified Baltic Sea // Mar. Pollut. Bull. 2019. Vol. 138. P. 193-205. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.047>

# Исследования АО ИО РАН в Балтийском море



ЛФМ АО ИОРАН

<http://lamp.ocean.ru/>

## Microplastics in macrophytes: per area and per kgDW

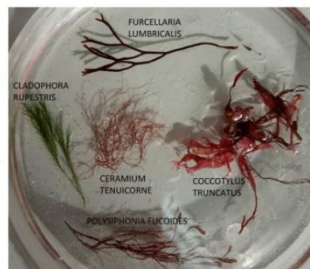
Mean  $\pm$  SD:

algae: 1245  $\pm$  931 items/m<sup>2</sup>

\*Compare: beach surface: 3235 items/m<sup>2</sup>.

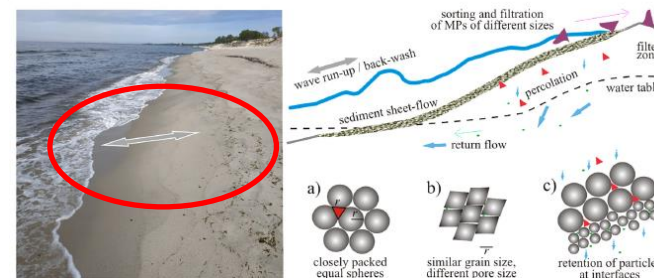
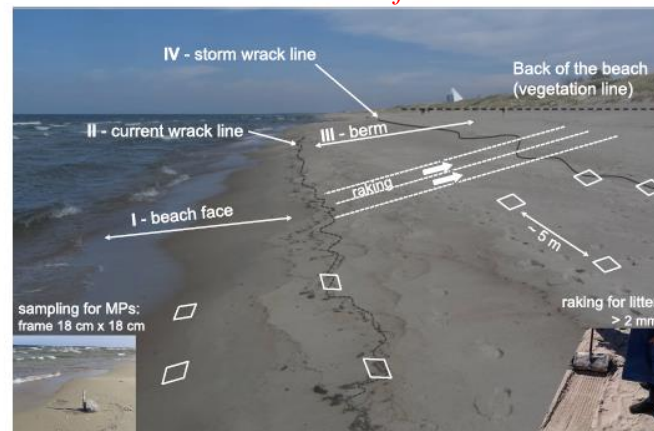
algae: 376  $\pm$  404 items/kgDW

\*Compare: beach sand: 108 items/kgDW.



11

## MPs at the shore face



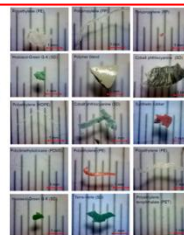
Mean (median) content of plastic items per m<sup>2</sup> is:

- 0.85 (0.33) for macro-litter (> 25 mm),
- 1.48 (0.40) for meso-litter (5–25 mm),
- 3.35 (0.68) for large microlitter (2–5 mm),
- 3235 (1800) for microplastics (0.5–5 mm).

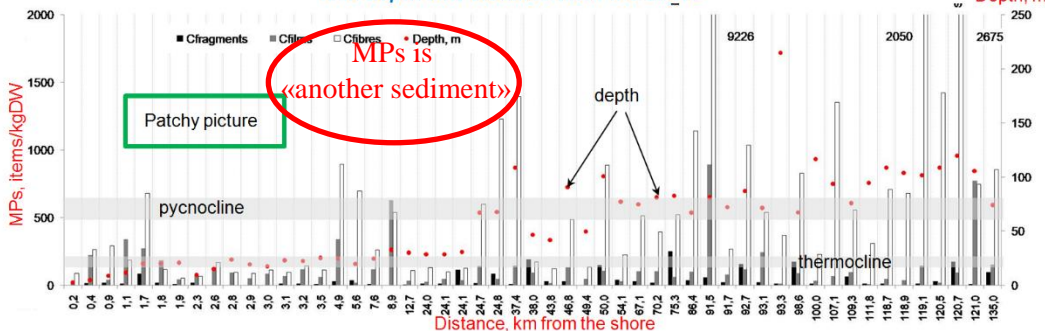
## The Baltic Sea bottom sediments

Sediments have a potential to accumulate marine debris (Browne et al., 2010, Claessens et al., 2011, Avio et al., 2015; Alomar et al., 2016...)

- In total: 8 expeditions, 53 locations, from 3 m to 215 m depth
- Sampling of the upper 2-7 cm of bottom sediments



Distribution of MPs (fragments, films, and fibres) content with depth and distance from the shore



## МП (0.5-5 мм) в разных средах Балтики: сравнение средних значений

		Кол-во проб	шт./л (дм <sup>3</sup> )	шт./кг	шт./м <sup>2</sup>
Вода:	Открытое море	95	0.40 ± 0.58	0.40 ± 0.58	-
	Рядом с зарослями макрофитов	24	1.4 ± 1.7	1.4 ± 1.7	-
	Внутри зарослей макрофитов	24	2.3 ± 2.2	2.3 ± 2.2	-
Осадки	Море (пески, глины, илы)	53	~ 1000	876 ± 1427	~ 50 000
	Пески пляжей	50 52 51	~ 160	КК 115 ± 61 ВК 108 ЮБ 68 ± 17	3155 ± 1308 - ~ 2800
	Пески прибойной зоны	12 14 175	~ 70	КК 53±36 ЮБ 30.4±13.7 год ВК 44±22	~ 1450 ~ 1250 ~ 1350
Водоросли		68	-	376 ± 404	1245 ± 931

... биоаккумуляция,

... биомагнификация

# *Бросы на Балтике*



Пластикового мусора ( $> 5 \text{ мм}$ )  
до  $100 \text{ шт./м}^2$

для сравнения:

в песке  $\sim 2 \text{ шт./м}^2 (> 5 \text{ мм})$

# Заключение: Открытые вопросы



- Повсеместное присутствие частиц МП подтверждено наблюдениями  
**Вопросы географические:** уровень загрязнения? важно кол-во или масса? распределения? методы? [изменчивость]
- Угрозы живым организмам и равновесию экосистем – есть  
**Вопросы биологические:** какие это угрозы? насколько они велики? какие виды уязвимы?
- За ~70 лет «пластиковой эры» МП достиг всех удалённых регионов Мирового океана.  
**Вопросы физические:** как? процессы, механизмы?
- Удалось успешно описать (=качественно воспроизвести в численной модели) перенос и накопление плавучего МП в центрах океанических круговоротов. Затронуты вопросы его убыли с поверхности, парусности, миграций в связи с ветро-волновым перемешиванием и дыханием фитопланктона.  
**Вопросы междисциплинарные:** а остальные 99% МП? свойства, процессы, механизмы переноса/накопления?

*Исследования МП глубоко междисциплинарны,  
причём многие вопросы ещё не сформулированы по сути*



*Спасибо*

*за внимание!*

