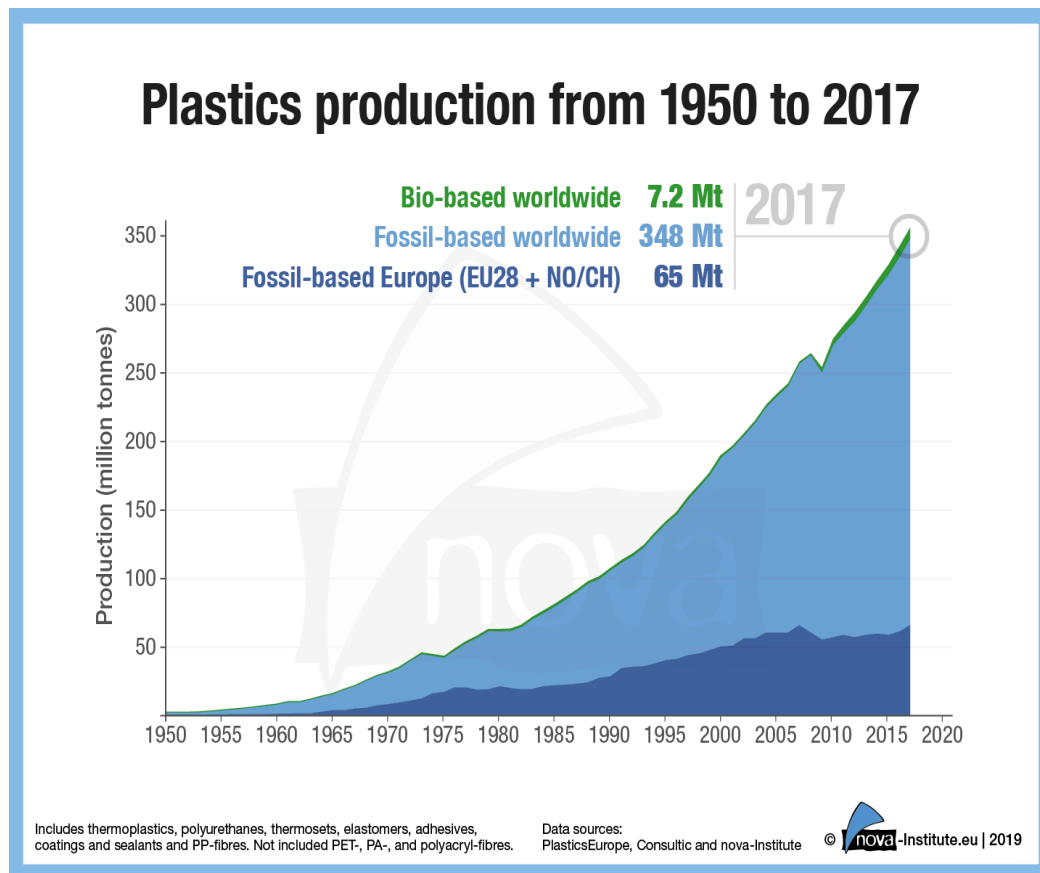


Результаты междисциплинарных исследований загрязнения акватории Онежского озера частицами микропластика

Зобков М.Б.¹, Калинин Н.М.¹, Ковалевский В.В.², Багаев А.В.³, Белкина Н.А.¹,
Кулик Н.В.¹, Зобкова М.В.¹, Ефремова Т.А.¹, Галахина Н.Е.¹, Ефременко Н.А.¹

1- ИВПС КарНЦ РАН Петрозаводск,
2- ИГ КарНЦ РАН, Петрозаводск,
3 - МГИ, Севастополь, Россия

Объемы выпуска пластика около 350 млн. т/год



Переработка

Европа – 70%

Мир – 20%

Россия – 4%

На настоящий момент произведено $6,3 \cdot 10^9$ тонн пластика.

Из них:

9% переработано

12% сожжено

79% захоронено на свалках или попало в окружающую среду.

Первые сообщения об обнаружении микропластика (МП), относятся к началу 70 гг. прошлого века

- Микропластик представляет собой очень неоднородную группу частиц.
- Они различаются по размеру, форме, цвету, плотности и могут состоять из широко круга синтетических полимеров, имеют размер < 5 мм.
- Существуют и нанопластики (частицы размером < 1 мкм), но наблюдать их в природе пока технически не возможно.



Микропластик (МП)

- Частицы полимеров размером менее 5 мм



Источники поступления МП в водные объекты



Цель проекта: оценить масштаб и возможные экологические последствия загрязнения водной среды микропластиком (на примере Онежского озера)

Задачи:

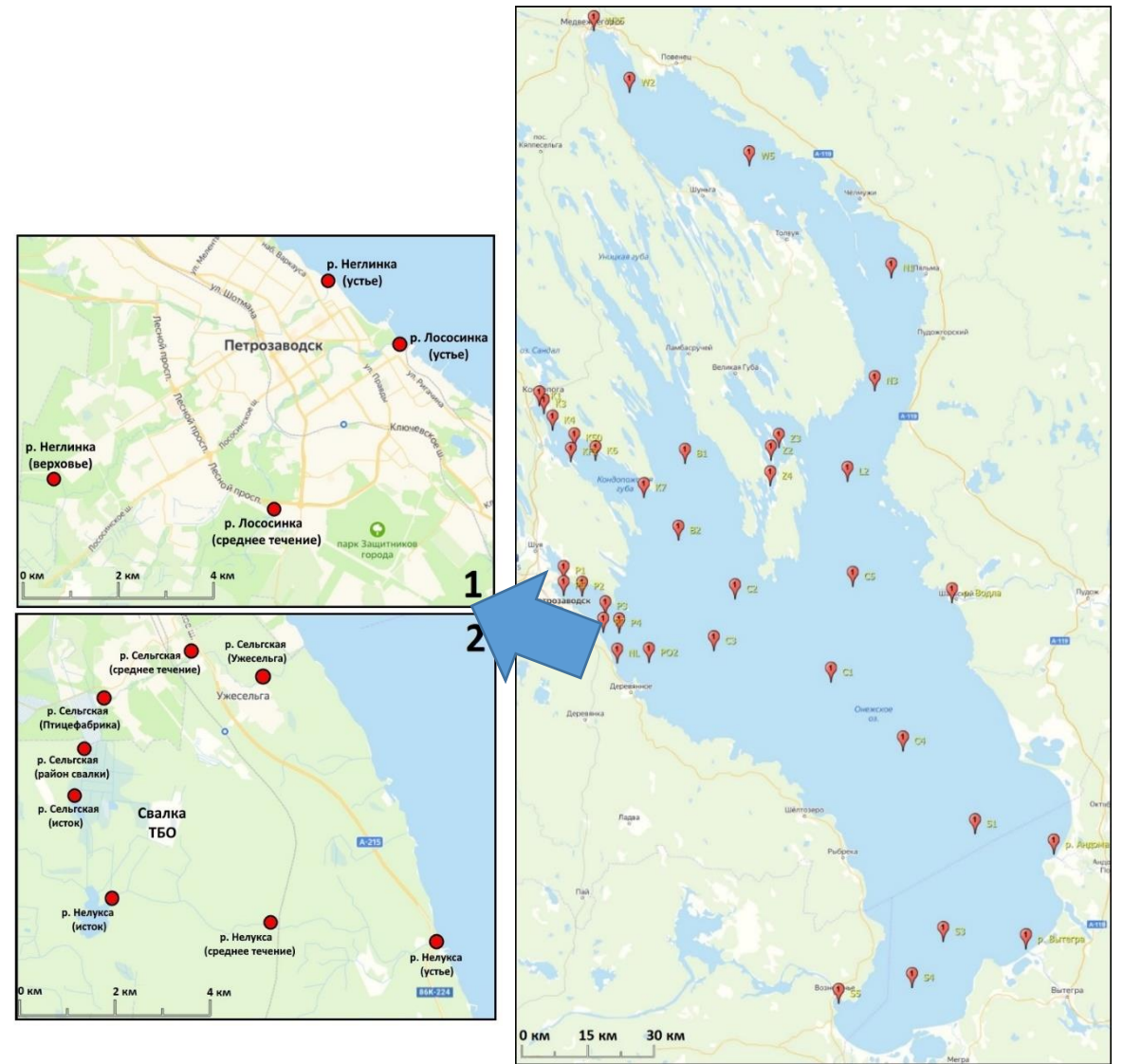
- 1). Оценить современное состояние Онежского озера и некоторых его притоков по химическим показателям
- 2). Определить степень загрязнения воды и донных осадков Онежского озера частицами микропластика (МП), определить основные источники поступления и зоны аккумуляции МП в озере.
- 3). Выявить закономерности во взаимодействии частиц МП с тяжелыми металлами (ТМ), возможность переноса ТМ с частицами МП.
- 4). Определить влияние МП на биоту Онежского озера на примере рачка-вселенца *Gmelinoides fasciatus* Stebbing
- 5). Выявить возможность транспорта ТМ с частицами МП в тела водных организмов

Методы исследования

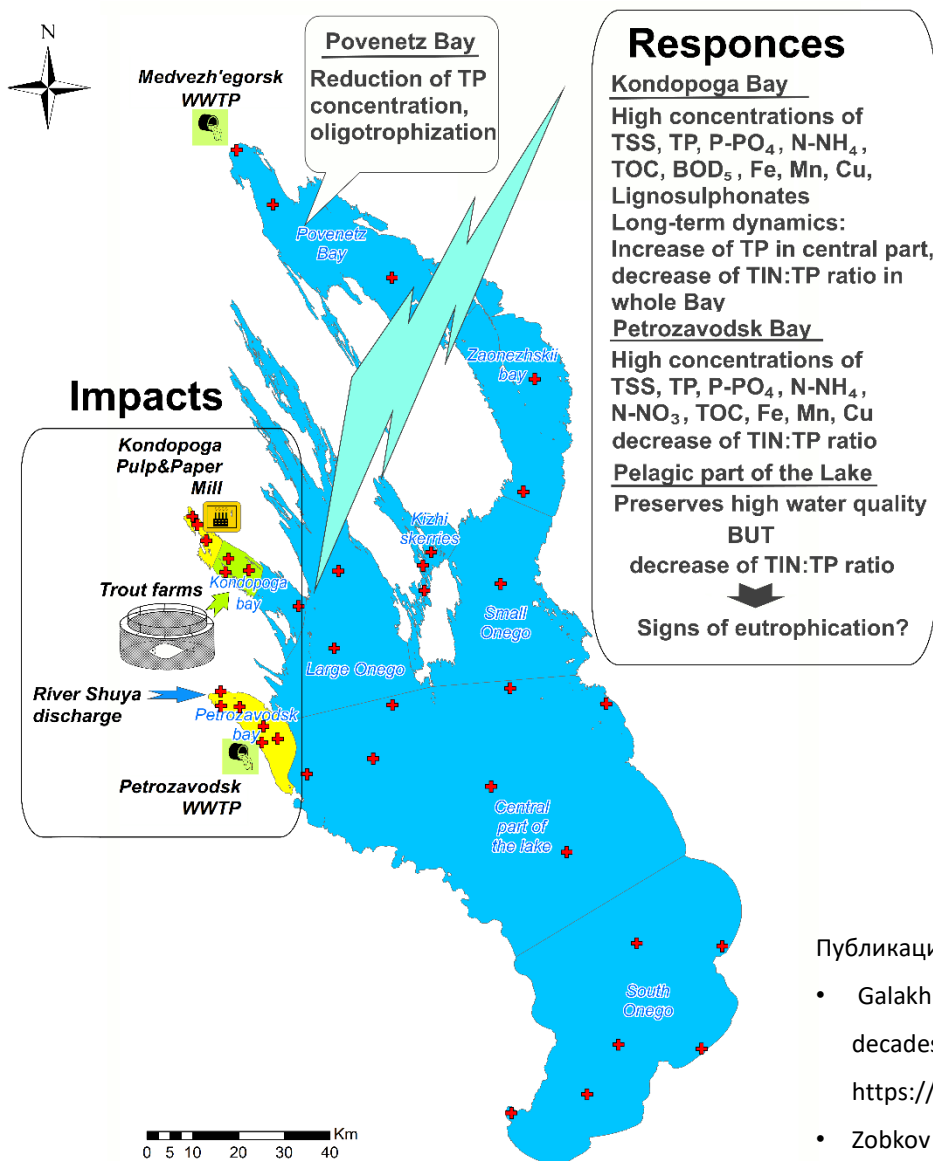
- Полевые исследования: отбор проб воды и донных осадков, определение химического состава воды и физико-химических свойств донных осадков, содержание микропластика
- Методические разработки: модернизация методик отбора и обработки проб воды и осадков на содержание МП; разработка методик фракционирования МП, сорбции ТМ, определения ТМ на частицах полимеров
- Инструментальный контроль и микроанализ: исследование частиц МП с применением Рамановской спектроскопии, ИК-Фурье спектрометрии, сканирующей электронной микроскопии (SEM-EDS) и 3D микроскопии для получения информации о химическом составе полимеров, морфологии их поверхности и содержании ТМ.
- Лабораторный сорбционный эксперимент: проведение экспериментов по сорбции ТМ частицами МП с определением кинетических характеристик процесса
- Лабораторный токсикологический эксперимент: оценка воздействия частиц МП на водные организмы и оценка воздействия ТМ, содержащихся на частицах МП на водные организмы
- Моделирование: разработка математической модели фрагментации частиц микропластика и их фильтрации на сетке

Объем работ

- В различные сезоны 2019-2021 гг. на Онежском озере и его притоках было проведено 13 экспедиций (общей продолжительностью 67 дней).
- На Онежском озере работы проводились с использованием научно-исследовательских судов «Эколог» и «Посейдон», зимой 2021 г. отбор проб вели со льда.
- Проведены детальные исследования на реках Нелукса и Сельгская, принимающих стоки фильтрационных вод полигонов захоронения твёрдых бытовых отходов (ТБО) и активных илов (АИ) станции биологической очистки г. Петрозаводска.
- На химический анализ отобрано 300 проб воды на комплекс показателей (до 32 показателей)
- На содержание МП в донных осадках – 36 станций
- В водном столбе и с поверхности воды на содержание МП – 439 проб



Современное состояние Онежского озера по химическим показателям



- Пелагиаль Онежского озера (Центральная и Южная части, Заонежский залив, Большое и Малое Онего) сохраняет высокое качество воды, которое существенно не изменилось за последние несколько десятилетий.
- Основные источники загрязнения Онежского озера сосредоточены в крупных его заливах (Петрозаводская и Кондопожская губы), но благодаря разбавлению водных масс и трансформации химических веществ в открытой части озера их влияние не проявляется.
- Признаки евтрофирования воды пелагиали озера, а также Петрозаводской и Кондопожской губ, определяются по снижению соотношения $N_{\text{мин}}:P_{\text{общ}}$ за последние тридцать лет.
- Кондопожская губа является наиболее загрязненным районом озера, подверженным влиянию Кондопожского ЦБК и форелевых хозяйств. В центральной ее части, где расположены форелевые хозяйства, наблюдается тенденция увеличения содержания $P_{\text{общ}}$. Сток р. Суны способствует улучшению качества воды в вершине губы, одновременно усиливая перенос загрязняющих веществ в открытую часть озера.
- В Повенецком заливе по сравнению с предыдущими исследованиями наблюдаются процессы олиготрофизации.

Публикации:

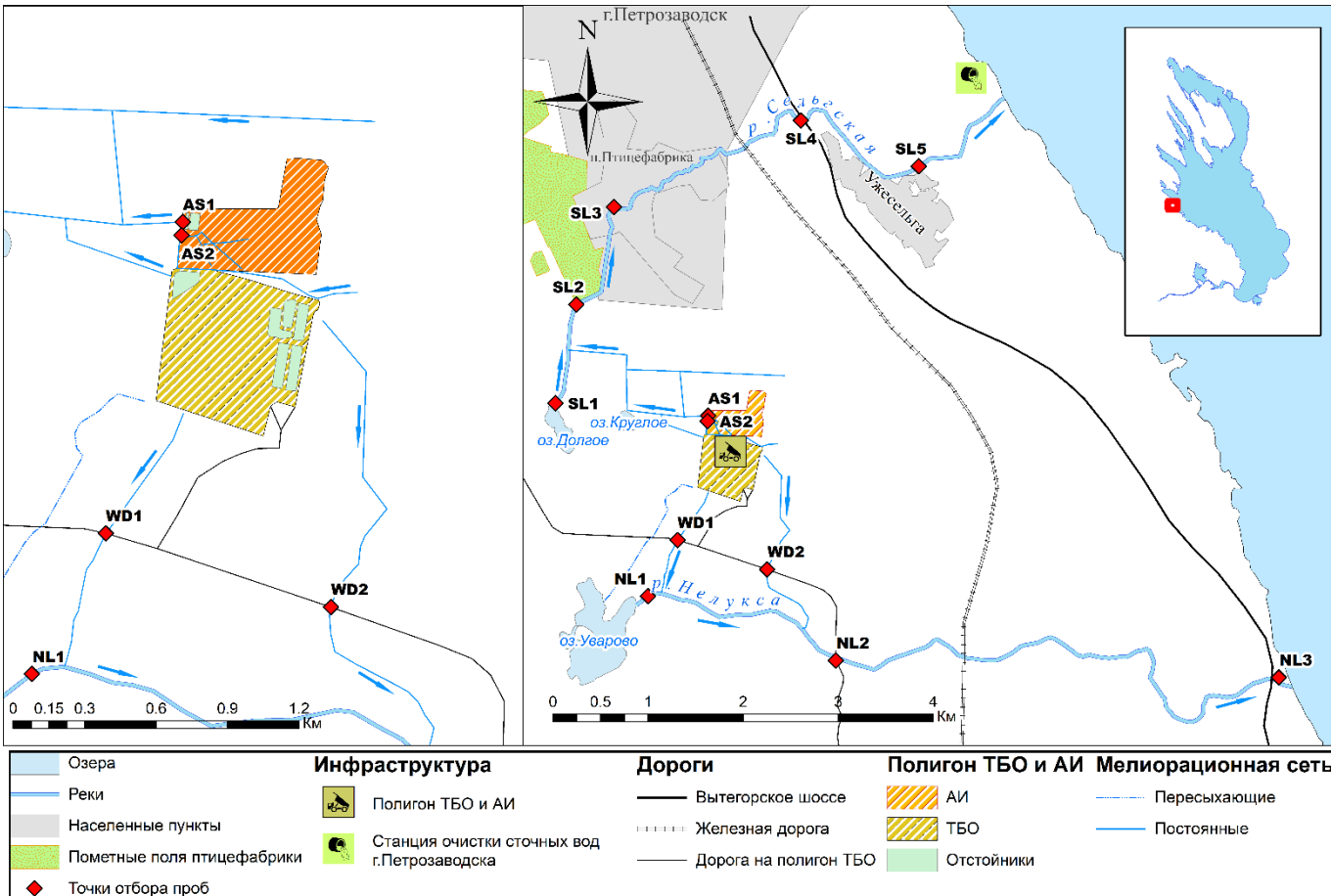
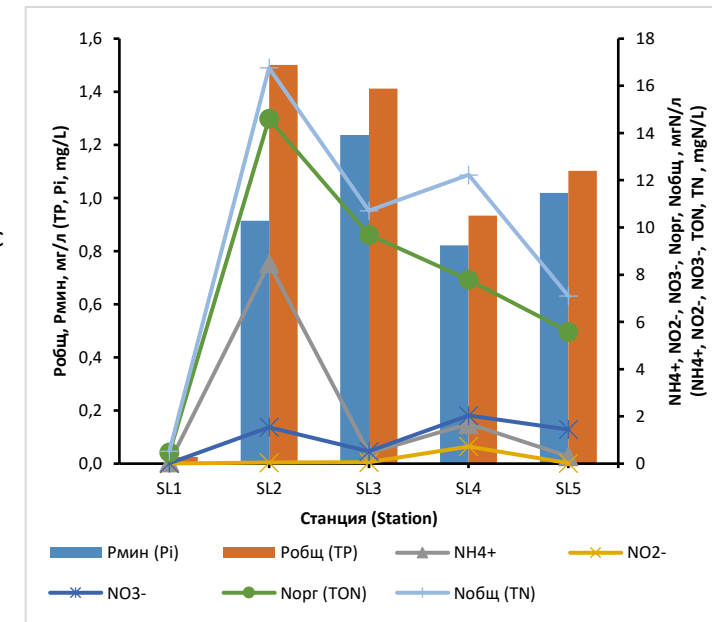
- Galakhina, N., Zobkov, M., & Zobkova, M. (2022). Current chemistry of Lake Onego and its spatial and temporal changes for the last three decades with special reference to nutrient concentrations. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 17, 100619. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100619>
- Zobkov M., Zobkova M., Galakhina N., Efremova T., Efremenko N., Kulik N. (2022) Data on the chemical composition of Lake Onego water in 2019-2021. *Data in Brief*. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2022.108079>

Вынос органических и биогенных веществ с территории полигона ТБО и АИ г. Петрозаводска

Определены компоненты-маркеры полигонов:

- АИ: по минеральному составу (Na , K , Ca , Mg , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-), ОВ (БПК₅, ЦВ, ХПК, ПО, $\text{C}_{\text{орг}}$), БЭ ($\text{P}_{\text{общ}}$, $\text{P}_{\text{мин}}$, NH_4^+ , NO_2^- , $\text{N}_{\text{общ}}$, $\text{N}_{\text{орг}}$), газовому составу (CO_2 , O_2), тяжелым металлам (Mn , Cr , Co , Zn , Ni , Cu), а также электропроводности, взвешенному веществу, pH, фенолам и СПАВ.
- ТБО: Na , Cl^- , pH, HCO_3^- , CO_2 , O_2 , NO_3^- , $\text{Fe}_{\text{общ}}$, Mn

На основе водного баланса определен объем эмиссии этих химических веществ с полигонов в Онежское озеро. Существенный вклад в вынос биогенных и органических веществ в Онежское озеро с водами р. Сельгской вносят пометные поля бывшей птицефабрики. Вынос $\text{P}_{\text{мин}}$ с р. Сельгской составляет 6,4 т/год по Робщ 6,9 т/год. На долю полигона АИ приходится только 75 кг $\text{P}_{\text{мин}}$ и 100 кг Робщ фосфора/год



Микропластик в донных осадках Онежского озера

- Определен уровень загрязнения воды и донных осадков Онежского озера микропластиком.

Максимальное содержание МП наблюдается

- В устьях крупных рек, впадающих в заливы (р. Шуя и р. Суна)
- В Петрозаводской губе Онежского озера
- Кондопожской губе Онежского озера
- В открытой части озера (зоне осадконакопления)
- В Кижских шхерах

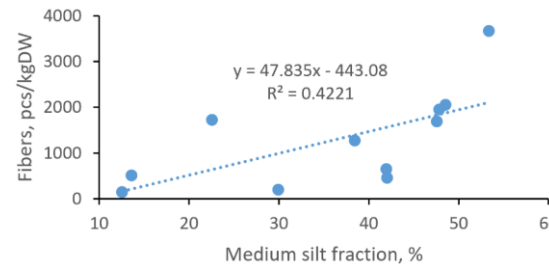
Особенно высокое содержание МП обнаружено в вершинной части Кондопожской губы, в зоне влияния Кондопожского ЦБК

Минимальное содержание

Повенецкий залив, Большое Онего

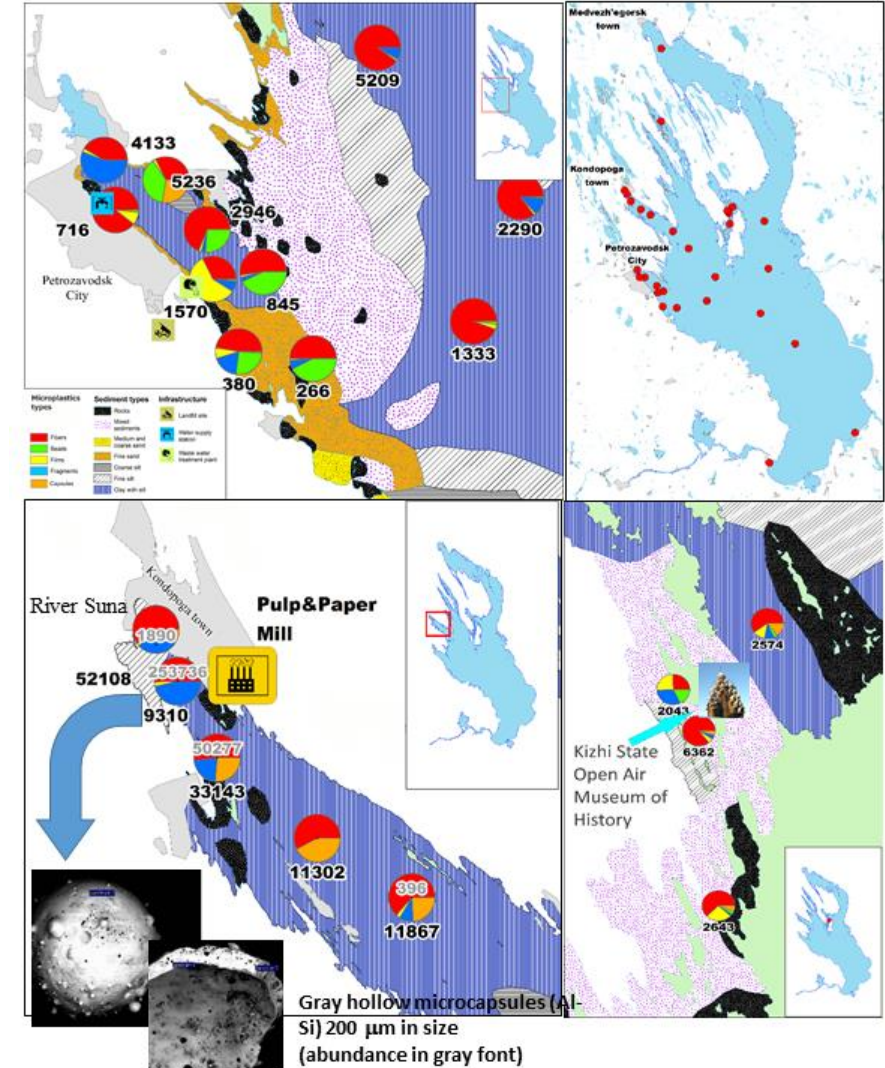
В среднем содержание МП в донных осадках озера составляет 6667.10 ± 4326.8 шт/кг сухого осадка

- Волокна доминируют над другими типами МП ($65 \pm 8\%$).
- Волокна аккумулируются совместно с алевритовыми фракциями ($0,01-0,05$ мм) в зонах осадконакопления
- В среднем содержание МП в донных осадках озера как минимум в 2 раза превышает наблюдаемое нами ранее в Балтийском море (Esiukova et al, 2020).



Химический анализ частиц показал, что ДО в основном присутствуют полимеры, чья плотность выше плотности воды: поликарбонат, тефлон, ПЭТ, полиуретан, ПВХ, полистирол и др., что говорит о преимущественной аккумуляции тяжелых полимеров в донных осадках озера.

Содержание микропластика в донных осадках некоторых районов Онежского озера



Публикации:

- Zobkov, M., Zobkova, M., Galakhina, N., & Efremova, T. (2020). Method for microplastics extraction from Lake sediments. *MethodsX*, 7, 101140. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2020.101140>
- Zobkov, M., Belkina, N., Kovalevski, V., Zobkova, M., Efremova, T., & Galakhina, N. (2020). Microplastic abundance and accumulation behavior in Lake Onego sediments: a journey from the river mouth to pelagic waters of the large boreal lake. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5), 104367. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104367>
- Зобков М.Б., Чубаренко И.П., Есюкова Е.Е., Белкина Н.А., Ковалевский В.В., Зобкова М.В., Ефремова Т.А., Галахина Н.Е. Озёра как аккумуляторы микропластика на его пути с суши в Мировой океан. Обзор исследований // *Известия РГО*. – 2021. –Т. 153(4) – С. 68-86 <https://dx.doi.org/10.31857/s0869607121040054> (Ядро РИНЦ, IF 0.551).
- Esiukova E., Zobkov M., Chubarenko I. Data on microplastic contamination of the Baltic Sea bottom sediment samples in 2015-2016 // *Data in brief*. 2020. Vol. 28. 104887. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104887>

Микропластик в воде Онежского озера

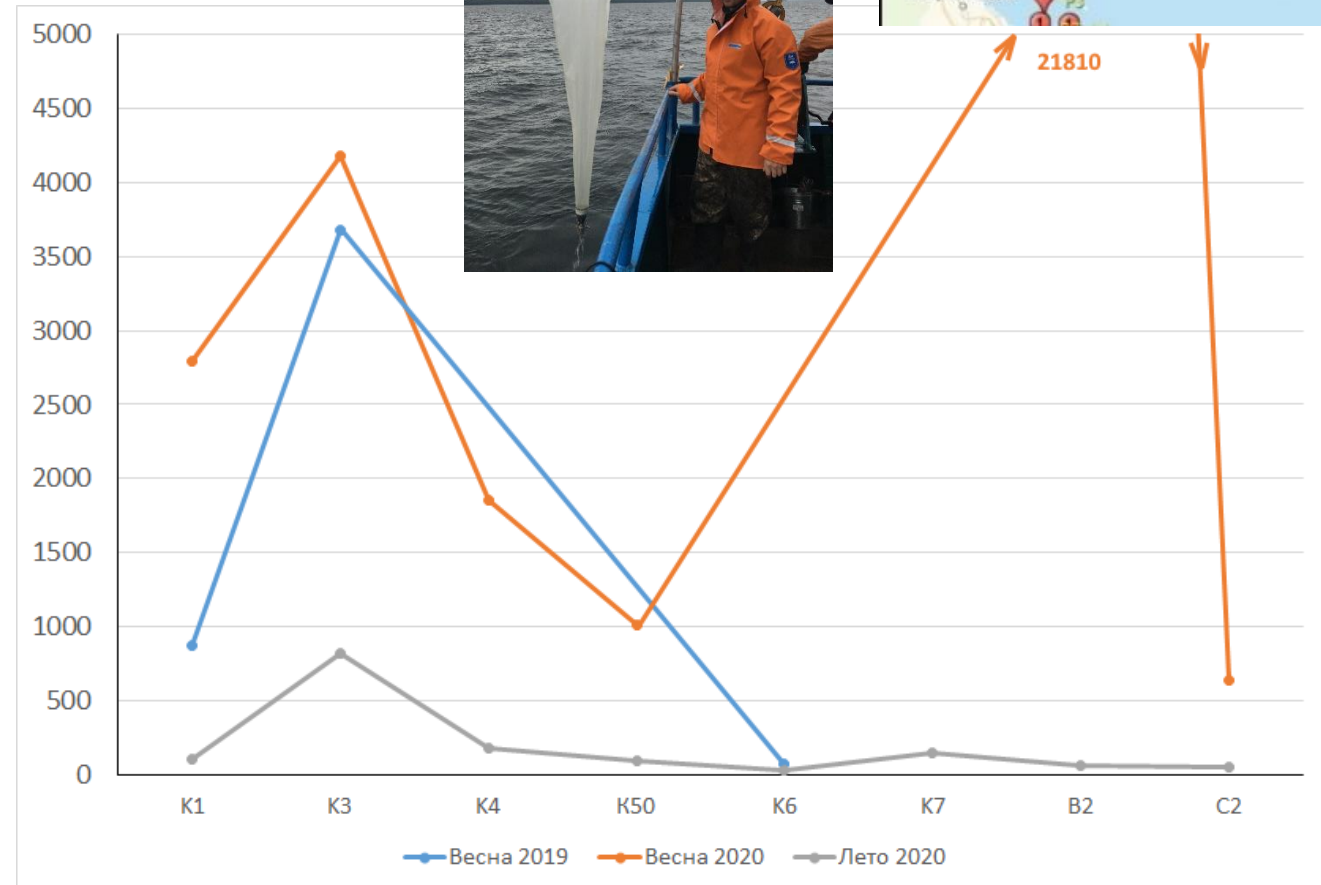
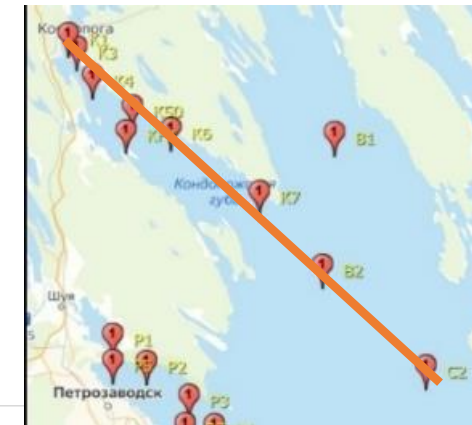
Во всех пробах преобладали волокна, в среднем их содержание составило 99% от общего содержания МП

Максимальные содержания как правило наблюдались весной.

В Кондопожской губе наибольшие содержания МП во все сезоны обнаружены на станции К3.

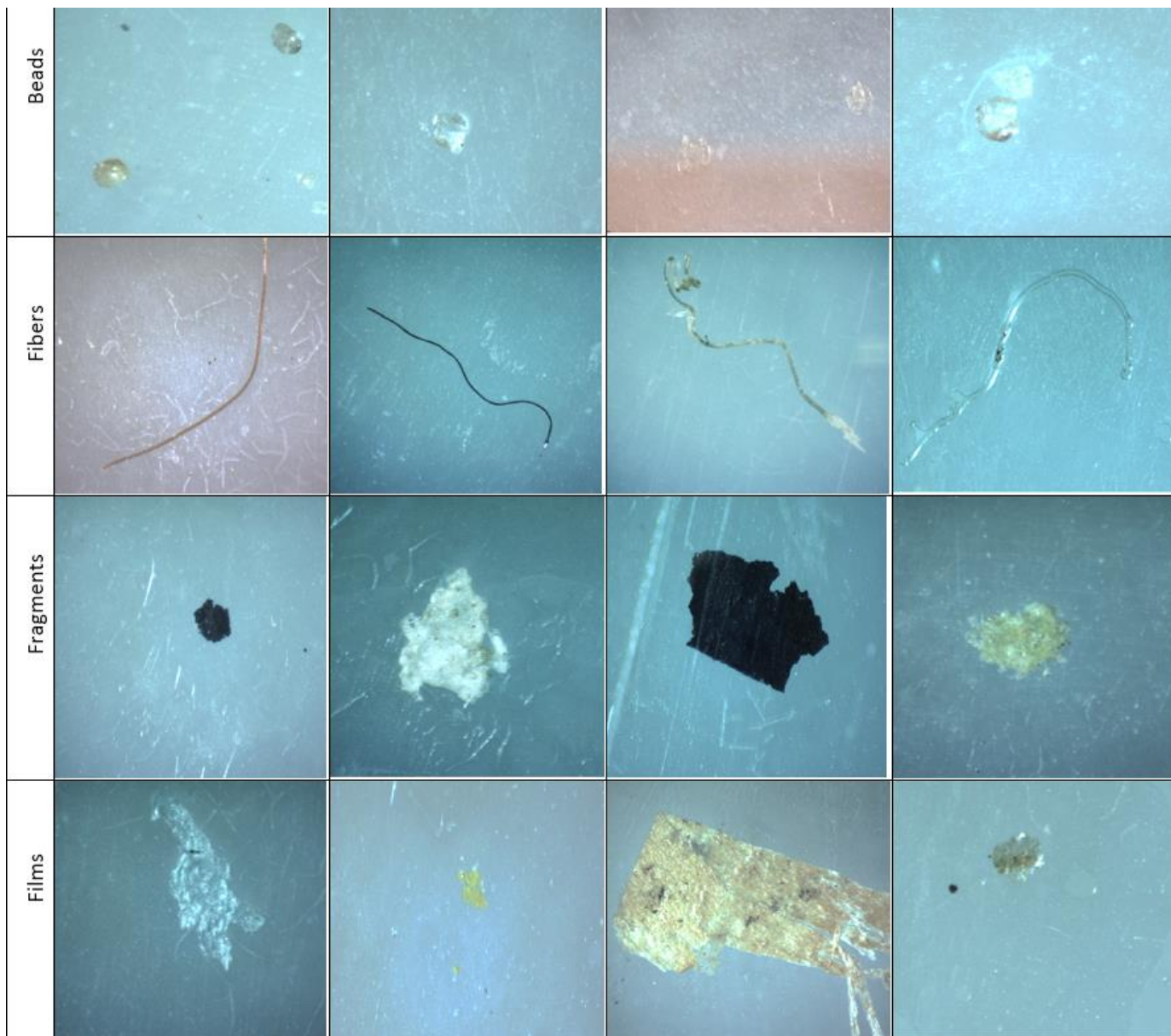
При этом экстремально высокое содержание обнаружено было на станции В2 (Большое Онего) весной 2020 г. Возможно такое распределение было связано с ранним прогревом и движением термобара в открытую часть озера.

В целом распределение МП в водном столбе соответствует тенденциям, наблюдаемым в донных осадках этого района.



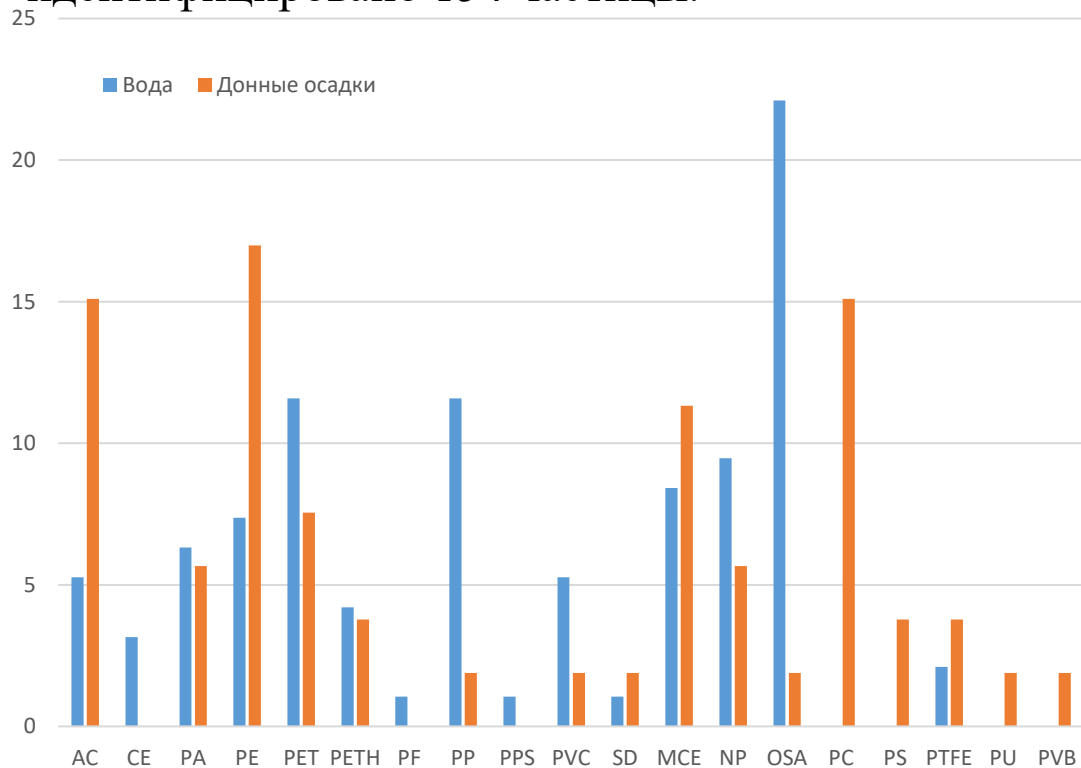
Распределение волокон в водном столбе Онежского озера по разрезу К1-В2 в различные сезоны.

Примеры частиц ПМ, обнаруженных в Онежском озере



Химический состав частиц МП

С помощью рамановской спектроскопии и ИК-Фурье спектрометрии исследовано 194 образца. Успешно идентифицировано 154 частицы.

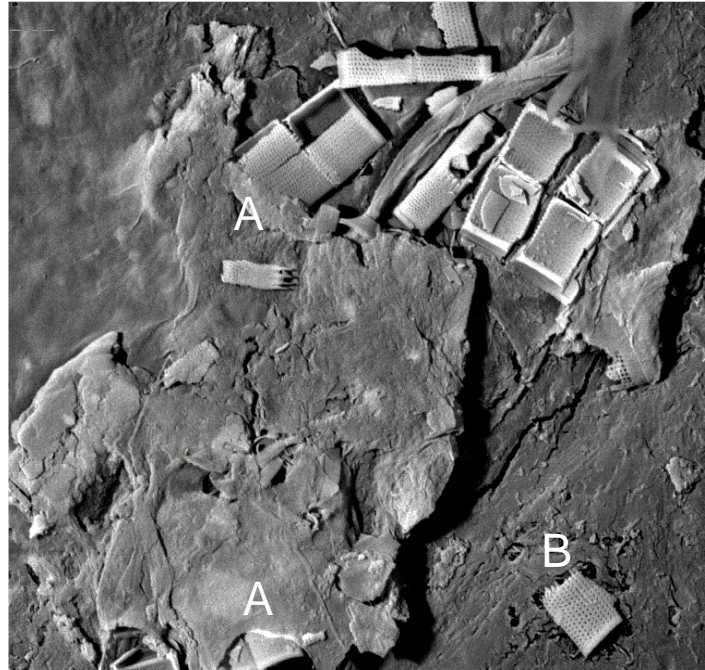
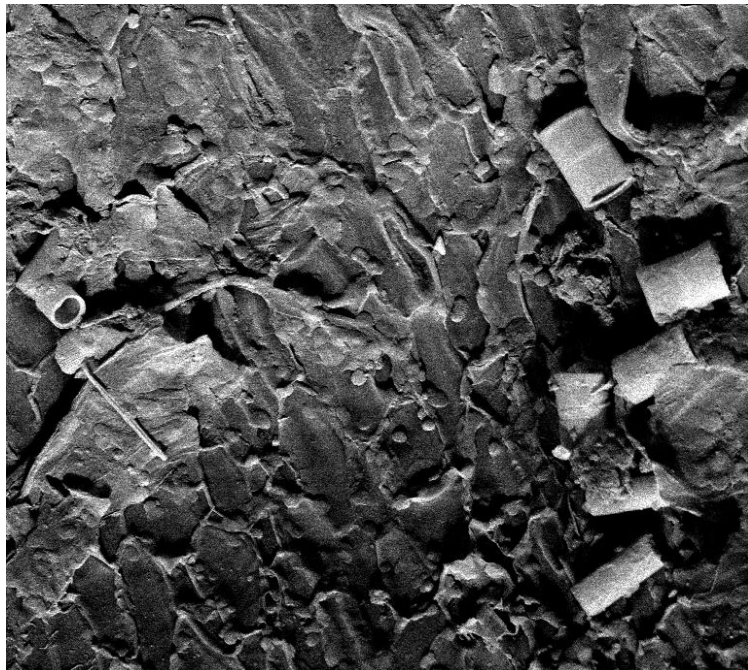


- PE - полиэтилен и его сополимеры
- PET – полиэтилентерефталат
- PP - полипропилен и его сополимеры
- PVC - поливинилхлорид и его сополимеры
- PS – полистирол
- PA – полиамид
- PU – полиуретан
- PC – поликарбонат
- AC – акрил
- PTFE - политетрафторэтил и другие фторопласты
- PVB – поливинилбутираль,
- OFBP - другие нефтяные полимеры
- SD - синтетические красители
- SA - другие синтетические добавки
- EPX - эпоксидные смолы, краски и клеи на их основе
- PETH - алкидные (полиэфирные) смолы, краски и клеи на их основе
- UF - карбамидо-формальдегидные смолы
- PF - фенол-формальдегидные смолы
- MCE - модифицированная целлюлоза
- CE – целлюлоза
- NP - другие органические материалы природного происхождения
- MR - минеральные частицы.

Донные осадки: наиболее распространён PE. При этом на полимеры с плотностью выше воды приходится 72% (PC, PET, AC, PS и др.)

Водный столб: наиболее распространены PP и PET. Доля PE существенно ниже, чем в осадках

Характеристика полимеров из водной среды с помощью SEM-EDS

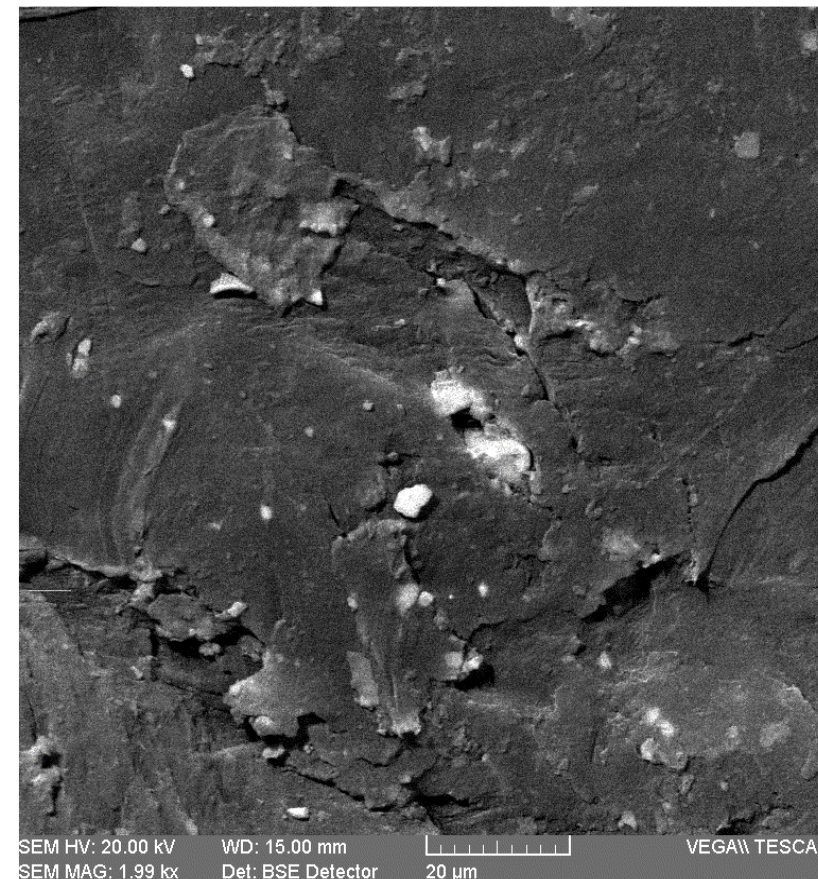


Практически на всех исследованных частицах полимеров наблюдаются минеральные включения, содержащие различные тяжелые элементы.

На некоторых частицах, найденных в водном столбе, присутствуют диатомовые водоросли, способствующие дальнейшему разрушению частиц МП.

На поверхности волокон и частиц полипропилена, полиакрилонитрила, нейлона 6, и др., обнаружен широкий спектр тяжелых металлов, таких как, Fe, Cr, Ni, Mn, Zn, Sn, Pb.

Эти процессы, с одной стороны, способствуют дальнейшей деградации частиц МП и их переносу на большие расстояния, с другой - увеличению удельной плотности частиц и их захоронению в донных осадках.



Выявлен новый тип деструкции МП

- Минералогическая деструкция

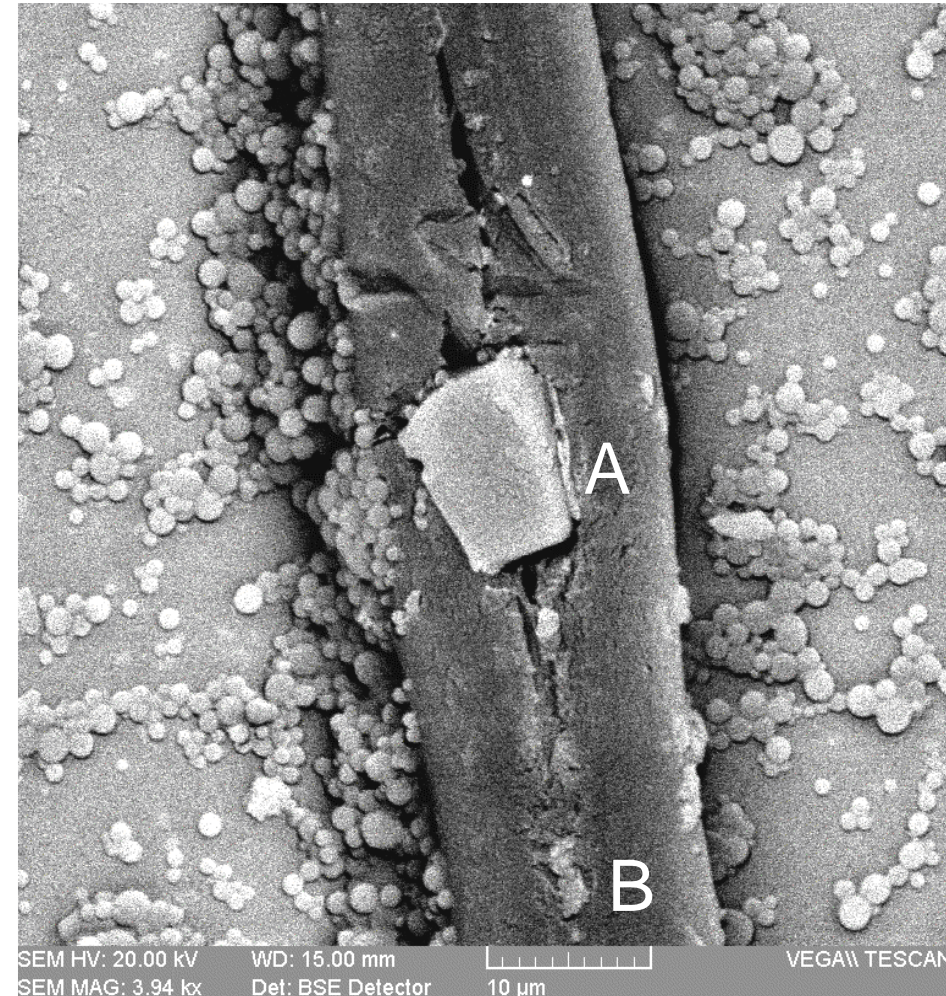
Проходит путем кристаллизации минералов с образованием минеральных зерен и агрегатов

Деградация волокна определяется наличием большого количества трещин и разрывов, к которым приурочены многочисленные включения от долей микрона с бесформенной морфологией до 10 мкм с хорошо развитой огранкой, свидетельствующей об их кристаллическом состоянии.

Кристалл в области А не мог принадлежать волокну изначально (например, в качестве красителя), поскольку видно, что он разрывает волокно с образованием трещин.

Аналогичная картина не является единичной, она наблюдалась нами на ряде других образцов МП как из водного столба, так и донных отложений.

EDS - анализ показал однотипный состав всех обнаруженных включений с обязательным содержанием С, О, Na, Al, Si и Са

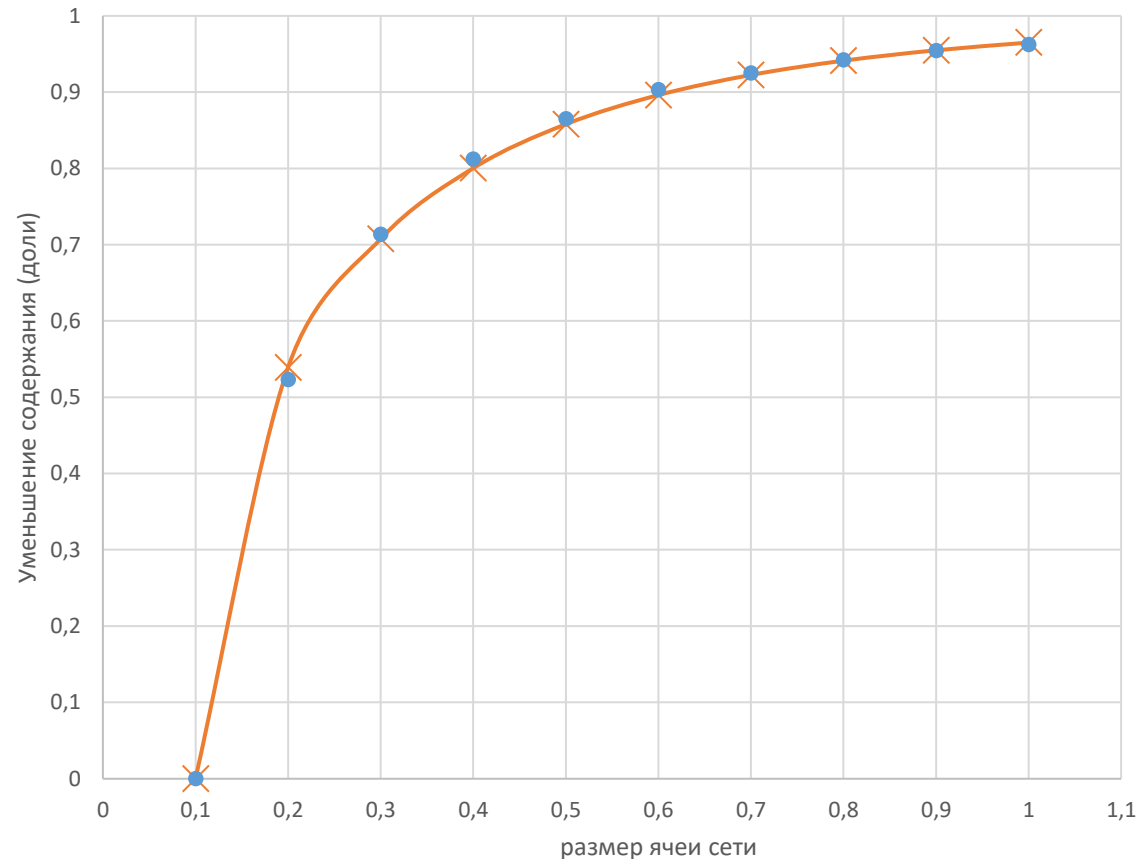


Моделирование процесса разрушения МП и его фильтрации на сетке

- Отбор проб МП – один из наиболее критичных этапов анализа.
- Количество МП увеличивается экспоненциально с уменьшением размера частиц.
- Это делает невозможным сравнение результатов, полученных с применением сетей различного размера.

Нами разработана совместная стохастическая математическая модель разрушения и фильтрации частиц микропластика на сетке.

Модель позволяет получать набор 3-х мерных частиц МП, а затем моделировать их прохождение через сетку заданного размера.



Потери микропластика при изменении ячеек сетки от 0,1 (считается за 1) до 1,0 мм согласно разработанной модели. Синие круги – экспериментальные точки, полученные по модели; Оранжевая линия – результат интерполяции аналитической зависимостью.

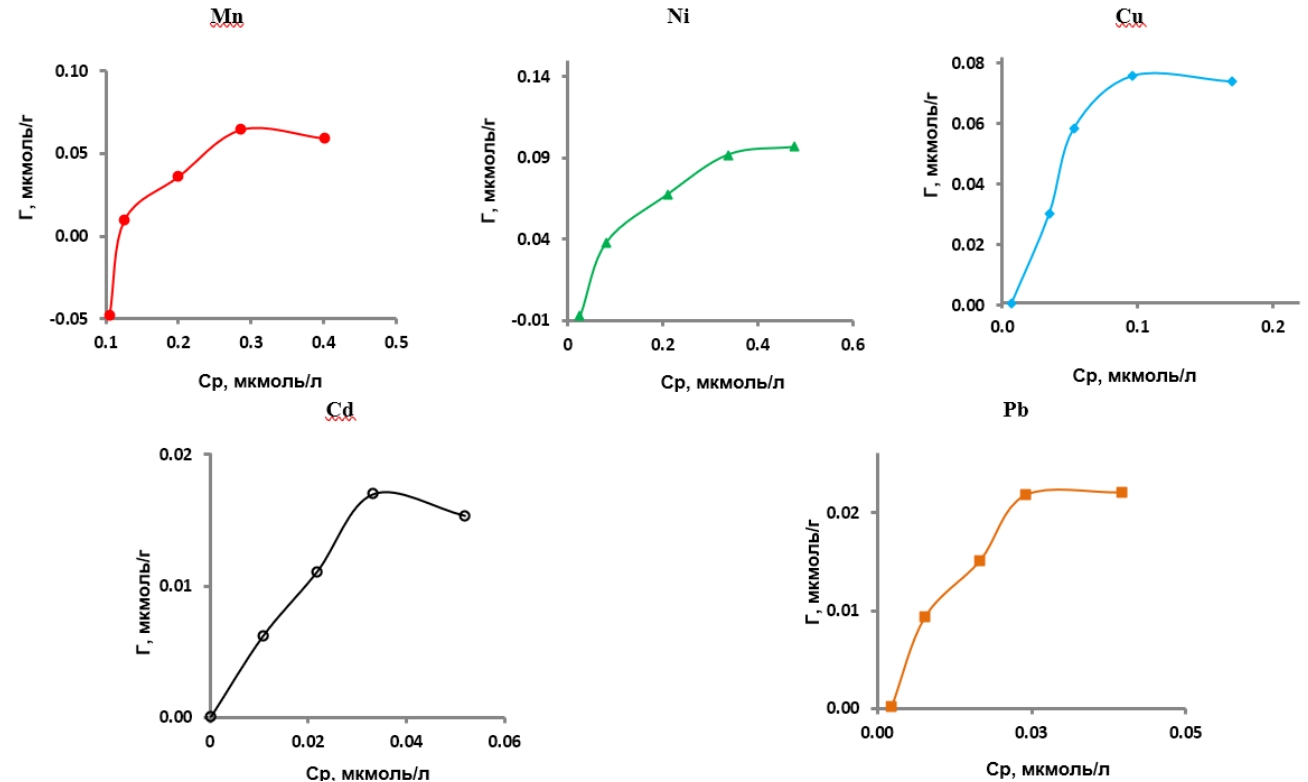
Сорбционная способность МП по отношению к ТМ

Предварительные эксперименты с красителями метиленовый синий и метиленовый желтый показали наличие на поверхности МП заряженных центров, способных сорбировать тяжелые металлы.

Были проведены эксперименты по сорбции ТМ (Cu, Zn, Pb, Cr, Ni, Fe) частицами различных полимеров.

Выявлено, что на сорбционные свойства МП влияют: тип полимера, степень деструкции (развитость поверхности), присутствие гумусовых соединений в воде.

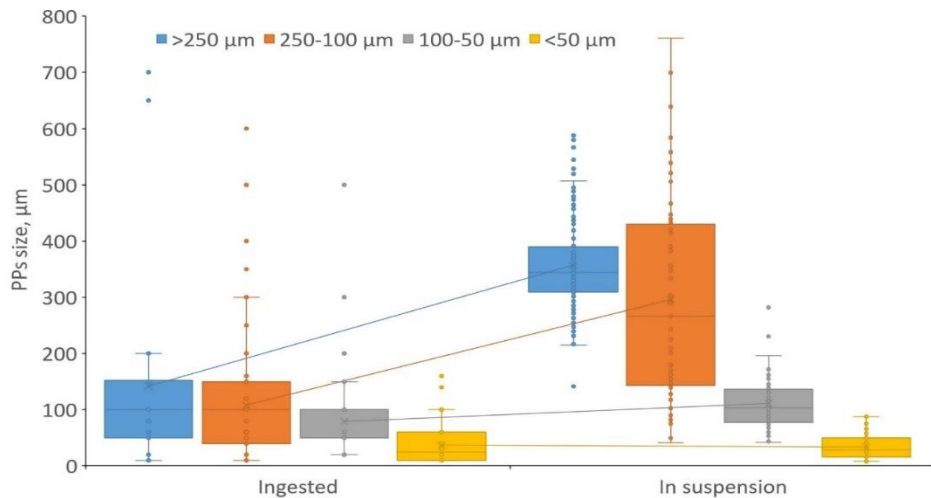
Построены изотермы сорбции для Mn, Ni, Cu, Cd и Pb. Определены предельная мономолекулярная адсорбция Γ_{∞} (ёмкость монослоя), константа адсорбционного равновесия, характеризующая энергию взаимодействия адсорбата с адсорбентом, величина адсорбции при равновесной концентрации адсорбата и степень приближения изотермы к прямой.



Экспериментальные изотермы адсорбции металлов на поверхности ПЭТ(время экспозиции 24 часа)

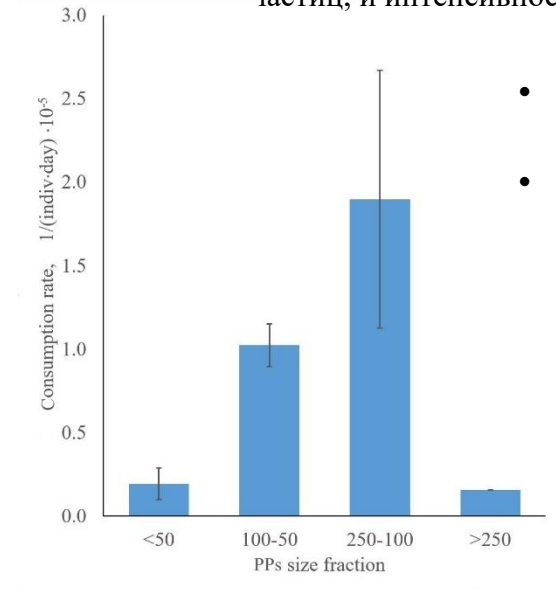
Влияние частиц МП на биоту Онежского озера

- Тест-объект - представитель амфипод - вселенец в Онежское озеро из оз. Байкал – *Gmelinoides fasciatus* Stebbing.
- Вид успешно акклиматизировался на литорали Онежского озера за 30 лет после вселения и в настоящее время выполняет ключевую роль в формировании продуктивности озера и в процессах самоочищения его литорали.
- Проведен эксперимент по выявлению возможности поглощения частиц МП рачком *G. fasciatus* и определена скорость поглощения частиц.
- Использовались частицы ABS-пластика, искусственно измельченные) четырех классов размеров (<50; 50-100; 100-250;> 250 мкм).



Зависимость между размером частиц, съеденных рачками *G. Fasciatus* в эксперименте, и размером частиц, присутствовавших в воде (PPs – polymer particles).

Зависимость между размерными классами частиц, и интенсивностью их поглощения



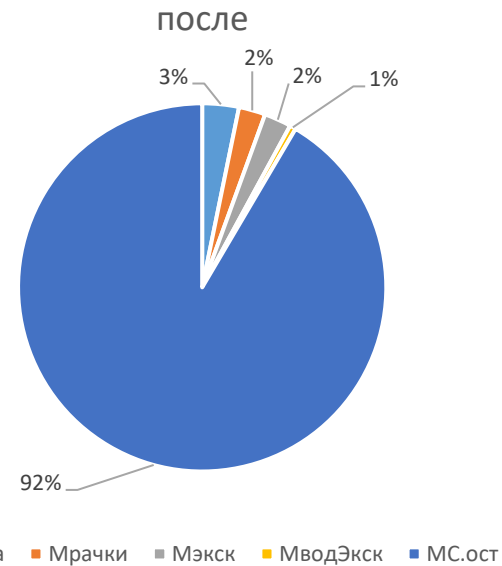
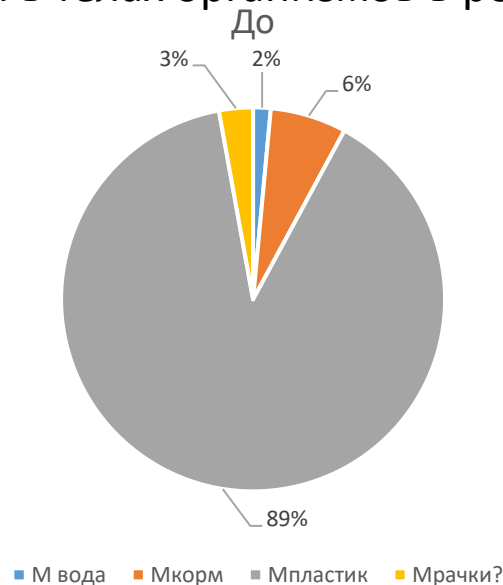
- Средний размер проглоченных частиц составил 100 ± 5 мкм.
- При сопоставлении количества проглоченных частиц рачками *G. fasciatus* и концентрации частиц в тестируемой среде была рассчитана максимальная скорость поглощения частиц микропластика: 2×10^{-5} частиц МП/(экз. · сут).

- При учете максимальной концентрации фрагментов МП, обнаруженной в литоральной зоне Онежского озера (устье р. Шуя) и интенсивности поедания в эксперименте, негативное влияние фрагментов МП на биоту Онежского озера маловероятно.
- Влияние волокон, как наиболее распространенного типа МП, требует дальнейшего изучения.

Kalinkina N.M., Zobkov M.B., Zobkova M.V., Galakhina N.E. (2022) Assessment of the microplastics size range and ingestion intensity by *Gmelinoides fasciatus* Stebbing, an invasive species of Lake Onego. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 41. 1. 184-192
<https://doi.org/10.1002/etc.5257>

Передача ТМ с частицами МП в тела водных организмов в процессе питания

- Проведен эксперимент с фракцией полистирола 70-100 мкм (наиболее активно потребляемая фракция в первом эксперименте).
- На поверхность частиц с помощью разработанной в проекте методики были сорбированы тяжелые металлы (Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Cd и Pb), концентрация металлов была измерена с помощью ICP-MS.
- МП с сорбированными металлами присутствовали в суспензии в концентрации 50 и 100 мг/л.
- Выживаемость рачков в конце опыта была высокая – 92–97% (в контроле – 84%).
- Корм, ткани рачков, фекальные пелеты и вода анализировались после проведения эксперимента с помощью ICP-MS.
- Накопления ТМ в телах организмов в результате краткосрочного эксперимента (5 суток) не зафиксировано.



Содержание Pb в различных экспериментальных средах до и после эксперимента

Спасибо за внимание!



Публикации

6 статей WoS/Scopus, из них 3 Q1 WoS/Scopus, 2 раздела монографии

1. Белкина Н.А. Микропластик в водах суши. Донные отложения. // Микропластик в окружающей среде: нарастающая проблема планетарного масштаба. 2019. Изд-во ЛЕНАНД. Москва. под.ред. Казмирук В.Д. с. 224-235
2. Кулик Н.В. Взаимодействие микропластика с другими загрязнителями. Тяжелые металлы. // Микропластик в окружающей среде: нарастающая проблема планетарного масштаба. 2019. Изд-во ЛЕНАНД. Москва. под.ред. Казмирук В.Д. с.182-187
3. Белкина Н.А., Кулик Н.В. (Belkina N.A., Kulik N.V.) Современные донные отложения Петрозаводской губы Онежского озера Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral» № 1. 2020. с. 84-97. <https://doi.org/10.24411/2658-3569-2020-10003> (2020 г.) РИНЦ
4. Ефременко Н.А., Страховенко В.Д., Кулик Н.В., Белкина Н.А. (Efremenko N.A., Strakhovenko V.D., Kulik N.V., Belkina N.A.) Особенности распределения металлов (Fe, Mn, Al, Cu, Zn и Cr) в водной взвеси Онежского озера Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами : материалы четвертой Всерос. конф. с международ. участием (17-20 августа 2020 г., г. Улан-Удэ) Изд-во БНЦ СО РАН. – С. 147-150. <https://doi.org/10.31554/978-5-7925-0584-1-2020-147-150> (2020 г.) РИНЦ
5. **Зобков М.Б., Белкина Н.А., Ковалевский В.В., Зобкова М.В., Ефремова Т.А., Галахина Н.Е. (Zobkov M., Belkina N., Kovalevski V., Zobkova M., Efremova T., Galakhina N.) Microplastic abundance and accumulation behavior in Lake Onego sediments: a journey from the river mouth to pelagic waters of the large boreal lake Journal of Environmental Chemical Engineering Volume 8, Issue 5, October 2020, 104367 <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104367> (2020 г.) WOS SCOPUS РИНЦ Q1**
6. **Зобков М.Б., Зобкова М.В., Галахина Н.Е., Ефремова Т.А. (Zobkov M., Zobkova M., Galakhina N., Efremova T.) Method for microplastics extraction from Lake sediments MethodsX MethodsX Volume 7, 2020, 101140 <https://doi.org/10.1016/j.mex.2020.101140> (2020 г.) SCOPUS РИНЦ**
7. Зобкова М. В., Галахина Н. Е., Ефремова Т. А. (Zobkova M., Galakhina N., Efremova T.) Методика определения содержания микропластика в донных отложениях вод суши Водные ресурсы: изучение и управление (школа-практика). Материалы VI Международной конференции молодых ученых. г. Петрозаводск: КарНЦ РАН Водные ресурсы: изучение и управление (школа-практика). Материалы VI Международной конференции молодых ученых – г. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2020. С. 52-56. (2020 г.) РИНЦ
8. **Калинкина Н.М., Теканова Е.В., Коросов А.В., Зобков М.Б., Рыжаков А.В. (Kalinkina N., Tekanova E., Korosov A., Zobkov M., Ryzhakov A.) What is the extent of water brownification in Lake Onego, Russia? Journal of Great Lakes Research Volume 46, Issue 4, August 2020, Pages 850-861 <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2020.02.008> (2020 г.) SCOPUS РИНЦ**
9. Кулик Н.В., Ефременко Н.А., Ковалевский В.В., Рожкова В.С. (Kulik N.V., Efremenko N.A., Kovalesky V.V., Rozhkova V.S.) Presentation of preliminary results of an experiment on the sorption of metals on the surface of microplastic particles in the natural waters of Karelia Limnology and Freshwater Biology 2020 (4): 669-670 <https://doi.org/10.31951/2658-3518-2020-A-4-669> (2020 г.) РИНЦ
10. 8. Кулик Н.В., Ефременко Н.А., Страховенко В.Д., Белкина Н.А. (Kulik N.V., Efremenko N.A., Strakhovenko V.D., Belkina N.A.) Features of migration of Fe, Mn, Al, Cu and Zn in the Onego Lake Limnology and Freshwater Biology 2020 (4): 505-506 <https://doi.org/10.31951/2658-3518-2020-A-4-505> (2020 г.) РИНЦ
11. **Тарасов А.Ю., Зобков М.Б., Стафеев С.В. (Tarasov A., Zobkov M., Stafeev S.) The Role of Debitage Size in Assessing the Spatial Organization of Lithic Production. The Case of Lake Onega Axe and Adze Workshops (Russia) Lithic Technology VOL. 45, NO. 3, 140–153 <https://doi.org/10.1080/01977261.2020.1738766> (2020 г.) WOS SCOPUS РИНЦ Q1**
12. Багаев А., Зобков М. (Bagaev A., Zobkov M.) Prediction of microplastics particles size-frequency distribution via the stochastic modelling of their formation and filtration on the net EGU General Assembly Conference Abstracts EGU21-7761 <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-7761> (2021 г.)
13. Зобков М., Белкина Н., Ковалевский В., Зобкова М., Ефремова Т., Галахина Н. (Zobkov M., Belkina N., Kovalevski V., Zobkova M., Efremova T., Galakhina N.) Microplastics in Lake Onego sediments: occurrence and accumulation patterns EGU General Assembly Conference Abstracts EGU21-4028 <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-4028> (2021 г.)
14. **Калинкина Н.М., Зобков М.Б., Зобкова М.В., Галахина Н.Е. (Kalinkina N.M., Zobkov M.B., Zobkova M.V., Galakhina N.E.) Assessment of the microplastics size range and ingestion intensity by Gmelinoides fasciatus Stebbing, an invasive species of Lake Onego Environmental Toxicology and Chemistry <https://doi.org/10.1002/etc.5257> (2021 г.) WOS SCOPUS РИНЦ Q1**
15. Ковалевский В., Зобков М. (Kovalevski V., Zobkov M.) Destruction of microplastics in the natural environment EGU General Assembly Conference Abstracts EGU21-5407 <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-5407> (2021 г.)
16. Кулик Н., Ефременко Н. (Kulik N., Efremenko N.) Assessment of the sorption capacity of PET microparticles in natural water with respect to metals EGU General Assembly Conference Abstracts EGU21-4438 <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-4438> (2021 г.)
17. М.Б. Зобков, И.П.Чубаренко, Е.Е. Есюкова, Н.А. Белкина, В.В. Ковалевский, М.В. Зобкова, Т.А. Ефремова, Н.Е. Галахина (M. Zobkov, I. Chubarenko, E. Esiukova, N. Belkina, V. Kovalevski, M. Zobkova, T. Efremova, N. Galakhina) ОЗЁРА КАК АККУМУЛЯТОРЫ МИКРОПЛАСТИКА НА ЕГО ПУТИ С СУШИ В МИРОВОЙ ОКЕАН. ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ИЗВЕСТИЯ РУССКОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА № 153(4) С. 68-86 <https://doi.org/10.31857/s0869607121040054> (2021 г.) РИНЦ
18. М.Б. Зобков, Н.А. Белкина, Н.Е. Галахина, М.В. Зобкова, Т.А. Ефремова, В.В. Ковалевский (M.B. Zobkov, N.A. Belkina, N.E. Galakhina, M.V. Zobkova, T.A. Efremova, V.V. Kovalevskii) Аккумуляция частиц микропластика в донных осадках крупного пресноводного водоема - Онежского озера (бассейн Балтийского моря) Сборник материалов XXI Международного экологического Форума «День Балтийского моря» с.204-210 (2021 г.) РИНЦ
19. **Зобков М. Б., Зобкова М. В., Сабылина А. В., Ефремова Т. А. (Zobkov M. B., Zobkova M. V., Sabylina A. V., Efremova T. A.) Оценка воздействия фильтрационных вод полигонов захоронения твёрдых бытовых отходов и активных илов на качество воды малых рек гумидной зоны Теоретическая и прикладная экология (2022 г.) WOS SCOPUS РИНЦ**