

УДК 504.06 (476)

Г. В. Толкач¹, С. М. Токарчук², К. Э. Куцко³, А. Л. Жук⁴¹*ст. преподаватель каф. зоологии и генетики**Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина*²*канд. геогр. наук, доц., доц. каф. географии и природопользования**Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина*³*студентка биологического факультета**Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина*⁴*студентка географического факультета**Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина**e-mail: zoology@brsu.brest.by*

СОДЕРЖАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ МИКРОПЛАСТИКА В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ г. БРЕСТА

Исследование проводилось в двух типах объектов – в естественных водотоках (реках) и в пределах искусственных водоемов (водохранилищах и прудах). При выполнении работы проводился подсчет общего количества элементов микропластика в пробе воды, а также таких элементов, как гранулы, нити, пленки, шарики, фрагменты. Полученные результаты можно использовать для реализации мер по улучшению качества вод рек и водоемов города, а также для увеличения информированности населения, государственных и общественных организаций об особенностях содержания в водах городских объектов элементов микропластика.

Введение

В современных условиях наблюдается существенное антропогенное воздействие на все виды водных объектов. Наиболее значимым воздействием отмечаются городские территории, для которых характерна высокая плотность застройки, существенно преобразованная водосборная поверхность территории, большое количество потенциальных источников загрязнения, различные виды поступающих загрязняющих веществ и др.

В целом по характеру воздействия на ресурсы, режим и качество водных объектов в пределах городской территории все антропогенные факторы можно объединить в три основные группы:

1) непосредственно воздействующие на водный объект путем прямых изъятий воды и сбросов природных и сточных вод (системы промышленного и коммунального водоснабжения, коллекторы сточных вод) или за счет преобразования морфологических элементов водотоков и водоемов (выемки грунта из рек и водоемов, создание искусственных берегов и т. п.);

2) воздействующие на водный объект посредством изменения поверхности речных водосборов (асфальтирование территории, трансформация рельефа и т. п.);

3) воздействующие на основные элементы влагооборота в пределах речных водосборов (формирование в пределах города т. н. «острова тепла» и увеличение количества осадков).

Таким образом, значительную актуальность приобретают исследования, направленные на изучение геоэкологического состояния водных объектов в пределах городской среды, а также факторов, оказывающих на это непосредственное влияние.

Одной из весьма серьезных гидроэкологических проблем является загрязнение экосистем микропластиком, поскольку пластик – это один из наиболее востребованных материалов и используется практически во всех областях промышленности. Его физико-химические свойства, обеспечивающие прочность, легкость и долговечность, в сочетании с низкой себестоимостью делают этот материал практически незаменимым при производстве изделий бытового назначения, в строительстве и на производстве.

Пластиковые отходы, включая микропластик, представляют собой значительную угрозу водным экосистемам. Кроме того, необходимо учитывать, что существует физическое накопление пластиковых частиц в телах гидробионтов, которое приводит к нарушению пищеварительного процесса и последующей их гибели.

Исследованием содержания частиц микропластика в настоящее время занимаются многие ученые мира [1–6], причем работы ведутся как на высоко научном уровне (в крупных лабораториях научно-исследовательских институтов), так и на уровне школьных и студенческих исследований и исследований общественных организаций. В то же время следует отметить, что наибольшее число работ посвящено изучению содержания частиц микропластика в морских водах, в то время как изучению поверхностных вод (рек, озер, водохранилищ) уделяется крайне незначительное внимание.

Материалы и методы исследования

Цель исследования – выполнить оценку содержания элементов микропластика в водных объектах г. Бреста.

Под микропластиком в данном исследовании понимаются твердые частицы синтетических полимеров размером менее 5 мм (от 100 нм до 5 мм) [7].

Элементы микропластика, обнаруженные в окружающей среде, представляют собой очень разнородную группу частиц, различающихся по размеру, форме, химическому составу и удельной плотности. Основой для проведения исследования выступали методические разработки, подготовленные для изучения элементов микропластика в водных объектах территории Беларуси [8].

При проведении исследования проводился подсчет общего количества элементов микропластика в пробе воды, а также количества отдельных элементов микропластика, таких как гранулы, нити, пленки, шарики, фрагменты.

Исследование проводилось в двух типах объектов: в естественных водотоках (реках) и в пределах искусственных водоемов (водохранилищах и прудах).

Среди рек отбор образцов проводился как в пределах самого города (в реках Мухавец и Западный Буг), а также в пределах реки Лесная, протекающей сразу за чертой города. Нумерация мест отбора образцов проводилась с учетом названия реки и порядкового номера пробы.

Среди водохранилищ и прудов было отобрано 30 репрезентативных водоемов в черте города. Репрезентативные водоемы отбирались по нескольким признакам:

- 1) равномерное распределение по территории города (в пределах каждого планировочного микрорайона города отобрано не менее одного водоема; чем больше водоемов в микрорайоне, тем больше репрезентативных водоемов там выбиралось);
- 2) наличие водоемов разных типов (по площади, назначению и др.);
- 3) возможность открытого доступа к водоему, а также отбора образцов воды в объемах, необходимых для исследования.

Для крупных водоемов производился отбор образцов с нескольких мест. Нумерация мест отбора образцов из водотоков проводилась с учетом микрорайона города, в котором находится водоем, и порядкового номера репрезентативного водоема в пределах данного микрорайона. Если из водоема отбиралось несколько образцов, это указывалось как дополнительный номер (в скобках).

Выполнение полевых исследований проводилось с использованием специальной фильтровальной установки, состоящей из двух труб и фильтра, и проводилось в весенне-летний период на репрезентативных водосборах. Для получения фильтра с элементами микропластика через установку пропускалось 120 литров воды. Исследование проб на наличие микропластика проводилось путем изучения фильтров под микроскопом

с использованием визуального метода, двигаясь челночным шагом от края к краю. В протоколе отмечались обнаруженные частицы пластика (цвет, форма, размер частиц) и проводился их подсчет. Для правильной интерпретации результатов были составлены оценочные матрицы определения уровня содержания микропластика. Полученные результаты были собраны в электронные базы данных, которые впоследствии были преобразованы в интерактивные карты.

Результаты и их обсуждение

Результаты исследования количества частиц микропластика в *речных системах* представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Содержание элементов микропластика в водотоках

Название водотока, № отбора пробы	Координаты места отбора пробы		Количество элементов микропластика					
	долгота	широта	гранулы	нити	пленки	фрагменты	шарики	всего
Западный Буг – 1	23,650800	52,08224	0	0	0	0	0	0
Лесная-1	23,642575	52,14297	0	3	1	1	0	5
Лесная-2	23,643883	52,14303	0	2	0	0	0	2
Лесная-3	23,643572	52,14236	0	3	0	0	0	3
Мухавец-1	23,707463	52,08306	0	3	0	1	1	5
Мухавец-2	23,703709	52,07887	0	0	0	0	0	0
Мухавец-3	23,702871	52,07923	0	3	0	0	0	3
Мухавец-4	23,704888	52,08080	0	0	0	1	0	1
Мухавец-5	23,703450	52,08134	0	2	0	0	0	2
Мухавец-6	23,701583	52,08258	0	4	0	0	0	4
Мухавец-7	23,698632	52,08169	0	1	0	0	1	2

Как видно из таблицы 1, в пробах речной воды не было обнаружено ни одного элемента *гранул* микропластика.

Во всех образцах речной воды был обнаружен *21 элемент нитей* микропластика. Элементы были обнаружены во всех местах отбора на реке Лесная, а также в большинстве образцов р. Мухавец.

Пленки микропластика были обнаружены только в одном образце, отобранном на реке Лесная.

Количество *фрагментов* микропластика в отобранных образцах речной воды составило три элемента, по одному элементу в каждом из образцов. Всего был обнаружен *один фрагмент* микропластика в образцах р. Лесная и *два* – в образцах р. Мухавец.

В образцах речной воды было обнаружено *2 шарика* микропластика. Этот вид частиц микропластика находился в двух образцах, взятых из вод Мухавца.

Таким образом, всего в образцах, полученных для речных экосистем, было обнаружено *27 частиц микропластика*, что составляет в среднем *2,5 частицы* на один образец воды.

В двух местах отбора (на р. Западный Буг и в одном из образцов р. Мухавец, который отбирался в пределах залесенного водосбора и низкой степени антропогенного воздействия) не было обнаружено ни одной частицы микропластика.

Наибольшее количество *элементов микропластика* (4-5) было обнаружено в пределах одного из образцов на р. Лесная (образец отобран в месте со слабой проточ-

ностью, заросшем высшей водной растительностью, берег загрязнен отходами рекреационной деятельности), а также в образцах Мухавец-1 (Центральный городской пляж) и Мухавец-6 (пристань теплохода «Гродно»). Как видно из описания мест отбора образцов, они расположены в местах со слабым течением воды и высокой степенью антропогенной нагрузки.

В большинстве образцов воды из речных экосистем было обнаружено только по одному виду элементов микропластика.

Результаты исследования количества микропластика в *репрезентативных водоемах* представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Содержание элементов микропластика в репрезентативных водоемах

Название водоема	Координаты места отбора пробы		Количество элементов микропластика					
	долгота	широта	гранулы	нити	пленки	фрагменты	шарики	всего
Волынка-Гершоны – 1 (1)	23,67945	52,08055	0	10	0	0	0	10
Волынка-Гершоны – 1 (2)	23,67904	52,07947	0	8	0	1	0	9
Волынка-Гершоны – 2	23,67974	52,07550	0	5	2	0	0	7
Волынка-Гершоны – 3	23,72390	52,04747	0	0	0	0	0	0
Волынка-Гершоны – 4	23,72502	52,04742	0	0	0	0	0	0
Волынка-Гершоны – 5	23,72582	52,05149	0	0	2	0	0	2
Волынка-Гершоны – 6	23,70683	52,05910	1	0	0	0	0	1
Волынка-Гершоны – 7 (1)	23,71228	52,05849	0	1	0	1	0	2
Волынка-Гершоны – 7 (2)	23,71768	52,05639	0	0	1	0	0	1
Волынка-Гершоны – 8	23,67537	52,08048	0	5	1	0	0	6
Волынка-Гершоны – 9	23,73444	52,04711	0	0	2	0	0	2
Волынка-Гершоны – 10	23,70980	52,04209	2	6	0	0	0	8
Вулька-1	23,74446	52,04869	0	0	0	0	0	0
Вулька-2	23,74455	52,04650	1	2	0	0	0	3
Задворцы-1	23,77554	52,13061	0	3	0	1	0	4
Ковалево-1	23,77021	52,05874	0	0	1	2	4	7
Ковалево-2	23,76157	52,06604	0	0	0	3	0	3
Козловичи-1	23,62395	52,11538	0	0	0	0	0	0
Козловичи-2	23,61347	52,13333	0	0	2	0	0	2
Красный Двор – 1 (1)	23,82574	52,08555	0	2	2	0	0	4
Красный Двор – 1 (2)	23,83448	52,08377	1	0	0	0	0	1
Плоска-1	23,70560	52,14389	0	1	0	1	0	2
Плоска-2	23,70562	52,13111	0	0	0	0	0	0
Плоска-3	23,73908	52,12992	0	2	1	0	0	3
Тельмы	23,80278	52,12414	1	0	0	0	0	1
Центр-1	23,67478	52,09181	0	2	0	0	0	2
Центр-2	23,67396	52,09431	0	0	1	0	0	1
Ямно-Вычулки – 1	23,80059	52,10190	4	0	1	0	0	5
Ямно-Вычулки – 2 (1)	23,81252	52,10178	0	4	9	0	0	13
Ямно-Вычулки – 2 (2)	23,80351	52,09873	2	2	0	0	0	4

В репрезентативных водоемах города обнаружено всего 12 частиц гранул, в среднем это составляет 0,4 гранулы на водоем. В большинстве водоемов (23) гранул обнаружено не было. Наибольшее число гранул (4) было обнаружено в водоеме Ямно-

Вычулки – 1 (озеро Зеркалка), большую роль в загрязнении микропластиком этого водоема играет его использование в рекреационных целях.

Количество *нитей микропластика* в водоемах составляет *53 частицы* (в среднем *1,8 частицы нитей* на водоем). Нити микропластика встречаются в 12 водоемах города. В основном водоемы, в которых встречаются нити микропластика, представлены карьерами, которые в настоящее время используются для водного отдыха, а также другими водными объектами, используемыми в рекреационных целях. Лидерами по количеству являются Волынка-Гершоны – 1 (водохранилище Малые Сои), где оба образца содержали *10 и 8 нитей микропластика* соответственно. Среднее количество *нитей микропластика* было обнаружено в более крупных водных объектах, таких как Волынка-Гершоны – 2 (Большие Сои) – *5 частиц*, Ямно-Вычулки – 2 (*1,2*) (озеро Вычулки) – *6 частиц*, Волынка-Гершоны-10 – *6 частиц*. На показатель также влияет рекреационная нагрузка на водоемы.

В репрезентативных водоемах города обнаружено *25 частиц пленок*, в среднем это составляет *0,88 частицы пленок* на водоем. В большей части водоемов (*18 пленок микропластика*) не обнаружено. Максимальное количество пленок (*9*) было обнаружено в водоеме Ямно-Вычулки – 2 (озеро Вычулки). Водоем является самым большим на территории г. Бреста. В остальных водоемах количество нитей микропластика составляет *1-2 частицы*.

Фрагменты микропластика в количестве *9 частиц* обнаружены лишь в 6 водоемах (в среднем это составляет *0,3 частицы фрагментов микропластика* на водоем). *Частицы* были обнаружены только в малых по размеру водоемах в разных частях города.

В репрезентативных водоемах города было обнаружено *4 шарика* микропластика. В среднем это составляет *0,18 частицы шарика* на водоем. Этот вид частиц микропластика был обнаружен всего лишь в одном водоеме – Ковалево – 1 в пределах жилой застройки.

Всего в репрезентативных водоемах было обнаружено *103 частицы микропластика*, это в среднем *3,4 частицы* на водоем.

Максимальное количество *частиц микропластика* (более *15*, с учетом двух мест отбора образцов) было обнаружено в водоемах Волынка-Гершоны – 1 и Ямно-Вычулки – 2. Среднее количество *элементов микропластика* (*7-8*) было зарегистрировано в водоемах, как Волынка-Гершоны – 2, Волынка-Гершоны – 10 и Ковалево – 1. В пяти водоемах было обнаружено только *по одной частице микропластика* и в пяти водоемах *частиц микропластика* вообще обнаружено не было.

В среднем в репрезентативных водоемах встречается *1-2 типа микропластика*. Наиболее часто встречаемые типы – это *частицы нитей и пленок микропластика*.

Сравнительная характеристика содержания элементов микропластика в ***разных типах водных объектов*** (таблица 3) показывает, что большее количество *элементов микропластика* было обнаружено в образцах из водоемов (в среднем *3,4* на один образец). *Нити, фрагменты и шарики* встречаются в образцах из водотоков и водоемов примерно в сравнимом количестве раз.

В целом из *элементов микропластика* наиболее часто встречаемыми являются *нити* (*57 %* из всех обнаруженных элементов); *20 %* всех *элементов микропластика* представляют *пленки*.

Наиболее редкими *элементами микропластика* являются *шарики* (*5 %*).

Таблица 3. – Содержание частиц микропластика в репрезентативных водоемах

Тип водного объекта	Общее количество, всего / на один образец	Гранулы, всего / на один образец	Нити, всего / на один образец	Пленки, всего / на один образец	Фрагменты, всего / на один образец	Шарики, всего / на один образец
Водотоки	27/2,45	0/0	21/1,91	1/0,09	3/0,27	2/0,18
Водоемы	103/3,43	12/0,4	53/1,77	25/0,83	9/0,3	4/0,13
<i>Всего</i>	<i>130/3,17</i>	<i>12/0,29</i>	<i>74/1,80</i>	<i>26/0,63</i>	<i>12/0,29</i>	<i>6/0,15</i>

Если рассматривать процентное соотношение *разных элементов микропластика* в отдельных типах водных объектов, то следует отметить, что в образцах речной воды *нити* составляют практическое большинство (78 %), а в образцах, полученных из водоемов, только половину (51 %).

Удельная доля других *элементов микропластика* в разных типах водных объектов существенно отличается. Так, в образцах, полученных при исследовании речной воды, наиболее часто встречаемыми типами являются *фрагменты* (11 %) и *шарики* (7 %), а *гранулы* не были обнаружены ни в одном из образцов.

В образцах, полученных при обследовании водоемов, кроме *нитей* доминирующими *элементами микропластика* являются *пленки* (24 %) и *гранулы* (12 %) (рисунок 1).

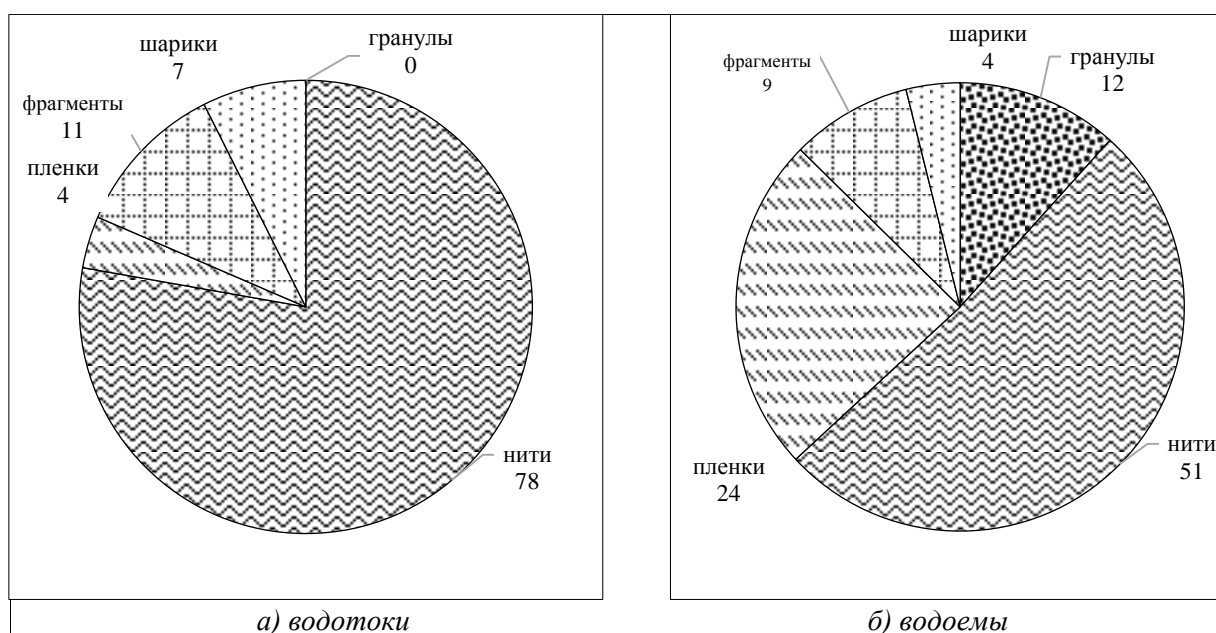


Рисунок 1. – Частота встречаемости различных элементов микропластика, %

В среднем в полученных образцах чаще всего встречается 1-2 типа *элементов микропластика* (рисунок 2): к этим группам по количеству элементов микропластика относится 64 % всех образцов из водотоков и 80 % образцов из водоемов.

В одинаковой доле образцов из рек и водоемов (18 и 17 %) вообще не было обнаружено *элементов микропластика*.

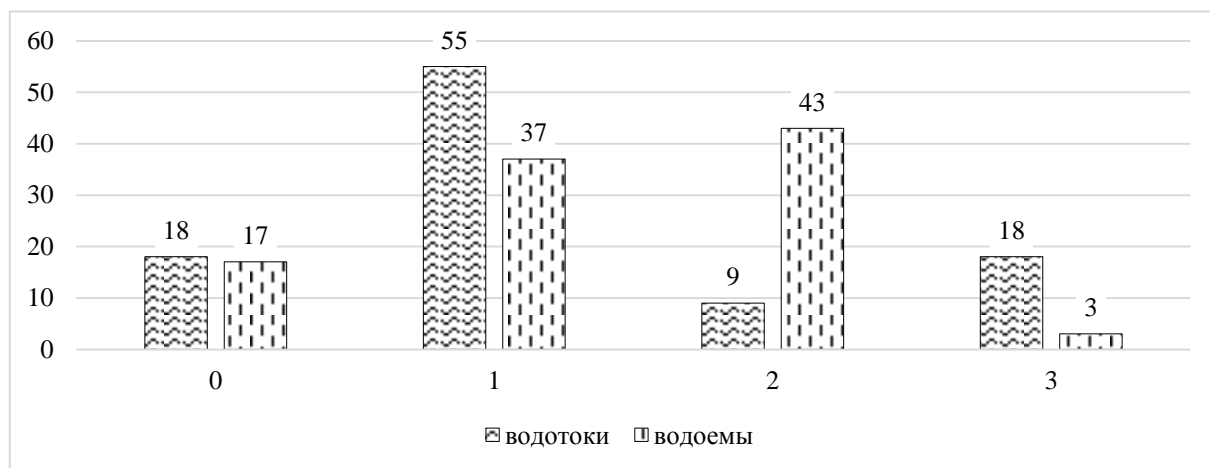


Рисунок 2. – Группировка водных объектов по количеству встречаемых элементов микропластика, %

Результаты выполненного исследования были представлены не только в табличном, но и в картографическом виде. Для этого были разработаны методические подходы к созданию интерактивных карт содержания частиц микропластика средствами облачной платформы картографирования ArcGIS Online [9]. На основе созданных карт выполнен ряд картографических веб-приложений, отображающих полученные при проведении полевых исследований результаты.

В частности, были составлены два интегральных приложения, которые объединили результаты исследований по каждому из типов водных объектов:

- 1) «Содержание частиц микропластика в водотоках города Бреста» [10],
- 2) «Содержание частиц микропластика в водоемах города Бреста» [11].

Заключение

В результате реализации поставленной цели была выполнена оценка содержания разных элементов микропластика в двух типах водных объектов города Бреста: естественных водотоках (реки) и искусственных водоемах (водохранилища и пруды).

Полученные результаты можно использовать для реализации мер по улучшению качества вод рек и водоемов города, а также для увеличения информированности населения, государственных и общественных организаций об особенностях содержания в водах городских объектов элементов микропластика.

Исследование водных объектов на загрязнение микропластиком можно расширять и дополнять, а также применить в других регионах Республики Беларусь. Разработанную методику можно использовать на водоочистных комплексах для установления частиц микропластика, поступающих со сточными водами. Важно применение методики исследования в водоемах заповедников, национальных парков и заказниках для установления антропогенной роли данного вида загрязнения.

С помощью построенных карт и картосхем можно продолжать исследование, изучая влияние микропластика на растительные и животные объекты и его распределение по пищевым цепочкам, а также изучать основные факторы, влияющие на поступление элементов микропластика в водные объекты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Classify plastic waste as hazardous / С. М. Rochman [et al.] // Nature. – 2013. – Vol. 494. – P. – 169–171.

2. Microplastic Abundance, Characteristics, and Removal in Wastewater Treatment Plants in a Coastal City of China / Z. Long [et al.] // *Water Research*. – 2019. – Vol. 155. – P. 255–265.
3. The Deposition and Accumulation of Microplastics in Marine Sediments and Bottom Water from the Irish Continental Shelf / J. Martin [et al.] // *Scientific Reports*. – 2017. – № 7.
4. Есюкова, Е. Е. Особенности распределения микропластика на песчаных пляжах Калининградской области (Балтийское море) / Е. Е. Есюкова, И. П. Чубаренко // *Регион. экология*. – 2018. – № 1 (51). – С. 108–121.
5. Зобков, М. Б. Микропластик в морской среде: обзор методов отбора, подготовки и анализа проб воды, донных отложений и береговых наносов / М. Б. Зобков, Е. Е. Есюкова // *Океанология*. – 2017. – Т. 58, № 1. – С. 149–157.
6. Румянцев, В. А. К вопросу о проблеме микропластика в континентальных водоемах / В. А. Румянцев, Ш. Р. Поздняков, Л. Н. Крюков // *Рос. журн. прикладной экологии*. – 2019. – № 2 (18). – С. 60–62.
7. Микропластик невидимая проблема [Электронный ресурс] : информ. бюл. // *Plastic Free Baltic*. – Режим доступа: <https://ecoidea.by/ru/media/microplastic>. – Дата доступа: 23.10.2019.
8. Верес, Ю. К. Руководство по общественному мониторингу микропластика в водных объектах / Ю. К. Верес. – Минск : Центр экол. решений. – 2017. – 38 с.
9. Жук, А. Л. Создание интерактивных карт содержания частиц микропластика в водоемах Бреста средствами облачной платформы картографирования ArcGIS Online [Электронный ресурс] / А. Л. Жук, С. М. Токарчук // *ГИС-технологии в науках о Земле : материалы респ. науч.-практ. семинара студентов и молодых ученых, Минск, 13 нояб. 2019 г.* / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: Н. В. Жуковская (отв. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2019. – С. 44–48.
10. Содержание частиц микропластика в водотоках города Бреста [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arcg.is/0jOm0G0>. – Дата доступа: 25.12.2019.
11. Содержание частиц микропластика в водоемах города Бреста [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arcg.is/0Pq1Xr>. – Дата доступа: 25.12.2019

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 24.01.2020

Tolkach G. V., Tokarchuk S. M., Kutsko K. E., Zhuk A. L. The Content of Microplastic Elements in Water Bodies of the City of Brest

Current article discusses the study results of microplastic particles content in urban water bodies of Brest. The study was carried out in two types of objects: natural watercourses (rivers) and artificial reservoirs (reservoirs and ponds). During work performing the total number of microplastic elements in the water sample was counted, as well as such elements as granules, threads, films, balls, fragments. The results can be used for measures implementation to improve the water quality of city rivers and ponds, as well as to increase the citizens awareness, state and public organizations informing about the microplastic content features in urban water objects.