

УДК 556.551:004.031.42

ИЗУЧЕНИЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ СОДЕРЖАНИЯ ЧАСТИЦ МИКРОПЛАСТИКА В ВОДОЕМАХ ГОРОДА БРЕСТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Г. В. ТОЛКАЧ¹⁾, С. М. ТОКАРЧУК¹⁾, А. Л. ЖУК¹⁾, К. Э. КУЦКО¹⁾

¹⁾Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина,
бульвар Космонавтов, 21, 224016, г. Брест, Беларусь

Анализируется опыт применения современных ГИС-технологий в целях визуализации данных о содержании частиц микропластика в водоемах г. Бреста (Республика Беларусь). Изучение содержания частиц микропластика в водоемах проводилось на основании разработанной методики, которая включала шесть этапов. Для выполнения работы была проведена инвентаризация водоемов г. Бреста, выбрано 25 репрезентативных водоемов для целей полевых исследований. Результат проведенного исследования – серия интерактивных гидрографических карт территории города, отражающих основные этапы выполнения исследований содержания частиц микропластика в его водоемах. Данные карты находятся в свободном доступе в сети Интернет, могут просматриваться другими пользователями, на их основе можно создавать подобные карты и картосхемы с использованием учетной записи ArcGIS Online. Полученные данные и интерактивные карты могут быть использованы в ходе оценки современного состояния и реализации мер по снижению уровня деградации водоемов г. Бреста. Разработанная методика может быть применена для проведения исследований как на аналогичных территориях, так и подобных объектах (реках, каналах и др.).

Ключевые слова: Брест; водоемы; микропластик; интерактивная гидрографическая карта; ГИС-технологии; облачные технологии.

STUDY AND VISUALIZATION OF MICROPLASTIC PARTICLES CONTENT IN RESERVOIRS OF THE CITY OF BREST USING GIS-TECHNOLOGIES

G. V. TOLKACH^a, S. M. TOKARCHUK^a, A. L. ZHUK^a, K. E. KUTSKO^a

^aBrest State A. S. Pushkin University, 21 Kasmanaŭtaŭ Boulevard, Brest 224016, Belarus
Corresponding author: G. V. Tolkach (gal-mush@yandex.ru)

Образец цитирования:

Толкач ГВ, Токарчук СМ, Жук АЛ, Куцко КЭ. Изучение и визуализация данных содержания частиц микропластика в водоемах города Бреста с использованием ГИС-технологий. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2019;3:32–40.

For citation:

Tolkach GV, Tokarchuk SM, Zhuk AL, Kutsko KE. Study and visualization of microplastic particle content in reservoirs of the city of Brest using GIS-technologies. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2019;3:32–40. Russian.

Авторы:

Галина Владимировна Толкач – магистр биологических наук; старший преподаватель кафедры зоологии и генетики.

Светлана Михайловна Токарчук – кандидат географических наук, доцент; доцент кафедры географии и природопользования.

Алеся Леонидовна Жук – студентка кафедры географии и природопользования биологического факультета.

Кристина Эдуардовна Куцко – студентка кафедры зоологии и генетики биологического факультета.

Author:

Galina W. Tolkach, master of science (biology); senior lecturer at the department of zoology and genetics
gal-mush@yandex.ru

Svetlana M. Tokarchuk, PhD (geography), docent; associate professor at the department of geography and nature management.
svetlana.m.tokarchuk@mail.ru

Alesia L. Zhuk, student at the department of geography and nature management, faculty of geography.
alesya_zhuk_98@mail.ru

Kristina E. Kutsko, student at the department of zoology and genetics, faculty of biological.
mihnyk1996@mail.ru

The article presents the experience of using modern GIS technologies to visualize data on the content of microplastic particles in the reservoirs of the city of Brest. The study of the content of microplastic particles in reservoirs was carried out based on the developed methodology, which included six steps. An inventory of reservoirs of the city of Brest was conducted, 25 representative reservoirs were selected for field research purposes. The result of the study is a series of interactive hydrographic maps of the Brest city territory. Maps reflect the main stages of the study on the content of microplastic particles in the water bodies of the city of Brest. These maps are freely available on the Internet, can be viewed by other users, on their basis, one can create other maps using ArcGIS Online account. The received data and interactive maps can be used in assessment of the current state and implementation of measures to reduce the degradation of water bodies in the city of Brest. The developed technique can be applied to conduct similar studies for other territories as well as for other types of objects (rivers, canals, etc.).

Keywords: Brest; reservoirs; microplastic; interactive hydrographic map; GIS-technology; cloud technologies.

Введение

Микропластик – это твердые частицы синтетических полимеров, размером от 100 нм до 5мм. Профессор Ричард Томпсон (Richard Thompson), морской биолог из университета в Плимуте, первым ввел термин «микропластик» в 2004 г. [1]. С тех пор в разных странах мира находят его частицы в воде, почве, питьевой воде и живых организмах [1–5]. Источниками поступления микропластика в окружающую среду являются использованные пакеты и бутылки в воде, которые распадаются под действием солнца и влаги; пыль автомобильных шин; фрагменты синтетических волокон при стирке одежды; гранулы в составе косметики и бытовой химии и др. По данным зарубежных ученых, он вызывает негативное влияние на организм животного и человека [1; 2; 4].

На территории Республики Беларусь (в рамках работы Центра экологических решений) проводилось исследование более 25 водоемов Минской обл.: водохранилище Цнянское, водохранилище Дрозды, Минское море и др. Микропластик был обнаружен абсолютно во всех взятых пробах в разных концентрациях – от 0,02 до 5 частиц на 1 л [6]. Его находят и в других областях, однако недостаточно данных о содержании микропластика в юго-западной части Республики Беларусь, что послужило основным направлением при выполнении данного исследования.

Нами изучены образцы воды из 25 водоемов г. Бреста, расположенных на территориях различных микрорайонов города. В 3-х пробах не было обнаружено частиц микропластика (12 % исследуемых водоемов), однако мы не можем с уверенностью утверждать, что данные водоемы не были подвержены данному загрязнению. Остальная часть проб (88 % исследуемых водоемов) показала положительный результат на наличие в них микропластика. Было рассчитано общее количество обнаруженных частиц микропластика, которые отличались по форме: шарики составили 5,33 %, фрагменты – 13,33 %, гранулы – 16 %, пленки – 25,33 %, нити – 40 %. Также была определена концентрация частиц микропластика на 1 л исследуемой воды. Диапазон концентрации в исследуемых пробах составил: от 0 до 0,08 частиц / 1 л. Следует обратить внимание на то, что частицы обнаружены и в пробах, собранных в водоемах, которые входят в состав природоохраняемых территорий (оз. Вычулки, Зеркалка, Соевские озера). Частицы, встречающиеся в пробах, имеют различную форму и цвет. Высокое разнообразие микрочастиц пластика свидетельствует о том, что их источники различны.

Большинство современных экологических исследований связано с получением значительных объемов информации (числовой, текстовой, иллюстративной и др.). Данная информация часто имеет географическую привязку: относится к конкретным территориям. В то же время анализ значительного количества научных материалов (монографий, авторефератов диссертаций, статей из научных журналов, статей материалов научных конференций, отчетов выполнения научно-исследовательских работ и др.) показал, что чаще всего результаты научных исследований представляются в виде таблиц и графиков. Картографическая визуализация материалов экологических исследований встречается сравнительно редко в указанных публикациях. Таким образом, разработки методических подходов и алгоритмов визуализации результатов аналитических экологических исследований представляют значительную актуальность. В частности, в данной научной работе приводится опыт применения ГИС-технологий (на примере облачной платформы картографирования ArcGIS Online) и инструментов простого персонального аккаунта в целях визуализации результатов экологического исследования (на примере изучения содержания частиц микропластика в водоемах г. Бреста).

Географические информационные системы (ГИС) – это особые аппаратно-программные комплексы, обеспечивающие сбор, обработку, отображение и распространение пространственно-координированных данных. Карта, в том числе и электронная, – это один из самых эффективных и информативных способов хранения, представления и передачи географической (имеющей пространственную привязку) информации. Современные программные средства ГИС предоставляют новые инструменты, которые расширяют и развивают научные основы картографии. С их помощью сами карты могут иметь

интерактивный характер (размещены в сети Интернет, сопровождаются всплывающими окнами, электронными надписями и др.), а их визуализация может быть легко дополнена отчетными документами, графиками, таблицами, диаграммами, фотографиями и другими элементами.

Наличие картографического материала в результирующей части научного исследования способствует не только визуализации полученных данных, но и позволяет сделать исследование более полноценным. Кроме того, современные информационные технологии, в том числе облачные платформы картографирования, позволяют проводить автоматизацию сбора полевой информации и ее непосредственную привязку к местоположениям на карте, а созданный картографический материал дает возможность получить качественно новый вариант представления результатов работы.

Материалы и методы исследования

Цель настоящего исследования – разработать методические подходы к визуализации данных изучения частиц микропластика в водоемах г. Бреста.

Работа проводилась в несколько этапов (табл. 1).

Таблица 1

Основные этапы выполнения исследования

Table 1

The main stages of the study

| Этап | Основное содержание работы |
|---|--|
| 1. Изучение водоемов г. Бреста, выбор репрезентативных водоемов для проведения исследования | Проведена инвентаризация водоемов города (выделено 432 водоема). Составлена полная инвентаризационная карта водоемов города, а также выполнена их классификация с учетом размера, происхождения котловины, назначения, состояния водосборов и других факторов |
| 2. Разработка методики анализа содержания частиц микропластика в водоемах Бреста | Выбрано 25 репрезентативных водоемов в черте города для целей изучения содержания микропластика в их водах. Определены особенности отбора проб в условиях городской среды и анализа полученных материалов с использованием микроскопа. Создана инструкция по реализации исследования в виде интерактивного документа, размещенного в свободном доступе в сети Интернет |
| 3. Проведение полевого этапа исследования | Пробы отбирались в весенне-летний период в выбранных репрезентативных водоемах. В результате полевых исследований проводилось фотографирование водоема в месте отбора проб, определение GPS-координат мест отбора, краткое описание водоема, берега, возле которого осуществлялся отбор, а также особенностей воды. Составлена интерактивная карта мест отбора проб с использованием полученных данных |
| 4. Оценка содержания микропластика | Изучались под микроскопом. полученные фильтры. Осуществлялся общий подсчет частиц микропластика и частиц по видам (гранулы, нити, пленки, фрагменты, шарики), а также фотографирование фильтра и микропластика на нем. Составлена интерактивная карта содержания частиц микропластика в местах отбора проб |
| 5. Визуализация данных | Составлена серия интерактивных карт с использованием облачной платформы картографирования ArcGIS Online, отображающих пространственные особенности результатов исследования. Объединены полученные интерактивные карты в общую интерактивную систему |
| 6. Анализ полученных результатов | Выполнено описание результатов исследования. Определены допустимые причины полученной картины распределения микропластика в водоемах |

Как уже отмечалось выше, при выполнении инвентаризации водоемов г. Бреста, а также на основании анализа космических снимков, планов и топографических карт города, данных земельной информационной системы Беларуси и других материалов было подсчитано 432 водоема в черте города. С использованием основных классификационных признаков водных объектов составлена схема их типизации по базовым показателям (табл. 2).

В результате проведенной типизации было выбрано 25 репрезентативных водоемов в черте города для целей изучения содержания микропластика в их водах (табл. 3).

Таблица 2

Классификационные признаки типизации водоемов Бреста

Table 2

Classification features of reservoirs typification of Brest city

| Признак | Тип водоема | |
|-----------------------|-------------|--|
| | Индекс | Характеристика |
| Размер | М | Малый (площадь – от 21 м ² до 110 000 м ²) |
| | С | Средний (площадь – от 110 001 м ² до 222 000 м ²) |
| | Б | Большой (площадь – от 222 001 м ² до 322 810 м ²) |
| Происхождение | И | Искусственный |
| | Е | Естественный |
| Назначение | Р | Рекреационный |
| | ЛД | Ландшафтно-декоративный |
| | ВХ | Водохозяйственный (оросительные, пожарные и др.) |
| | ГП | Рекультивированный (водоемы, образовавшиеся в результате рекультивации карьеров по добыче полезных ископаемых) |
| | МФ | Многофункциональный |
| | Ч | Водоем на участках личного пользования с разными типами назначения |
| Особенности водосбора | П | Водосбор с доминированием природных и природно-антропогенных систем, с крайне низкой антропогенной нагрузкой (леса, сады, территории с древесно-кустарниковой растительностью, луга и др.) |
| | Ав | Водосбор с доминированием антропогенных систем с высокой степенью преобразованности (застроенные, промышленные и др. территории) |
| | Ас | Водосбор с доминированием антропогенных систем со средней степенью преобразованности (пляжи, сельскохозяйственные земли и др. территории) |
| | С | Водосбор со смешанным типом (сочетание систем природного и антропогенного типа) |

Репрезентативные водоемы отбирались по нескольким признакам:

- 1) равномерное распределение по территории города, в пределах каждого планировочного микро-района отобраны не менее одного водоема;
- 2) наличие водоемов разных типов (согласно проведенной типизации водоемов Бреста по основным классификационным признакам (см. табл. 2));
- 3) возможность отбора образцов воды в объемах, необходимых для выполнения исследования.

Полевые исследования, направленные как на сбор данных, так и на отбор образцов содержания частиц микропластика, выполнялись с использованием специальной фильтровальной установки, состоящей из двух труб и фильтра, проводились в весенне-летний период на репрезентативных водосборах.

Выполнение полевых исследований привело к некоторому изменению списка репрезентативных водосборов. Данные изменения были обусловлены следующими моментами:

1. Доступ к некоторым водоемам оказался ограниченным либо вообще не возможным. В частности, нет возможности отобрать образцы из большинства естественных старичных озер, связанной с тем, что практически все эти водоемы находятся в пойме Западного Буга, в пределах пограничной территории. Также часть водоемов находится на территории промышленных предприятий, в том числе не функционирующих, но их площадки являются закрытыми. Также значительное число водоемов находится на территории частных земельных участков. Отбор образцов был затруднен в связи с нежеланием большинства владельцев участков обследовать свои водоемы.

2. Несколько водоемов, которые были идентифицированы по космическим снимкам и картам подложкам, на самом деле либо отсутствуют (чаще всего это характерно для малых водоемов), либо крайне мелкие, что не дает возможность провести исследование по разработанной методике.

3. Для больших по площади водоемов, а также малых и средних водоемов с неправильными очертаниями и значительной длиной береговой линии проводился отбор образцов в нескольких местах.

Репрезентативные водоемы и их краткая характеристика

Table 3

Representative reservoirs and their brief description

| № | Название водоема в базе данных | Площадь, м ² | Длина береговой линии, м | Тип водоема | | | |
|----|--------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------|---------------|------------|-----------------------|
| | | | | размер | происхождение | назначение | особенности водосбора |
| 1 | Ямно–Вычулки – 4 | 242 242,84 | 2 140,50 | Б | И | Р | Ав |
| 2 | Ямно–Вычулки – 1 | 46 489,27 | 817,68 | М | И | МФ | Ав |
| 3 | Красный Двор – 16 | 332 802,02 | 7 446,27 | Б | И | МФ | П |
| 4 | Задворцы – 1 | 4 456,98 | 296,51 | М | И | ЛД | П |
| 5 | Восток – 9 | 8 431,97 | 396,90 | М | И | Р | Ас |
| 6 | Ковалево – 4 | 3 844,51 | 232,33 | М | И | МФ | С |
| 7 | Вулька – 32 | 1 350,64 | 230,49 | М | И | МФ | Ав |
| 8 | Вулька – 34 | 3 597,30 | 313,20 | М | И | ЛД | П |
| 9 | Волынка–Гершоны – 166 | 6 591,47 | 605,71 | М | И | ВХ | П |
| 10 | Волынка–Гершоны – 150 | 194 427,00 | 1 880,68 | С | И | ГП | Ас |
| 11 | Волынка–Гершоны – 34 | 27 265,99 | 821,41 | М | И | ГП | Ас |
| 12 | Волынка–Гершоны – 39 | 40 092,12 | 1 265,16 | М | И | ГП | Ас |
| 13 | Волынка–Гершоны – 17 | 212 268,41 | 2 358,34 | С | И | Р | П |
| 14 | Волынка–Гершоны – 2 | 151 079,25 | 1 879,12 | С | И | Р | П |
| 15 | Центр – 2 | 3 890,64 | 238,73 | М | И | ЛД | Ав |
| 16 | Центр – 1 | 7 656,26 | 350,80 | М | И | ЛД | Ав |
| 17 | Речица – 3 | 10 722,43 | 551,14 | М | Е | ЛД | П |
| 18 | Козловичи – 51 | 7 318,81 | 368,47 | М | Е | ЛД | П |
| 19 | Козловичи – 31 | 25 249,38 | 1 863,45 | М | Е | ЛД | П |
| 20 | Козловичи – 22 | 2 745,82 | 210,95 | М | И | Ч | Ав |
| 21 | Плоска – 1 | 8 612,14 | 594,63 | М | И | ЛД | Ав |
| 22 | Плоска – 10 | 1 525,39 | 152,79 | М | И | ВХ | Ав |
| 23 | Плоска – 17 | 9 817,13 | 534,25 | М | И | ЛД | П |
| 24 | Плоска – 20 | 2 841,83 | 204,74 | М | И | ЛД | П |
| 25 | Тельмы | 5 276 | 335 | М | И | ВХ | П |

Примечание. Буквенные обозначения типов водоемов представлены в табл. 2.

На следующем этапе проводилось исследование проб на наличие микропластика путем изучения фильтров под микроскопом с использованием визуального метода, двигаясь челночным шагом от края к краю. В протоколе отмечались параметры обнаруженных частиц пластика (цвет, форма, размер частиц). Для правильной интерпретации результатов были составлены оценочные матрицы определения уровня содержания микропластика. Полученные показатели были собраны в электронные базы данных, которые в последствии были преобразованы в интерактивные карты. Частицы микропластика были сфотографированы при помощи видеоокуляров. Данные фотографии использовались в дальнейшем на этапе визуализации результатов исследования.

Визуализация данных исследования с использованием ГИС-технологий. При реализации данного этапа исследования, используя опыт авторов [7; 8], а также результаты выполнения подобных

работ для других территорий разного территориального уровня (Национальный парк «Нарочанский» [9], Брестский р-н [10], ботанические коллекции Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина [11] и др.), была создана серия интерактивных карт. Для этого использовались возможности современных веб-технологий, в первую очередь – облачной платформы картографирования ArcGIS Online. Интерактивные карты имеют ряд преимуществ не только перед представлением результатов в иллюстративно-табличном виде, но и перед стандартными растровыми картами. Появление интерактивных карт позволяет не только качественно визуализировать результаты изучения содержания частиц микропластика в водоемах Бреста, но и выполнять с использованием базовых интерактивных карт и возможностей настольных и облачных ГИС другие научные исследования.

Одна из наиболее «весомых» положительных характеристик интерактивных карт – это размещение их в свободном доступе в сети Интернет. При необходимости любой исследователь может воспользоваться облачным картографическим сервисом и через собственную учетную запись сохранить копию каждой из базовых гидрографических карт, что позволит создавать собственные тематические карты или проводить другие, аналитические и оценочные исследования.

Таким образом, с использованием облачного вьювера ArcGIS Online была создана серия базовых интерактивных гидрографических карт (табл. 4), которые отображают результаты основных этапов исследования. Они были сгруппированы в несколько блоков, исходя из приведенных в методической части этапов исследования.

Таблица 4

Интерактивные гидрографические карты

Table 4

Interactive hydrographic maps

| Группа карт | Номер | Название карты | URL – адрес |
|---|-------|--|---|
| 1. Инвентаризационные карты водоемов Бреста | 1.1 | База данных «Водоемы Бреста» (полигональная тема) | https://arcg.is/1nevDn |
| | 1.2 | База данных «Водоемы Бреста» (точечная тема) | https://arcg.is/1KXCT4 |
| 2. Карты полевых исследований | 2.1 | Репрезентативные водоемы (для изучения содержания частиц микропластика) | https://arcg.is/ej1z4 |
| | 2.2 | Места отбора образцов (для проведения анализа содержания частиц микропластика) | https://arcg.is/0b11f9 |
| 3. Карты содержания частиц микропластика в водоемах | 3.1 | База данных «Количество частиц микропластика» | https://arcg.is/ze5tH |

Первая группа карт содержит две инвентаризационные базы данных всех водоемов города, представленных в виде полигональной и точечной тем. Карты включают несколько слоев: водоемы, граница города и планировочные микрорайоны города. К картам также привязана база данных, которая включает несколько полей данных: идентификационный номер водоема (составлялся исходя из названия микрорайона и номера, полученного при оцифровке), площадь водоема (в м²), периметр, или длина береговой линии (в м), название водоема (если оно было указано в любом базовом источнике данных), номер по порядку.

Следует отметить, что на картах данной группы нанесено значительное число объектов (более 400), многие из которых занимают крайне малые площади (20–50 м²). Таким образом, большим преимуществом интерактивных карт выступает возможность изменения их масштаба, что позволяет увидеть всю карту водоемов города, его отдельных микрорайонов (рис. 1) и отдельных водоемов.

С использованием представленных карт возможно проводить изучение распространенности выделенных водоемов в пределах города, а также выполнять серии оценочных и аналитических работ, например, оценивать количество водоемов по микрорайонам города или сетке квадратов, создавать карты плотности водоемов и др.

На следующем этапе, включающем разработку методических аспектов исследования и полевые работы, первоначально была создана карта репрезентативных водоемов, подходящих для выполнения исследования (рис. 2). Она составлена с использованием точечного типа объектов (чтобы все выбранные водоемы были одинаково хорошо видны). К карте привязана таблица, включающая такую информацию, как название водоема, его описание, а также указание типа водоема с учетом проведенной классификации (размер, происхождение, назначение, особенности). К каждому объекту (репрезентативному водоему) на ней привязано интерактивное окно, которое дает возможность увидеть необходимую информацию для нужного водоема, при этом не открывая таблицу.

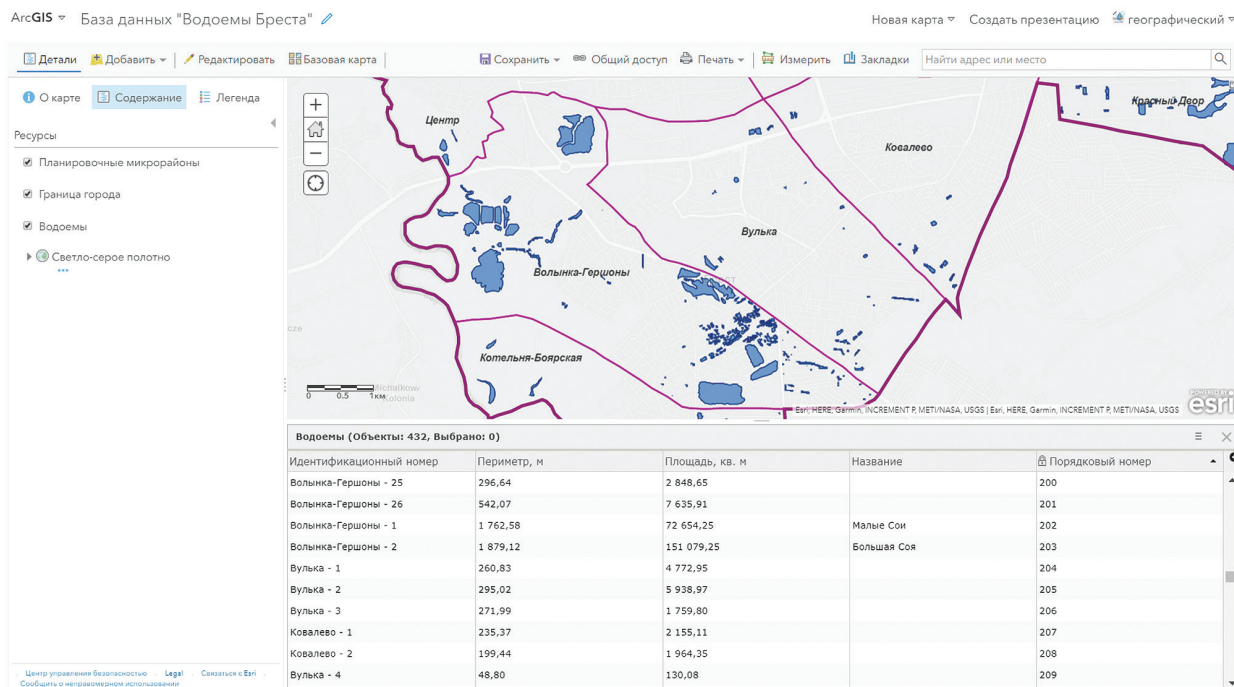


Рис. 1. Карта базы данных «Водоёмы Бреста» (фрагмент «Микрорайон Волынка – Гершоны»)

Fig. 1. Map database «Brest Reservoirs» (fragment «Microdistrict Volynka – Gershony»)

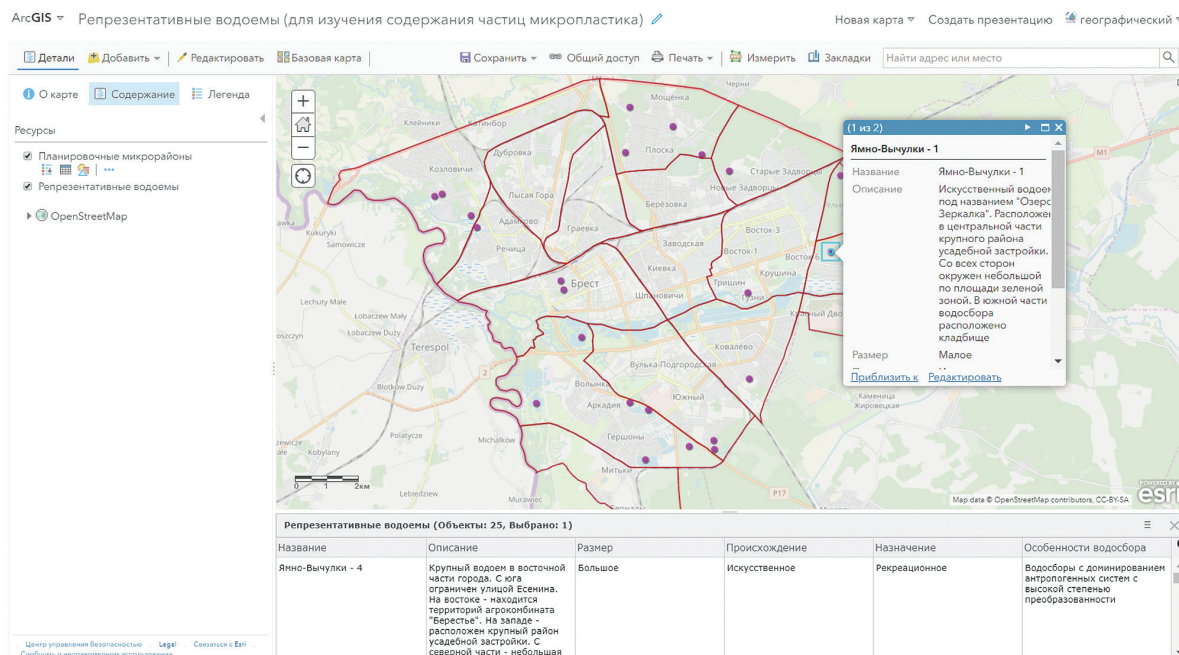


Рис. 2. Карта «Репрезентативные водоёмы»

Fig. 2. Map «Representative Reservoirs»

К источникам полевых исследований относится также карта «Места отбора образцов (для проведения анализа содержания частиц микропластика)». На ней с использованием полученных в результате полевых исследований сведений о географической широте и долготе объекта, а также фотографий нанесены все места отбора образцов. Локализация точек указана крайне точно, возможность применения нескольких детальных карт-подложек (в частности, космического снимка и карты Openstreetmap) позволяет увидеть не только сам водоем, но и конкретный участок получения полевых данных.

На заключительном этапе была реализована база данных «Результаты анализа содержания частиц микропластика в местах отбора». В пределах данной интерактивной карты к локализациям мест отбора

образцов привязаны численные значения результатов исследования, в частности указаны такие показатели, как общее число частиц, число частиц на литр, количество гранул, нитей, пленок, фрагментов и шариков.

С использованием представленной базы данных возможна реализация целой серии тематических (аналитических и оценочных) картосхем, которые будут отображать результаты проведенных полевых и лабораторных работ. В частности, было выполнено несколько карт с использованием типа легенды «Масштабируемый символ» (рис. 3), отображающих полученные данные на уровне равноинтервального пятибалльного ранжирования.

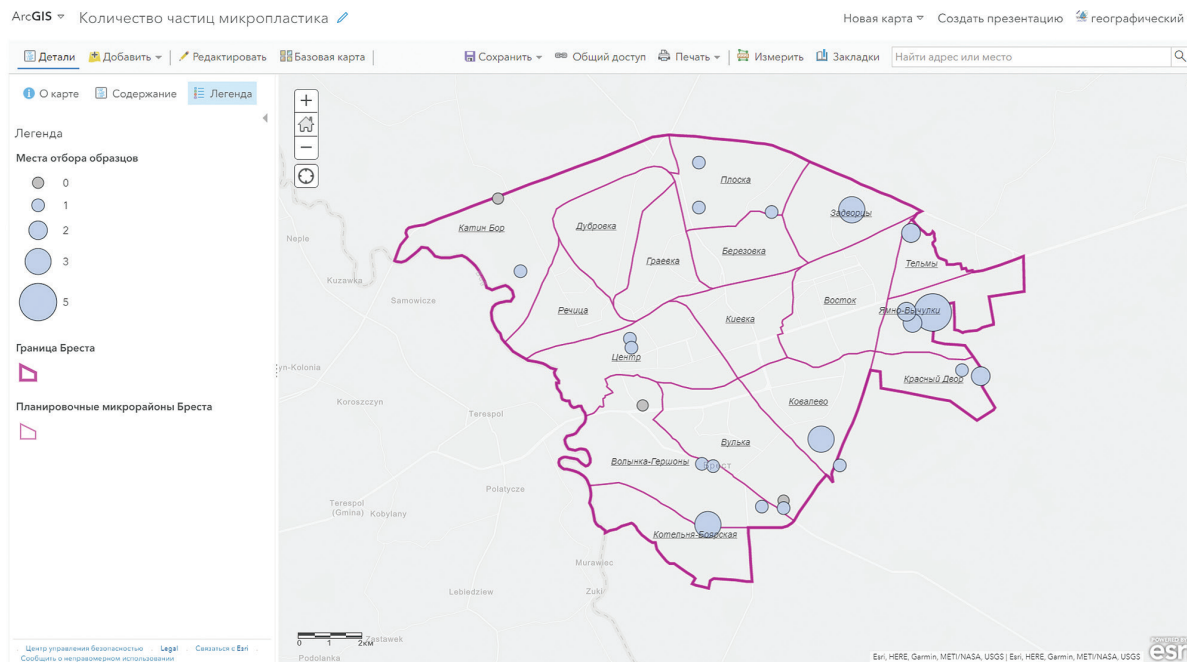


Рис. 3. Карта «Количество частиц микропластика»

Fig. 3. Map «The amount of microplastic particles»

Данные карты находятся в свободном доступе в сети Интернет и могут не только просматриваться другими пользователями, но и на их основе можно создавать другие карты и картосхемы с использованием собственной учетной записи ArcGIS Online.

Составленные интерактивные гидрографические карты имеют ряд особенностей, связанных с возможностями облачной платформы картографирования ArcGIS Online и подчеркивающих преимущества реализации веб-карт:

- 1) все варианты карт наложены на карты-подложки, в качестве подложки преимущественно использовался космический снимок с надписями либо карта OpenStreetMap; в то же время, любой пользователь имеет возможность заменить карту-подложку (например, на карту дорожной сети или светло-серое полотно) самостоятельно;
- 2) каждая интерактивная карта имеет легенду, а некоторые карты – подписи; например, в большинстве карт подписаны планировочные микрорайоны города;
- 3) каждая интерактивная карта имеет настроенное всплывающее окно, при открытии которого можно получить основные данные (название, площадь, периметр и т. д.) о каждом из водоемов;
- 4) к каждой карте привязана таблица, включающая качественные и количественные характеристики водоемов, либо места отбора образцов. Итак, открывая указанные карты в своей учетной записи ArcGIS Online можно реализовывать выборки и работать с ними, а также создавать на их основе новые интерактивные карты.

Заключение

Таким образом, в ходе выполнения данного исследования была разработана и апробирована на примере водоемов г. Бреста методика изучения содержания частиц микропластика в воде. Инвентаризация водоемов города с использованием разных типов материалов (карт, космических снимков и др.) позволила выделить в черте города 432 водоема. Была выполнена классификация водоемов с учетом размера, происхождения котловины, назначения, состояния водосборов и других факторов.

Для выполнения оценки содержания частиц микропластика в воде было отобрано 25 репрезентативных водоемов. Отборы проб проходили в весенне-летний период. В результате полевых исследований

проводилось фотографирование водоема в месте отбора проб, определение GPS-координат мест отбора, краткое описание водоема, берега возле которого осуществлялся отбор, а также особенностей воды. При изучении полученных фильтров под микроскопом осуществлялся общий подсчет частиц микропластика, подсчет частиц по видам (гранулы, нити, пленки, фрагменты, шарики), фотографирование фильтра.

Анализ отобранных образцов свидетельствует о том, что 87 % исследуемых водоемов содержит частицы микропластика. Частицы микропластика отличались по форме: шарики составили 5,33 %, фрагменты – 13,33 %, гранулы – 16 %, пленки – 25,33 %, нити – 40 %. Также была рассчитана концентрация частиц микропластика на 1 л исследуемой воды: диапазон концентрации в исследуемых пробах составил: от 0 до 0,08 частиц / 1 литр.

С использованием облачного выювера ArcGIS Online создана серия базовых интерактивных гидрографических карт, которые отображают результаты основных этапов исследования. Они сгруппированы в несколько блоков, исходя из разработанных этапов исследования. Данные карты находятся в свободном доступе в сети Интернет, могут просматриваться другими пользователями, на их основе можно создавать другие карты и картосхемы с использованием учетной записи ArcGIS Online.

Библиографические ссылки

1. Томпсон РС. Микропластики в морской среде: источники, последствия и решения [Интернет]. 2015 [Прочитано 5 сентября 2019]. Доступно по: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-16510-3_7.
2. Wright SL, Rowe D, Thompson RC, Galloway TS. Microplastic ingestion decreases energy reserves in marine worms. *Biosciences, College of Life and Environmental Sciences, University of Exeter*. 2014; 23:1031–1033.
3. Duis K, Coors A. Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects. In: *Environmental Sciences Europe*. Munchen: Springer; 2016. p. 124.
4. Graca B, Szewc K, Zakrzewska D, Dołęga A, Szczerbowska-Boruchowska M. Sources and fate of microplastics in marine and beach sediments of the Southern Baltic Sea—a preliminary study. *Environment Science Pollution Resources*. 2017; 2; 7650–7661.
5. Patricia L, Corcoran M., C. Biesinger M. Plastics and beaches: A degrading relationship. *Science Direct*. 2009; 58; 80–89.
6. Центр экологических решений [Интернет]. [Прочитано 21 января 2019 г.]. Доступно по: <https://ecoidea.by/ru/article/3369.htm/>.
7. Аляутдинов АР, Ушакова ЛА, Чистов СВ. Информационное обеспечение эколого-географического исследования и картографирования водоемов. *Вопросы географии*. 2017;144:153168.
8. Макаров ВЗ, Новаковский БА, Чумаченко АН. *Эколого-географическое картографирование городов*. Москва: Научный мир, 2002.
9. Токарчук ОВ, Токарчук СМ. Картирование озерно-бассейновых систем территории Национального парка «Нарочанский». *Псковский регионологический журнал*. 2018;4(36):65–81
10. Толкач ГВ, Токарчук СМ, Позняк СС. Визуализация данных о содержании тяжелых металлов в почвах Брестского района с использованием ГИС-технологий. *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*. 2017;4:118–123.
11. Токарчук СМ, Колбас АВ, Токарчук ОВ. Web-картографирование ботанических коллекций Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина для целей экологического образования и воспитания. *Псковский регионологический журнал*. 2018;1 (33):100–116.

References

1. Thompson RC. Microplastics in the Marine Environment: Sources, Consequences and Solutions [internet]. 2015 [cited 2019 September 5]. Available from: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-16510-3_7. Russian.
2. Wright SL, Rowe D, Thompson RC, Galloway TS. Microplastic ingestion decreases energy reserves in marine worms. *Biosciences, College of Life and Environmental Sciences, University of Exeter*. 2014; 23:1031–1033.
3. Duis K., Coors A. Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects. In: *Environmental Sciences Europe*. Munchen: Springer; 2016. p. 124.
4. Graca B, Szewc K, Zakrzewska D, Dołęga A, Szczerbowska-Boruchowska M. Sources and fate of microplastics in marine and beach sediments of the Southern Baltic Sea—a preliminary study. *Environment Science Pollution Resources*. 2017; 2; 7650–7661.
5. Patricia L, Corcoran M., C. Biesinger M. Plastics and beaches: A degrading relationship. *Science Direct*. 2009; 58; 80–89.
6. *Centr ekologicheskikh reshenij* [Center for environmental solutions] [Internet]. [Cited 2019 January 01]. Available from: <https://ecoidea.by/ru/article/3369.htm/>. Russian.
7. Alyautdinov AR, Ushakova LA, Chistov SV. *Informatsionnoe obespechenie ekologo-geograficheskikh issledovaniy i kartografirovaniye vodoemov* [Information support of ecological and geographical research and mapping of water bodies]. *Voprosy geografii*. 2017;144:153–168. Russian.
8. Makarov VZ, Novakovsky BA, Chumachenko AN. *Ekologo-geograficheskikh kartografirovaniye gorodov*. [Geoeological mapping cities]. Moscow: Nauchnyj mir, 2002. Russian.
9. Tokarchuk OV, Tokarchuk SM. *Kartografirovaniye ozerno-basseyonnykh sistem territorii Natsional'nogo parka «Narochanskiy»* [Mapping of lake-basin systems of the territory National park «Narochansky»]. *Pskovskij regionologicheskij zhurnal*. 2018;4 (36):65–81. Russian.
10. Tolkach GV, Tokarchuk SM, Poznyak SS. *Vizualizatsiya dannykh o sodержanii tazhelykh metallov v pchvakh Brestskogo rayona s ispol'zovaniem GIS-tekhnologii* [Visualization of data on the content of heavy metals in the soils of the Brest region using GIS technologies]. *Vestnik Belorusskoj gosudarstvennoj sel'skokhozyajstvennoj akademii*. 2017;4:118–123. Russian.
11. Tokarchuk SM, Kolbas AP, Tokarchuk OV. *Web-kartografirovaniye botanicheskikh kollektiy Brestskogo gosudarstvennogo universiteta imeni A. S. Pushkina dlya tselej ekologicheskogo obrazovaniya i vospihaniya* [Web-cartography of botanical collections of the Brest State University named after A. S. Pushkin for the purposes of environmental education and enlightenment]. *Pskovskij regionologicheskij zhurnal*. 2018;1(33):100–116. Russian.