

## Метод определения микропластика в современных осадках городской территории

Перькова Е. Н.<sup>1</sup>, Селезнев А. А.<sup>1</sup>, Панкрушина Е. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, [contact@urfu.ru](mailto:contact@urfu.ru)

<sup>2</sup> Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург, [director@igg.uran.ru](mailto:director@igg.uran.ru)

**Аннотация.** Одной из значимых проблем городских территорий является обеспечение безопасности среды обитания человек. Потенциально опасными веществами в городской среде являются тяжелые металлы, взвешенные вещества, органические токсиканты, биологические загрязнители. В последние десятилетия этот ряд веществ дополнился микропластиком. Настоящее исследование направлено на разработку методики качественного определения содержания микропластика в пыле-грязевых отложениях урбанизированной территории на примере города Екатеринбург. Современные поверхностные отложения городских территорий являются одним из перспективных индикаторов при проведении геохимической оценки экологического состояния городов. Были отобраны пробы пыле-грязевых осадков из локальных понижений микрорельефа на шести различных площадках. Использовались такие методы анализа как, визуальная диагностика с применением оптического микроскопа и Рамановская спектроскопия. По результатам работы был составлен каталог фотографий найденных частиц микропластика с их описанием и получены Рамановские спектры для некоторых выбранных частиц.

**Ключевые слова:** микропластик, дорожная пыль, загрязнение, урбанизированная среда, Рамановская спектроскопия, визуальная диагностика.

## Method for the identification of microplastics in urban contemporary sediments

Perkova E. N.<sup>1</sup>, Seleznev A. A.<sup>1</sup>, Pankrushina E. A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> UrFU named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, [contact@urfu.ru](mailto:contact@urfu.ru)

<sup>2</sup> Institute of Geology and Geochemistry UrB RAS, Ekaterinburg, [director@igg.uran.ru](mailto:director@igg.uran.ru)

**Abstract.** One of the most important problems of urban areas is to ensure the safety of the human environment. Potentially pollutants in the urban environment are heavy metals, suspended solids, organic toxicants, biological pollutants. In recent decades, this range of substances has been supplemented by microplastics. The study is aimed at developing a methodology for qualitative measurement of microplastic content in sediments of dust and dirt of urbanized territory on the example of the city of Yekaterinburg. Contemporary surface sediments of urban areas are one of the perspective indicators for geochemical assessment of the ecological situation in cities. Samples of surface sediments were taken from local lowlands of microrelief at six different places. Such methods of analysis as visual diagnostics with optical microscope and Raman spectroscopy were used. Based on the results of the work, a catalog of photographs of found microplastic particles with their description was compiled and Raman spectra for some selected particles were obtained.

**Keywords:** microplastics, road dust, pollution, urban environment, Raman spectroscopy, visual diagnostics.

### Введение

Под микропластиком понимаются полимерные частицы размером < 5 мм. Фрагменты полимеров могут попадать в окружающую среду из разных источников: косметика, одежда, промышленные процессы, разрушение пластиковых предметов (Alak et al., 2022). Микропластик постоянно перераспределяется в окружающей среде (Honqwei et al., 2020).

Основная часть пластиковых отходов находится на поверхности земли либо захоронена. Микропластик распространился во всех геосферах планеты. Почва, содержащая пластиковые отходы, является основным источником загрязнения микропластиком для атмосферного воздуха, водных объектов и живых организмов. Основная экологическая опасность микропластика заключа-

ется в том, что он может попадать в организм человека через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт и кожу. Микропластик хорошо сорбирует многие токсичные соединения, а также может содержать добавки в виде тяжелых металлов и органических веществ (Honqwei et al., 2020).

В настоящее время нет законодательной базы, которая бы регулировала проблему загрязнения окружающей среды полимерными веществами. Нет норм содержания полимерных веществ в окружающей среде.

Среди методов определения микропластика выделяют качественные и полуколичественные. Рамановская спектроскопия позволяет идентифицировать частицы микропластика по спектрам рассеянного света, однако точная идентификация полимеров требует наличия библиотек спектров (Araujo et al., 2018; Zhang et al., 2018; Mattsson et al., 2022). ИК-Фурье спектроскопия основана на анализе излучения инфракрасного диапазона, которое поглощается на определенных частотах, связанных с энергией колебаний межатомных связей в молекуле полимера. При использовании ИФ-Фурье спектроскопии необходима обработка исследуемых материалов, чтобы избежать спектральных артефактов (Andoh et al., 2023). Масс-спектрометрия имеет высокую эффективность в определении частиц полиэтилена, полипропилена, полистирола и нейлона фракций < 1 мм (Fischer et al., 2017). Визуальная диагностика – простой и легкий метод идентификации частиц микропластика по морфологическим признакам (Kotar et al., 2022). Все методы определения полимеров требуют наличия стандартного образца с известным содержанием определяемого полимера и библиотеки спектров.

Оценки количества полимерного вещества в окружающей среде основаны на знании количества пластика в разных ее компонентах. Для разных регионов мира получаемые количества полимеров, их типы, формы и размеры варьируются в широких пределах.

На сегодняшний день немного данных о содержании микропластика в объектах окружающей среды на территории России. Существует необходимость разработки методик, подходов, научного задела для проведения оценок количества полимерного вещества в окружающей среде, и подходов к его нормированию в объектах окружающей среды, в особенности для урбанизированной среды. Для России такие исследования особенно актуальны, т. к. 75 % населения страны проживает на городских территориях и постоянно контактирует с полимерными веществами.

Одним из перспективных геоиндикаторных компонентов для проведения оценки экологического состояния городских территорий являются различные типы современных поверхностных осадков (дорожная пыль, отложения в локальных понижениях микрорельефа, осадки ливневой канализации) (Seleznev et al., 2019). Депонирующие среды интегрируют поверхностные миграционные потоки поллютантов и вещества в городской среде. Знание о содержании полимерных веществ в этих объектах окружающей среды в значительной мере дополнит представление о воздействии в окружающей среде на человека, кроме того вещественный анализ этих объектов может стать основой для проведения экологической оценки территорий.

### **Материалы и методы**

#### *Описание объекта опробования*

Объектом опробования являются различные типы современных поверхностных депонированных отложений: дорожная пыль и отложения в локальных понижениях микрорельефа (Seleznev et al., 2019). Понижениями микрорельефа выступают, сточные канавы и ямы на поверхностях, в которых накапливается масса пылегрязевых осадков в результате их миграции под действием факторов среды таких как, дождь, таяние снега и перенос пыли под действием воздушных масс. Дорожная пыль образуется на дорогах и в прибордюрных зонах, скапливается в результате схода с газона части грунта в результате выпадения дождей и таяния снега, обработки проезжей части в зимний период противогололедными материалами, выноса грязи на колесах машин при выезде из частного сектора и с территорий строительных площадок.

Пробы отбирались в теплый сезон года в сухое время. Отбор проб производился в шести различных местах. Из шести отобранных проб, три пробы отбирались на территории внутри двора, три на территориях снаружи двора.

### *Отбор проб и пробоподготовка*

Пробы отбирались массой примерно 1 кг. Отобранные пробы сушились при комнатной температуре. Отбор проб производился совком из нержавеющей стали, пробы отбирались в стеклянные химические стаканы. Площадки располагались в окрестностях лаборатории, где в дальнейшем анализировались. При отборе и подготовке проб исключалось использование полимерной посуды и предметов, чтобы избежать загрязнения пробы.

Сухую пробу просеивали через сито из нержавеющей стали с размером ячеек 3 мм с использованием керамического пестика. Для дальнейшего анализа была взята фракция < 3 мм; фракция больше 3 мм выбрасывалась. После ситования проба квартовалась. Из пробы выбирались параллельные навески массой примерно 50 г. Каждая навеска взвешивалась.

Полимерное вещество пробы отделялось от минеральной матрицы методом отстаивания в растворе соли NaCl, с концентрацией 120 г/л. Концентрированный раствор NaCl готовили в стеклянных стаканах, перемешивали стеклянной палочкой. Отделенный при помощи фильтрации, флотат, содержащий полимерное вещество, сушился на стеклянных чашках Петри и закрывался стеклянными крышками. Пробы высушивались при комнатной температуре. Навески хранились в бумажных конвертах.

### *Инструментальные методы анализа*

Качественный анализ частиц методом Рамановской спектроскопии проводился на спектрометре LabRam HR 800 Evolution (Horiba Scientific) в ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УРО РАН. Визуальная диагностика частиц методом оптической микроскопии проводилась с помощью микроскопа с увеличением в 4 и 10 раз.

### **Результаты и обсуждение**

#### *Результаты визуальной диагностики*

Из шести выбранных навесок оператором было выделено 235 частиц, обладающих морфологическими признаками полимеров. Составлен каталог с фотографиями частиц. У всех частиц были охарактеризованы морфологические признаки. Частицы были систематизированы по классам.

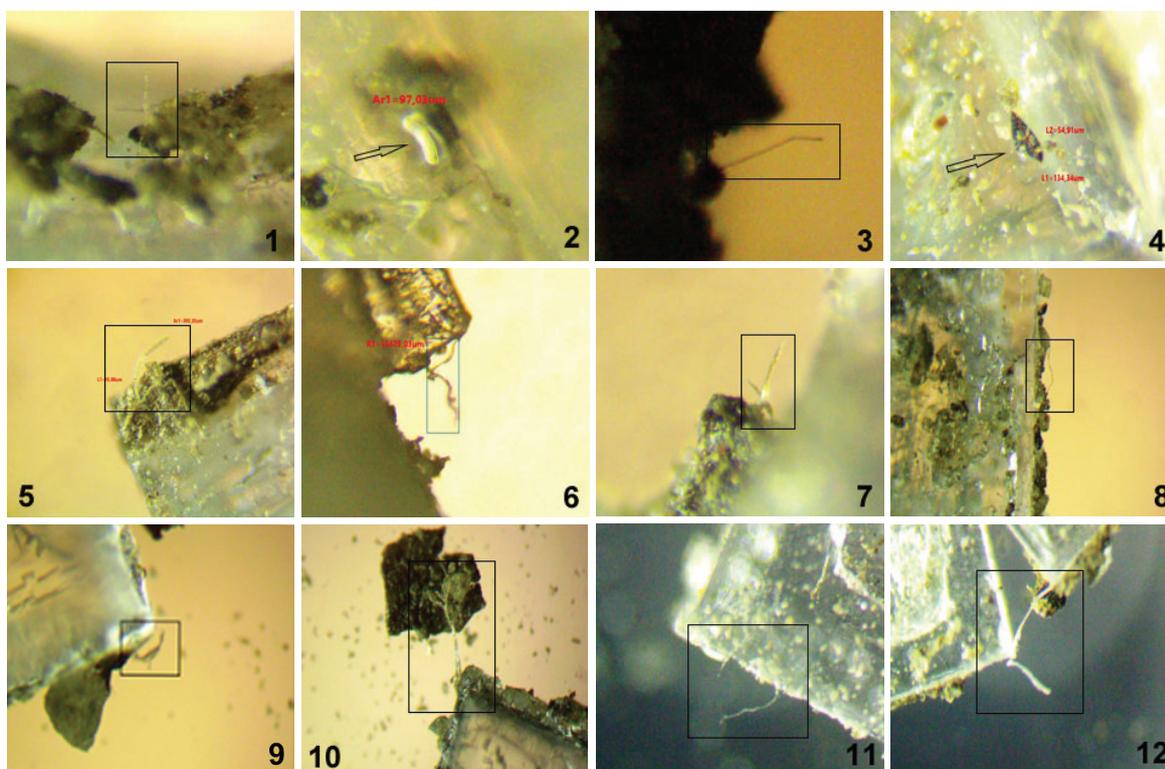


Рис. 1. Снимки характерных частиц  
Fig. 1. Pictures of characteristic particles

На рис. 1 и 2 представлены частицы, отнесенные к полимерным по результатам визуального анализа, в табл. 1 приведено описание этих частиц.

Таблица 1. Описание частиц представленных на рис.1 и 2  
 Table 1. Description of the particles shown in Fig.1 and 2

№ п/п	Описание частицы
1	Частица прозрачная, бесцветная, длиной порядка 200 мкм. Есть изгиб
2	Частица белого цвета, округлой формы, гладкая поверхность. Длина 97 мкм и ширина 30 мкм
3	Частица черного цвета, волокно, есть изгиб. Длина 150 мкм
4	Частица черного цвета, ломаные края, ассиметричная. Размеры 134 × 54 мкм
5	Частица прозрачная, бесцветная, волокно, поверхность гладкая, есть изгиб. Длина 305 мкм, ширина 10 мкм
6	Частица прозрачная, бесцветная, имеет множество изгибов. Длина порядка 230 мкм
7	Частица прозрачная, бесцветная, поверхность гладкая. Длина 100 мкм
8	Частица черного цвета, волокно, очень тонкое, имеет изломы по всей длине. Длина примерно 200 мкм
9	Частица белого цвета, волокнистая. Длина 150 мкм
10	Частица прозрачная, бесцветная, волокнистая, витая из нескольких более тонких волокон. Длина порядка 250 мкм
11	Частица прозрачная, бесцветная, волокно, изогнутая. Длина 200 мкм
12	Частица белого цвета, волокно, с резким изломом на 90°. Длина 350 мкм
13	Частица красного цвета, вытянутой формы, полностью погруженная в соль, есть плавный излом. Длина 700 мкм
14	Частица желтого цвета с округлыми краями. Размеры 330 × 148 мкм
15	Частица белого цвета, волокнистая структура. Размеры 620 × 430 мкм
16	Частица черного цвета, волокно, гладкая поверхность, с изгибом. Длина видимой части 460 мкм, общая длина 1430 мкм
17	Частица белого цвета, вытянутой формы. Длина 1200 мкм
18	Частица белого цвета, волокно, расщепленное на несколько более тонких. Длина 480 мкм
19	Частица прозрачная, бесцветная, волокно, гладкая поверхность. Волокно имеет изгибы и резкий излом. Длина примерно 600 мкм
20	Частица желтого цвета, волокно, поверхность гладкая, есть изгиб. Длина 300 мкм
21	Частица белого цвета, волокно, с резкими изломами по всей длине. Длина 380 мкм
22	Частица черного цвета, тонкое волокно. Длина 350 мкм
23	Частица желтого цвета, овальной формы. Примерный размер 210 × 150 мкм
24	Частица красного цвета, волокно, имеет гладкую поверхность, есть изгиб. Длина 480 мкм
25	Частица белого цвета, имеет сложную структуру, состоящую из множества волокон, имеют изломы. Длина порядка 1000 мкм
26	Частица белого цвета, поверхность гладкая. Размеры 68 × 35 мкм
27	Частица белого цвета, имеет сложную скрученную форму и состоящую из множества тонких волокон. Размер порядка 850 × 270 мкм
28	Частица белого цвета, состоит из нескольких тонких волокон. Длина 600 мкм
29	Частица черного цвета, волокно, поверхность гладкая, изогнуто. Длина 260 мкм
30	Частица прозрачная, бесцветная, волокно, изогнуто в разные стороны. Длина 1320 мкм
31	Частица белого цвета, сферической формы, структура вспененная. Диаметр 120 мкм
32 33 34	Частица черного цвета, поверхность гладкая, есть блеск. Размер 62 мкм. Таких частиц было найдено много, минимальный диаметр найденной частицы составляет 10 мкм, максимальный 62 мкм
35	Частица прозрачная, красного цвета. Размер 50 × 14 мкм
36	Частица, бесцветная, прозрачная. Имеет сферическую форму. Диаметр 35 мкм

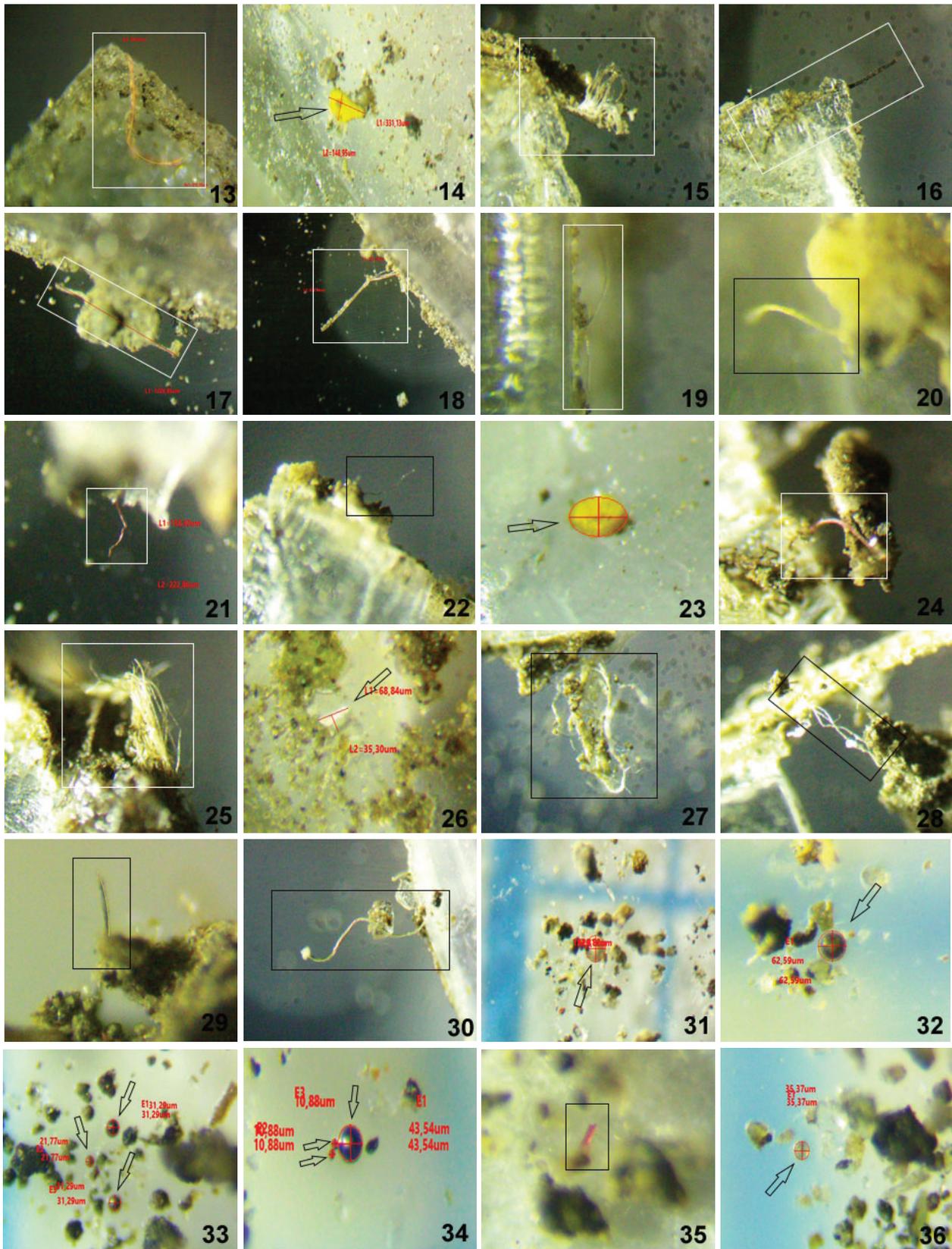


Рис. 2. Снимки характерных частиц  
Fig. 2. Pictures of characteristic particles

### Результаты Рамановской спектроскопии

Десять типичных частиц разных классов из 235 были проанализированы на Рамановском спектрометре. Из десяти частиц уверенно удалось идентифицировать как полимерное вещество только одну. На рис. 3–4 показаны внешний вид частиц полимерного вещества и соответствующие им Рамановские спектры. Остальные частицы надежно идентифицировать как какой-то конкретный полимер по полученным пикам на Рамановском спектре невозможно.

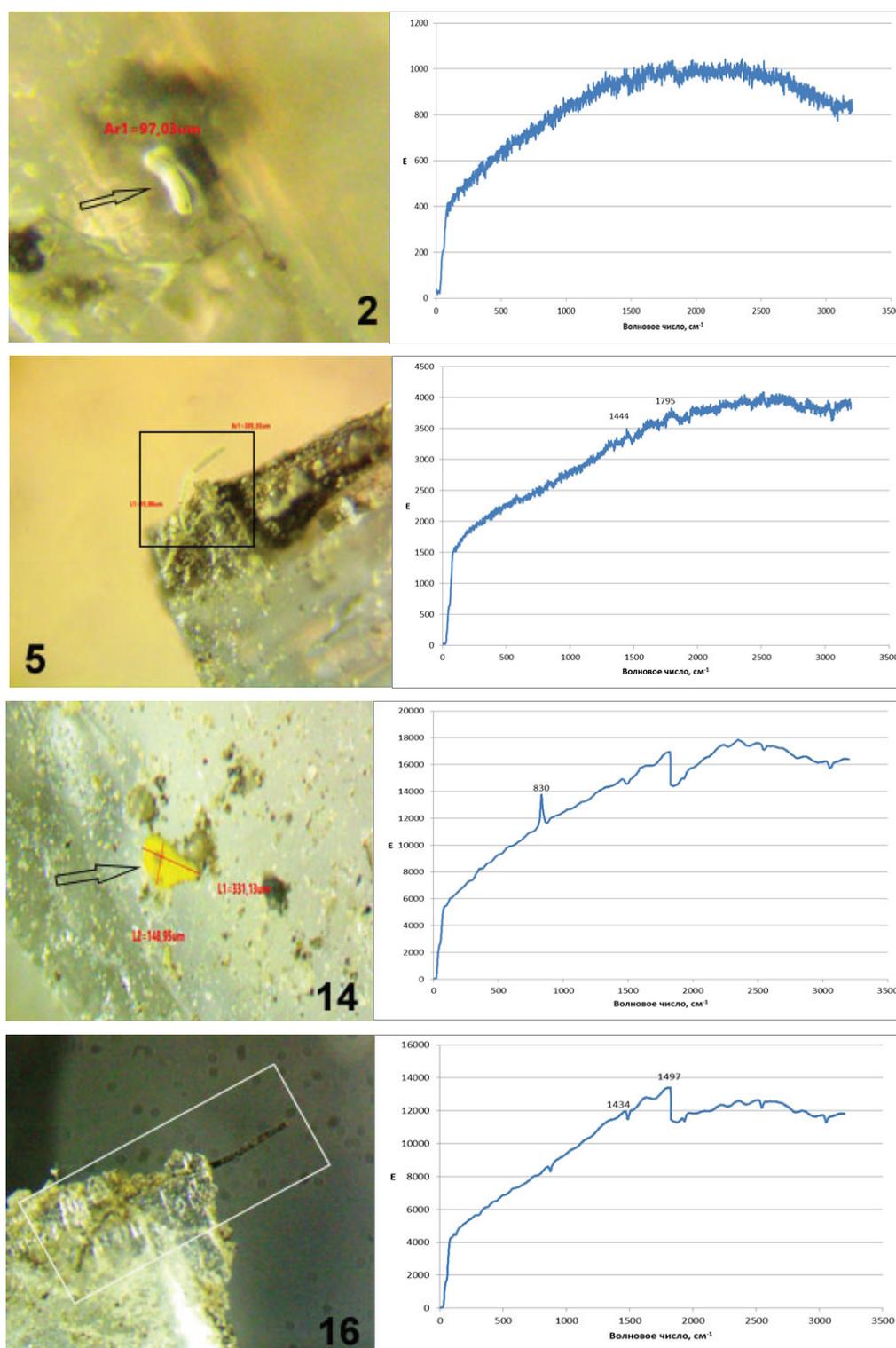


Рис. 3. Снимок частицы и ее Рамановский спектр  
Fig. 3. Particle picture and its Raman spectrum

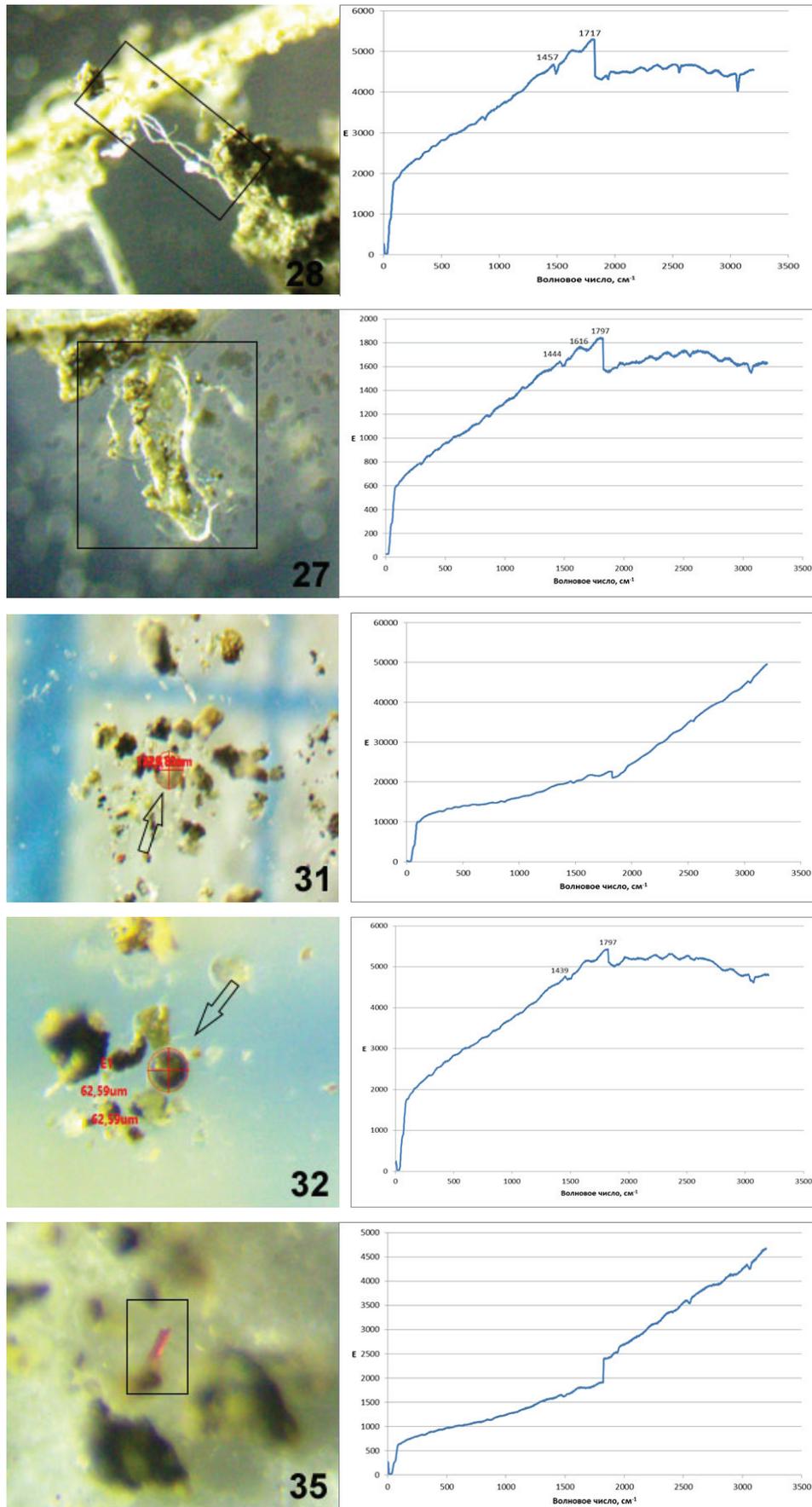


Рис. 4. Снимок частицы и ее Рамановский спектр  
Fig. 4. Particle picture and its Raman spectrum

При анализе отдельных частиц методом Рамановской спектроскопии для 9 частиц из 10 было найдено по одному пику в определённой области энергий (Zhang et al., 2018). Все полимерные вещества должны иметь несколько пиков на Рамановском спектре, уверенная идентификация полимерного вещества означает наличие минимум двух пиков. Отсутствие пиков на спектре вызвано погрешностями, связанными с присутствием элементов имеющих энергию близкую к объекту исследования, неточное попадание лазера в исследуемое вещество, недостаточная пробоподготовка (не полностью были отмыты пробы от соли), плохое наведение лазера оператором в процессе измерения.

### **Заключение**

Визуальный анализ в комбинации с Рамановской спектроскопией отдельных частиц схожих по внешнему виду с полимерными не позволяет уверенно идентифицировать полимерные вещества в объектах современной городской среды. Таким образом, можно сделать вывод, что метод плохо подходит для качественного и не подходит для количественного определения частиц микропластика в объектах окружающей среды. Ручное выделение частиц из пробы, их идентификация под оптическим микроскопом и совмещенная с ними Рамановская спектроскопия является очень трудозатратной, и не позволяет проанализировать большое количество частиц за малое время.

### **Благодарности**

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 24-17-20036) и Правительства Свердловской области (проект 24-17-20036).

### **Литература**

1. Alak G., Uçar A., Parlak V., Atamanalp M. Identification, characterisation of microplastic and their effects on aquatic organisms // *Chemistry and Ecology*. 2022. V. 38, No. 10. P. 967–987. <https://doi.org/10.1080/02757540.2022.2126461>.
2. Andoh C. N. et al. Fourier Transform Infrared Spectroscopy: An analytical technique for microplastic identification and quantification // *Infrared Physics & Technology*. V. 135. Elsevier Science Publishing Company, Inc., 2024. P. 105070. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2023.105070>.
3. Araujo C. et al. Identification of microplastics using Raman spectroscopy: Latest developments and future prospects // *Water research*. 2018. V. 142. P. 426–440. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.05.060>.
4. Fischer M., Scholz-Böttcher B. M. Simultaneous trace identification and quantification of common types of microplastics in environmental samples by pyrolysis-gas chromatography–mass spectrometry // *Environmental science & technology*. 2017. V. 51, No. 9. P. 5052–5060. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b06362>.
5. Honqwei L., Yaoyao Z., Yu L., Yahui X., Dongqin H., Xiangliang P. Aging of microplastics affects their surface properties, thermal decomposition, additives leaching and interactions in simulated fluids // *Science of The Total Environment*. 2020. V. 714, No. 136862. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136862>.
6. Kotar S. et al. Quantitative assessment of visual microscopy as a tool for microplastic research: Recommendations for improving methods and reporting // *Chemosphere*. 2022. V. 308. P. 136449. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136449>.
7. Mattsson K. et al. Comparison of pre-treatment methods and heavy density liquids to optimize microplastic extraction from natural marine sediments // *Scientific Reports*. 2022. V. 12, No. 1. P. 15459. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-19623-5>.
8. Naifu J., Yizhi S., Rui M., Junyi L., Guanghe L., Dayi Z. Characterization and identification of microplastics using Raman spectroscopy coupled with multivariate analysis // *Analytica Chimica Acta*. 2022. V. 1197. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2022.339519>.
9. Seleznev A. et al. Mineral phase composition of the surface dirt sediment in an urban environment // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2019. V. 317, No. 1. P. 012009. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/317/1/012009>.
10. Zhang S. et al. A simple method for the extraction and identification of light density microplastics from soil // *Science of the Total Environment*. 2018. V. 616. P. 1056–1065. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.213>.