

## Рой микророботов научили очищать почву и воду от микропластика: за час они собирают до 94% частиц



Дата публикации: 10.08.2026

Микропластик превратился в один из самых сложных загрязнителей окружающей среды. Частицы размером менее пяти миллиметров обнаруживают в морской и пресной воде, почве и живых организмах. Главная проблема заключается не только в масштабах загрязнения, но и в том, что собрать эти частицы после попадания в окружающую среду чрезвычайно трудно.

Особенно сложная ситуация возникает в почве. Крупный пластиковый мусор можно увидеть и физически удалить, тогда как микроскопические фрагменты проникают между минеральными частицами, органическими остатками и заполненными водой порами. Обычный фильтр туда просто не доберется.

Необычное решение предложили исследователи из Чехии. Они разработали микроскопических роботов, способных двигаться под действием внешнего магнитного поля, находить частицы пластика, прикрепляться к ним и транспортировать загрязнение. После этого весь рой вместе с собранным

микропластиком можно извлечь магнитом.

Работа, опубликованная в *npg Asia Materials*, пока представляет собой лабораторную демонстрацию технологии. Однако полученные результаты впечатляют: в экспериментах с водой микророботы удаляли до 94% одного из исследованных видов пластиковых частиц примерно за час.

Основой необычных уборщиков стал материал MXene. Это класс двумерных материалов, структура которых состоит из чрезвычайно тонких слоев. Большая площадь поверхности и химические свойства делают такие частицы интересными для взаимодействия с различными загрязнителями.

В данном случае поверхность MXene играет роль своеобразной ловушки. При столкновении с микропластиком частицы способны удерживать его на себе. Но если просто добавить такой материал в загрязненную среду, его возможности будут ограничены: он взаимодействует главным образом с тем пластиком, который случайно оказывается рядом.

Исследователи решили заставить частицы самостоятельно перемещаться. Для этого MXene покрыли магнитными наночастицами никеля. После такой модификации поведение микрочастиц можно контролировать с помощью создаваемого извне вращающегося магнитного поля.

Разумеется, речь идет не о роботах в привычном представлении — у них нет процессоров, камер, механических рук или автономного искусственного интеллекта. Название «микроробот» здесь относится к микроскопической управляемой системе, способной совершать направленное движение и выполнять конкретную физическую задачу.

При включении магнитного поля частицы начинают вращаться, переворачиваться и перемещаться. Особенно интересным оказалось их поведение в почве. Роботы способны двигаться через микроскопические пространства, заполненные водой, и контактировать с пластиковыми частицами, застрявшими внутри почвенной структуры.

Это принципиально отличает технологию от обычной пассивной адсорбции. Представить разницу можно на простом примере. Если оставить губку неподвижно в загрязненной воде, она соберет только то, что непосредственно соприкоснется с ее поверхностью. Если же активно перемещать ее по всему объему, вероятность контакта с загрязнителем резко возрастет.

Похожий эффект исследователи получили на микроскопическом уровне. Двигающиеся частицы MXene чаще сталкивались с микропластиком и захватывали его. В почве движение дополнительно помогало добраться до

пластика, находящегося между другими частицами.

После завершения очистки происходил еще один важный этап. Поскольку микророботы обладали магнитными свойствами, исследователи могли собрать их внешним магнитом. Вместе с ними из среды удалялся и прикрепившийся пластиковый груз.

Ученые проверяли технологию на двух широко известных полимерах — полистироле и полиэтилентерефталате, или ПЭТ. Последний используется, в частности, при производстве бутылок и другой пластиковой упаковки.

В водной среде примерно за час микророботы смогли удалить около 94% тестовых частиц полистирола и около 89% частиц ПЭТ. Для технологии, находящейся на экспериментальной стадии, это высокий показатель.

Еще интереснее было проверить систему в почве, поскольку именно здесь традиционные методы очистки сталкиваются с серьезными ограничениями. В модельных почвенных образцах удалось удалить около 81% полистирола и 72% ПЭТ.

Эффективность оказалась выше, чем при использовании того же материала МХене без магнитного движения. Это подтвердило предположение ученых: активное перемещение микрочастиц действительно помогает находить и собирать загрязнение, а не просто ждать случайного контакта с пластиком.

Потенциальное значение такой технологии выходит далеко за пределы очистки одного стакана воды в лаборатории. Микропластик в почве представляет особую проблему для сельского хозяйства и природных экосистем. Он способен влиять на физические свойства грунта, взаимодействовать с микроорганизмами и вмешиваться в процессы круговорота питательных веществ.

Частицы пластика могут также попадать в водные системы и взаимодействовать с живыми организмами. Поэтому ученые ищут методы, позволяющие не только предотвращать новое загрязнение, но и удалять уже накопившийся микропластик.

Однако между успешным лабораторным экспериментом и очисткой настоящей реки или сельскохозяйственного поля существует огромная дистанция. В реальной природе микропластик имеет разные размеры, форму, химический состав и степень старения. Вместе с ним присутствуют минералы, органические вещества, микроорганизмы и множество других частиц.

Возникает и важный парадокс: технология, предназначенная для удаления

одного загрязнителя, не должна сама создавать новый. В составе экспериментальных микророботов присутствуют магнитные наночастицы никеля, поэтому необходимо исключить опасное высвобождение металлических компонентов в окружающую среду.

Не менее важно гарантировать практически полное извлечение самих микророботов. Если значительная их часть после очистки останется в почве или воде, экологическая польза технологии окажется сомнительной.

Следующая задача — масштабирование. Очистить небольшой лабораторный образец и обработать тысячи кубометров загрязненной почвы — совершенно разные инженерные задачи. Потребуются эффективные системы создания магнитных полей, способы внесения и сбора микророботов, а также технологии их повторного использования.

Тем не менее сама концепция открывает интересное направление экологической инженерии. Вместо того чтобы пропускать огромные объемы почвы через сложное оборудование, можно попытаться отправить активный очищающий материал непосредственно туда, где находятся загрязняющие частицы.

В перспективе подобные системы могут стать платформой не только для микропластика. Изменяя свойства поверхности микророботов, теоретически можно создавать материалы, рассчитанные на взаимодействие с различными загрязнителями. Но возможность такого применения еще предстоит подтвердить экспериментально.

Пока разработку правильнее рассматривать не как готовую технологию очистки природы, а как доказательство работоспособности нового принципа. Ученые показали, что рой магнитно управляемых микрочастиц способен проникать в сложную среду, активно собирать микропластик и затем извлекаться вместе с ним.

Если будущие полевые испытания подтвердят эффективность и экологическую безопасность метода, микроскопические управляемые системы действительно могут стать новым инструментом борьбы с загрязнением. Возможно, один из способов справиться с миллиардами почти невидимых пластиковых частиц заключается именно в создании столь же маленьких сборщиков.

**Ссылка:** «Микророботы на основе магнитных MXene для удаления микропластика из почвы» DOI: [10.1038/s41427-026-00670-7](https://doi.org/10.1038/s41427-026-00670-7).