

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТРИТА В ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

© 2020 А.П. Садчиков, С.В. Котелевцев, С.А. Остроумов

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва (Россия)

Поступила 21.06.2017

Повторно 22.05.2020

Садчиков А.П., Котелевцев С.В., Остроумов С.А. Исследование количественных характеристик детрита в водных экосистемах. Детрит входит в состав многих водных экосистем. В этой статье изложены результаты исследований количественных параметров детритных частиц в пресноводных водоемах. Были исследованы две экосистемы: Можайское водохранилище и эвтрофный пруд в Московской области (Российская Федерация). Определяли размеры и численность частиц детрита в водной толще. В Можайском водохранилище мелкие частицы детрита размером до 10 мкм (микрометры) составляют 52-56% от общего количества детрита. В этом водохранилище частицы детрита размером 10-50 мкм составляют 42-55% от общего количества детрита, частицы детрита размером более чем 50 мкм составляют 1-3% от общего количества детрита. Результаты количественного изучения детрита вносят вклад в понимание структуры и функции водных экосистем.

Ключевые слова: пресноводные экосистемы, размер частиц детрита, Можайское водохранилище, эвтрофный пруд, Московская область,

Sadchikov A.P., Kotelevtsev S.V., Ostroumov S.A. Studying quantitative parameters of detritus in aquatic ecosystems. Detritus is a component of many aquatic ecosystems. In this publication, studies of quantitative parameters of detrital particles in freshwater ecosystems were reported. Quantification of detritus in water column of two freshwater ecosystems was made. The two ecosystems that were studied were Mozhaiskoe Reservoir and a eutrophic pond in Moscow Region (Russian Federation). In Mozhaiskoe Reservoir, the detrital particles with size up to 10 μm (micrometers) comprise 52-56% of the total amount of detritus particles. In Mozhaiskoe reservoir, the detrital particles with size of 10-50 μm (micrometers) comprise 42-55% of the total amount of detritus. The bigger detrital particles with size more than 50 μm comprise 1-3% of the total amount of the detritus. The studies of detritus contribute to better understanding of structure and function of aquatic ecosystems.

Keywords: freshwater ecosystems, size of detritus particles, Mozhaiskoe Reservoir, eutrophic pond, Moscow Region,

ВВЕДЕНИЕ

В столбе воды в морских и пресноводных экосистемах присутствуют частицы мертвого органического вещества (детрита, detritus) [1-11], которые представляют определенный интерес при изучении экологии водных бактерий [12], деструкционных процессов и самоочищения водоемов, а также при анализе вопросов биохимической и биогеохимической экологии [13-25].

Проводились исследования детрита в различных водных системах [15, 19, 23, 25], изучалась способность детрита иммобилизовывать и накапливать различные химические элементы [13, 14, 16-18, 20-22, 24].

Исследователями отмечалось, что обитающие на детрите бактерии физиологически более активны, чем одиночные клетки толщи вод. Кроме того, детрит обладает высокой сорбционной способностью, является центром аккумуляции на своей поверхности растворенных в воде органических веществ (РОВ, dissolved organic matter), что способствует увеличению скорости деструкционных процессов [7, 10, 11].

При отмирании клеток фитопланктона возникают взвешенные в воде частицы органического вещества, которые относительно долго находятся во взвешенном состоянии. Скорость их оседания не превышает 80-100 см в сутки, поэтому даже в относительно неглубоких водо-

Садчиков Анатолий Павлович, доктор биологических наук, профессор; *Котелевцев Сергей Васильевич*, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории физико-химии биомембран; *Остроумов Сергей Андреевич* доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории физико-химии биомембран, aquaecotox@yandex.ru

емах детрит может находиться в толще воды несколько дней, а иногда более одной недели. В мелких прудах глубиной до 2-3 м детрит оседает практически неразложившимся и дальнейшее его разрушение осуществляется уже на дне с вытекающими из этого последствиями. Такими последствиями может быть снижение содержания кислорода у дна в середине лета и заморные явления зимой [5].

В столбе воды водных экосистем представлены детритные частицы разного размера. Среди них и мелкие частицы размером несколько десятков микрометров, и более крупные частицы. Идентифицировать размер частиц, собранных в седиментационные ловушки, сложно, так как они быстро слипаются, меняют размер и форму [3, 5, 6].

В наших работах была изучена размерная структура детрита в ряде пресноводных экосистем. Среди них Можайское водохранилище и небольшой эвтрофный пруд, расположенный в непосредственной близости от биостанции «Ильинское» МГУ имени М.В. Ломоносова [2, 6].

Существенная часть находящегося в толще воды исследованных водоемов детрит имеет в основном альгогенное происхождение. Это подтверждается тем, что общая картина развития и отмирания фитопланктона и изменения количества планктонного детрита была сходной. Кроме того, увеличение количества седиментационного детрита, собранного в специальные ловушки (установлены на разных глубинах), наблюдалось сразу же после отмирания в водоемах водорослей, причем максимальные значения регистрировались в верхних слоях водоемов, где концентрировалась большая часть фитопланктона. Межгодовые различия количества детрита в водоемах коррелируют с биомассой фитопланктона [5, 6, 8-11].

Детрит является не только пищевым субстратом для водных организмов, но и поверхностью, на которой осуществляются физико-химические и микробиологические процессы, ферментативный гидролиз органического вещества [5]. В связи с этим изучение детрита и его структурных показателей имеет большое значение для изучения деструкционных процессов в водоемах.

Цель данной публикации – кратко суммировать некоторые результаты изучения размерной структуры детрита в указанных водных экосистемах.

МЕТОДИКА

Для анализа планктонного детрита батометром отбирали пробы воды на разных горизон-

тах водохранилища и пруда, и фильтровали (по 3-5 мл) через мембранные фильтры с порами диаметром 0,2 мкм. Затем фильтры окрашивали акридин-оранжевым и определяли на них количество планктонного детрита, его размерные группы (до 10 мкм, 10-50 мкм и более 50 мкм). Использовали эпифлуоресцентный микроскоп (epifluorescent microscope) МЛД-2 (900×).

Седиментационный детрит собирали на постоянных точках водохранилища и пруда в сосуды (диаметр 40 мм, высота 300 мм), подвешенные на разных глубинах. Пробы отбирали через каждые 3-4 дня. Детрит концентрировали центрифугированием в течение 5-10 минут при 5000 об/мин и использовали для дальнейшего анализа. Численность бактерий на детрите определяли по методу Звягинцева и Кожевина, описанном в руководстве [4]. Навеску влажного детрита разводили стерильной дистиллированной водой (1:10), после чего обрабатывали на измельчителе тканей (РТ-2) при 5000 об/мин. Полученную суспензию переносили в мерный цилиндр и после двухминутного отстаивания отбирали 2 мл и разводили стерильной дистиллированной водой так, чтобы конечное разведение составляло 1:1000. Далее воду энергично встряхивали, после чего пипеткой отбирали 1 мл суспензии и фильтровали через мембранный фильтр (диаметр пор 0,2 мкм) при вакууме 300 мм рт. столба. Затем бактерии на фильтре окрашивали акридин-оранжевым (Acridine Orange) и подсчитывали с помощью эпифлуоресцентного микроскопа МЛД-2 (900×). В работе использовали отечественные ядерные фильтры, произведенные в Дубне. Чтобы исключить свечение самих фильтров, их предварительно выдерживали в насыщенном спиртовом растворе судана черного Б (Sudan Black B) [12].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Многолетние исследования с использованием указанной выше методики показали, в толще воды Можайского водохранилища в основном находятся частицы размером до 50 мкм (micrometers, микрометры). А именно, до 10 мкм (micrometers, микрометры) – 52-56% общего количества детрита, 10-50 мкм – 42-55%. Частицы размером более 50 мкм были представлены незначительно – всего 1-3% и появлялись в основном во время отмирания фитопланктона. В пруду на долю частиц размером до 10 мкм приходилось 65% детрита. На долю частиц размером 10-50 мкм приходилось 34%. На долю более крупных частиц в среднем не превышало 1% детрита.

Наблюдения за структурой детрита Можайского водохранилища и эвтрофного пруда показали, что в водохранилище количество частиц детрита размером до 10 мкм в среднем было 9-10 тыс./мл, размером 10-50 мкм – 7-8 тыс./мл; в пруду – примерно в полтора раза больше – 15 и 12 тыс./мл, соответственно [5]. По другим сведениям, количество частиц детрита в водоемах разной трофности достигает ста тысяч в одном миллилитре воды [1].

Расширение сведений о размерах частиц взвешенного в воде детрита и о численности детритных частиц представляет интерес для понимания структуры и функционирования водных экосистем, в том числе пресноводных водоемов. Как отмечено выше, частицы детрита несут несколько важных функций в водных экосистемах.

С одной стороны, они входят в пищевую базу для питания многих организмов, в том числе беспозвоночных-фильтраторов воды. Тем самым они участвуют в формировании пищевых цепей (trophic chains) и трофических сетей (trophic webs).

С другой стороны, детрит участвует в процессах сорбции многих веществ, включая токсичные химические элементы. Тем самым он участвует в детоксикации (detoxification) водной среды обитания многих организмов [15, 18, 19, 25].

Еще одна важная функция детрита состоит в его взаимодействии с водными бактериями [3, 5, 6], поэтому установление количественных показателей детрита в толще воды имеет большое значение для понимания экологии бактериопланктона.

Детрит участвует в формировании качества воды и сами количественные показатели численности детритных частиц (от которых зависит прозрачность и мутность воды) имеют значение для комплекса параметров, входящих в характеристику качества воды. Это подчеркивает практическое значение полученной информации, особенно в связи с тем, что Можайское водохранилище входит в систему водоснабжения и водообеспечения крупного мегаполиса (г. Москвы).

Полученные факты дополняют количественные данные о детрите в водных экосистемах [26-42].

ВЫВОДЫ

1. Проведено изучение количественных параметров детрита в пресноводных экосистемах. В толще воды Можайского водохранилища (Российская Федерация, Московская область) частицы размером до 10 мкм (micrometers, мик-

рометры) – составляли 52-56% общего количества детрита, частицы размером 10-50 мкм (micrometers, микрометры) – 42-55%. Частицы размером более 50 мкм были представлены незначительно – всего 1-3%. В водохранилище количество частиц детрита размером до 10 мкм в среднем было 9-10 тыс./мл, размером 10-50 мкм – 7-8 тыс./мл.

2. Исследовали детрит в эвтрофированной экосистеме пруда. В изученном эвтрофном пруду (Московская область, Можайский район) на долю частиц размером до 10 мкм приходилось 65% детрита. На долю частиц размером 10-50 мкм приходилось 34%. В пруду количество частиц детрита размером до 10 мкм было в среднем 15 тыс./мл, количество частиц детрита размером 10-50 мкм – 12 тыс./мл.

3. Расширение данных о количественных параметрах детрита вносит вклад в познание структуры и функционирования пресноводных экосистем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Инкина Г.А.** Определение жизнеспособных бактерий по методу Когуре // Структура и функционирование сообществ водных микроорганизмов. Новосибирск: Наука, 1986. С. 28-33.
2. **Куликов А.С., Садчиков А.П., Максимов В.Н.** Общая активность бактерий седиментационного детрита, измеренная с помощью флуоресцеиндиацетата // Микробиологический журнал. 1989. Т. 51, № 5. С. 7-11.
3. **Куликов А.С., Садчиков А.П., Максимов В.Н.** Структура детрита и ассоциированные с ним бактерии в двух разных по трофности водоемах // Биологические науки. 1990. № 8. С. 85-93.
4. Методы почвенной микробиологии и биохимии. М.: МГУ, 1980. 224 с.
5. **Садчиков А.П.** Продуцирование и трансформация органического вещества размерными группами фито- и бактериопланктона: на примере водоемов Подмосковья: Автореферат дис. ... доктора биологических наук: 03.00.18 / МГУ им. М.В. Ломоносова. М., 1997. 53 с.
6. **Садчиков А.П., Ануфриев В.А.** Структурные характеристики бактериопланктона и детрита мезо- и эвтрофного водоемов // Биологические науки. 1991, № 11. С. 67-72.
7. **Садчиков А.П., Каниковская А.А.** Роль бактериопланктона в деструкции органического вещества Можайского водохранилища // Микробиологический журнал. 1984. Т. 46, вып. 4. С. 10-14.
8. **Садчиков А.П., Куликов А.С.** Прижизненное выделение растворенного органического вещества фитопланктоном Можайского водохранилища и его утилизация бактериальным сообществом // Информ. Бюл. Ин-т биол. внутренних вод АН СССР. 1990, № 85. С. 34-37.
9. **Садчиков А.П., Куликов А.С.** Трансформация прижизненно выделенного фитопланктоном

- органического вещества бактериальным сообществом // Гидробиологический журнал. 1990. Т. 26, № 6. С. 13-16.
10. **Садчиков А.П., Куликов А.С.** Утилизация прижизненных и посмертных выделений *Chlorella vulgaris* бактериальным сообществом // Биологические науки. 1992. № 7. С. 29-36.
11. **Садчиков А.П., Куликов А.С.** Утилизация посмертных выделений фитопланктона бактериальным сообществом // Гидробиологический журнал. 1992. Т. 28, № 5. С. 16-21.
12. **Харламенко В.И.** Определение численности и биомассы водных бактерий эпифлуоресцентным методом с использованием отечественных ядерных микрофильтров. // Микробиология. 1984. Т. 53, № 1. С. 165-166.
13. **Остроумов С.А., Демина Л.Л.** Экологическая биогеохимия и элементы (мышьяк, кобальт, железо, марганец, цинк, медь, кадмий, хром) в цистозире и биогенном детрите в морской модельной экосистеме: определение методом атомно-абсорбционной спектроскопии // Экологические системы и приборы. 2009. № 9. С. 42-45.
14. **Остроумов С.А., Демина Л.Л.** Тяжелые металлы (Fe, Mn, Zn, Cu, Cd, Cr) в биогенном детрите микрокосмов с водными организмами // Экология промышленного производства. 2010. № 2. С. 53-56.
15. **Остроумов С.А.** Новая типология вещества и роль ex-living matter (ELM) в биосфере [New typology of the matter and the role of ex-living matter (ELM)] // Ecological Studies, Hazards, Solutions. 2010. Vol. 16. P. 62-65.
16. **Остроумов С.А., Колесов Г.М.** О роли биогенного детрита в аккумуляции элементов в водных системах // Сибирский экологический журнал. 2010, № 4. С. 525-531. <https://www.researchgate.net/publication/259484692>; <http://www.scribd.com/doc/54994042>;
17. **Остроумов С.А., Колесов Г.М.** Редкие и рассеянные элементы в биогенном детрите: новая сторона роли организмов в биогенной миграции элементов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т. 12, № 1. С. 153-155.
18. **Остроумов С.А., Колесов Г.М., Моисеева Ю.А.** Изучение водных микрокосмов с моллюсками и растениями: содержание химических элементов в детрите // Вода: химия и экология. 2009. № 8. С. 18-24.
19. **Остроумов С.А.** Живое вещество и роль детрита в биогенной миграции микроэлементов // Ермаков В.В., Карпова Е.А., Корж В.Д., Остроумов С.А. Инновационные аспекты биогеохимии. М.: ГЕОХИ РАН, 2012. С. 103-133. <https://www.researchgate.net/publication/301683889>;
20. **Остроумов С.А., Колесов Г.М.** Детектирование в компонентах экосистем золота, урана и других элементов методом нейтронно-активационного анализа // Экологические системы и приборы. 2009. № 10. С. 37-40.
21. **Остроумов С.А., Колесов Г.М.** Выявление урана и тория в компонентах водных экосистем методом нейтронно-активационного анализа // Вода: химия и экология. 2009. №10. С. 36-40.
22. **Остроумов С.А., Колесов Г.М.** Водный макрофит *Ceratophyllum demersum* иммобилизует Au после добавления в воду наночастиц // Доклады Академии наук, 2010. Т. 431, № 4. С. 566-569. <https://www.researchgate.net/publication/301693440>; <http://www.scribd.com/doc/54991990/>.
23. **Johnson M.E., Ostroumov S.A., Tyson J.F., Xing B.** Study of the interactions between *Elodea canadensis* and CuO nanoparticles // Russian Journal of General Chemistry, 2011. Vol. 81, No. 13. P. 2688-2693. <https://www.researchgate.net/publication/257860248>;
24. **Ostroumov S.A.** Studying the fate of pollutants in the environment: binding and immobilization of nanoparticles and chemical elements // Ecologica. 2011. Vol. 18, No. 62. P. 129-132.
25. **Остроумов С. А.** О типологии основных видов вещества в биосфере // Экологическая химия. 2011. Т. 20(3). С. 179-188. <https://www.researchgate.net/publication/301624938>; <https://www.researchgate.net/publication/301594108>; <https://www.researchgate.net/publication/301585971>.
26. **Остапеня АП.** Детрит и его роль в водных экосистемах // Общие основы изучения водных экосистем. Л.: Наука, 1979. С. 257-271.
27. **Суценя Л.М.** Детрит и его роль в продукционном процессе в водоемах // Гидробиол. журн. 1968. 4(2). С. 77-84.
28. **Мельников И.А.** Микропланктон и органический детрит в водах юго-восточной части Тихого океана // Океанология. 1975. Т. 15, вып. 1. С. 146-156.
29. **Суценя Л.М., Финенко З.З.** Содержание взвешенного органического вещества в водах тропической Атлантики и некоторые количественные соотношения между его компонентами // Океанология. 1966. Т. 6, вып. 5. С. 835-852.
30. **Schartau M., Wallhead P., Hemmings J., Løptien U., Kriest I., Krishna S., Ward B.A., Slawig T., and Oschlies A.,** Reviews and syntheses: Parameter identification in marine planktonic ecosystem modelling. // Biogeosciences. 2017. Vol. 14(6). P. 1647-1701.
31. **Bottino F., Cunha-Santino M.B., Bianchini I.** Decomposition of particulate organic carbon from aquatic macrophytes under different nutrient conditions // Aquatic Geochemistry. 2016. Vol. 22(1). P.17-33.
32. **Wu S., He S., Huang J., Gu J., Zhou W., Gao L.** Decomposition of Emergent Aquatic Plant (Cattail) Litter Under Different Conditions and the Influence on Water Quality. // Water, Air, & Soil Pollution. 2017. Vol. 228(2). P. 70.
33. **Gladstone-Gallagher R.V., Needham H.R., Lohrer A.M., Lundquist C.J., Pilditch C.A.** Site-dependent effects of bioturbator-detritus interactions alter soft-sediment ecosystem function // Marine Ecology Progress Series. 2017. Vol. 569. P. 145-161.
34. **Martin-Creuzburg D., Kowarik C., Straile D.** Cross-ecosystem fluxes: Export of polyunsaturated fatty acids from aquatic to terrestrial ecosystems via emerg-

- ing insects // *Science of The Total Environment*. 2017. Vol. 577. P. 174-182.
35. **Bottino F., Cunha-Santino M.B., Bianchini I.** Decomposition of particulate organic carbon from aquatic macrophytes under different nutrient conditions // *Aquatic Geochemistry*. 2016. Vol. 22(1). P.17-33.
36. **Li X., Cui B., Yang Q., Lan Y.** Impacts of water level fluctuations on detritus accumulation in Lake Baiyangdian, China // *Ecohydrology*. 2016. Vol. 9(1). P. 52-67.
37. **Dalu T., Richoux N.B., Froneman P.W.** Nature and source of suspended particulate matter and detritus along an austral temperate river–estuary continuum, assessed using stable isotope analysis // *Hydrobiologia*. 2016. Vol. 767(1). P. 95-110.
38. **He W., Chen M., Schlautman M.A., Hur J.** Dynamic exchanges between DOM and POM pools in coastal and inland aquatic ecosystems: A review // *Science of the Total Environment*. 2016 . Vol. 551. P. 415-428.
39. **Gladstone-Gallagher R.V., Needham H.R., Lohrer A.M., Lundquist C.J., Pilditch C.A.** Site-dependent effects of bioturbator-detritus interactions alter soft-sediment ecosystem function // *Marine Ecology Progress Series*. 2017. Vol. 569. P. 145-161.
40. **Frainer A., Jabiol J., Gessner M.O., Bruder A., Chauvet E., McKie B.G.** Stoichiometric imbalances between detritus and detritivores are related to shifts in ecosystem functioning // *Oikos*. 2016. Vol. 125(6). P. 861-871.
41. **Graça M.A., Hyde K., Chauvet E.** Aquatic hyphomycetes and litter decomposition in tropical–subtropical low order streams // *Fungal Ecology*. 2016. Vol. 19. P. 182-189.
42. **Jabiol J., McKie B.G., Bruder A., Bernadet C., Gessner M.O., Chauvet E.** Trophic complexity enhances ecosystem functioning in an aquatic detritus-based model system // *Journal of Animal Ecology*. 2013. 82(5). P. 1042-1051.