

УДК 574.58

Т.А. МАКАРЕВИЧ. А.П. ОСТАПЕНЯ. И.В. САВИЧ

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ МЕТАФИТОННЫХ МАТОВ

The paper presents the results describing the mechanisms of metaphytic mat transformation. Changes in metaphytic mat structure start as soon as it floats to the water surface. The complete degradation of the mat during the laboratory experiment occurs in 28 hours. The results suggest that the key role in the process of metaphytic mat degradation belongs to filamentous blue-green algae and invertebrates.

Образование метафитона в реках Беларуси в последнее десятилетие приобрело массовый характер и превратилось в серьезную экологическую проблему [1-4]. В силу высокой аккумулирующей способности метафитона в отношении широкого спектра загрязняющих веществ [5, 6] его дрифт (снос по течению) является важным механизмом пространственного перераспределения загрязнений. В период массового дрифта значительно снижается эстетический потенциал реки. Кроме того, метафитон оказывает многовекторное воздействие на функционирование речной экосистемы, влияя на кислородный и биогенный режим водотока, проникновение солнечной радиации в толщу воды, свойства поверхностной пленки, биоразнообразие в водной массе и др. Для понимания направленности этого воздействия, прогнозирования и оценки его последствий необходимо иметь четкие представления об источниках и механизмах формирования, а также о закономерностях трансформации метафитона.

Установлено, что основными структурообразующими компонентами метафитона являются водоросли, бактерии, детрит, кроме того, в его состав входят беспозвоночные и водные гифомицеты [2, 6]. В качестве источников формирования метафитона выступают прикрепленные (перифитон и эпибентос) и планктонные сообщества [7]. Механизмы образования метафитона заключаются в: 1) отделении от субстрата и всплытии на поверхность эпибентоса и перифитона за счет подъемной силы пузырей кислорода, выделяющегося в процессе фотосинтеза; 2) агрегации планктона в результате волновой деятельности при участии механизмов пенообразования [8, 9].

Трансформация структуры метафитонного мата

| Время наблюдения | Экспозиция, ч | Характеристика структуры мата |
|------------------------------|---------------|--|
| 1 | 2 | 3 |
| 03.06.04 21 ⁰⁰ | 0 | <p>Мат представляет собой целостную, достаточно устойчивую структуру (см. рис. а). Визуально различимы два слоя – верхний плотный темно-сине-зеленого цвета и нижний более рыхлый темно-бурого цвета. Во всем объеме мата многочисленны кислородные пузыри. Верхний слой плотно выстлан сильно ослизненными нитями гормогониевых синезеленых водорослей (доминирующий вид <i>Oscillatoria limosa</i>). Создается впечатление, что мат залит железной массой. По его краям прослеживается объемная внутренняя структура. Внутри мат состоит из хлопьевидных частиц бурого цвета, которые переплетаются нитями синезеленых водорослей. Очевидно, что устойчивость целостной структуры мата обеспечивается скрепляющей ролью ослизненных нитей синезеленых водорослей. Микроскопирование (×400) хлопьевидных частиц показало, что они состоят из детрита, ассоциированного с большим количеством водорослей (преимущественно диатомовых), бактерий и грибов. Между частицами мата много бесспиночных: в массе коловратки, нематоды, олигохеты, встречаются босмины, гидры, планарии, колонии круглоресничных инфузорий. На поверхности мата – мертвая личинка стрекозы. Кишечники планарий, нематод и олигохет набиты диатомовыми водорослями. Непосредственно наблюдали процесс «пастбы» червей. Очевидно, что в мате бесспиночные находят обильную пищу.</p> <p>Трансформация мата начинается уже в процессе первого наблюдения: он как бы «распушается», т. е. нити синезеленых, а точнее, пучки нитей, начинают приподниматься над поверхностью мата, что особенно заметно по краям (см. рис. б). Пучки нитей ориентированы в толщу воды. Наблюдали, как лопаются кислородные пузыри, и в этом месте нарушается слой слизи, выделяемой синезелеными водорослями. Слой слизи плотно прижимает нити водорослей к поверхности мата, при нарушении этого слоя нити частично распрямляются. Поскольку целостность слизистого слоя нарушена по краям мата, то здесь и наблюдается наиболее заметное «распушение» нитей.</p> |
| 04.06.04 2 ⁰⁰ | 5 | <p>Мат существенно разрыхлился. Кислородных пузырей стало заметно меньше. Совершенно изменился характер распределения нитей синезеленых водорослей: вместо пучков по краям мата, ориентированных в толщу воды, наблюдаются одиночные, заметно удлиненные нити, стелющиеся по поверхности пленки воды (см. рис. в). Создается впечатление маслянистой пленки на поверхности воды вокруг мата.</p> |
| 04.06.04 7 ⁰⁰ | 10 | <p>Мат разрыхлен значительно сильнее по сравнению с предыдущим наблюдением. Слизистая пленка на его поверхности стала заметно тоньше. Нити синезеленых раздробились на небольшие фрагменты (гормогонии) в результате размножения, свойственного гормогониевым водорослям. Значительная часть гормогониев вышла из мата и расположилась в поверхностной пленке воды. Высокая активность животных. Зафиксировано, как черви своей двигательной активностью способствуют разрыхлению мата.</p> |
| 04.06.04 10 ⁰⁰ | 13 | <p>Разрыхление мата продолжается. Кислородных пузырей становится все меньше. Левая сторона мата теряет плавучесть и начинает погружаться. Мелкие кислородные пузыри на правой стороне слились в два крупных, которые и удерживают мат на плаву.</p> |
| 04.06.04 13 ⁰⁰ | 16 | <p>Сплошная пленка, образованная ослизненными нитями синезеленых водорослей, «сползает» с поверхности мата, который напоминает кочан капусты с развернутыми верхними листьями.</p> |
| 04.06.04 17 ⁰⁰ | 20 | <p>Часть мата уже полностью потеряла плавучесть и опустилась на дно. Поверхность воды в экспериментальном сосуде устлана нитями синезеленых водорослей. В поверхностной пленке также много длинных блестящих бесцветных тяжей, по форме и размерам подобных нитям водорослей. Вероятно, это слизь (мукополисахариды), выделяемая синезелеными. Олигохеты и нематоды вышли из мата и «пасутся» в поверхностной пленке среди нитей синезеленых водорослей.</p> |
| 04.06.04 21 ⁰⁰ | 24 | <p>Практически весь мат погрузился на дно сосуда (см. рис. г). На поверхности держится только центральная часть мата, в которой остался крупный кислородный пузырь. Почти все синезеленые вышли из мата, длинных нитей не видно, идет интенсивное деление – поверхность воды в сосуде полностью покрыта гормогониями, которые начинают распространяться и по его стенкам.</p> |
| 05.06.04 1 ⁰⁰ | 28 | <p>Мат полностью разрушен и погрузился на дно. Поверхность воды, стенки сосуда выстланы нитями синезеленых водорослей. Нематоды и олигохеты держатся в поверхностной пленке воды, другие бесспиночные – в толще</p> |

Таким образом, на сегодняшний день источники и механизмы образования метафитона в общих чертах установлены, однако скорость и направленность процесса трансформации практически не изучены.

В настоящей работе представлены результаты лабораторных экспериментов по оценке скорости и выявлению основных закономерностей трансформации структуры метафитонных матов эпибентосного происхождения.

Материал и методика

Суть экспериментов сводилась к прямому наблюдению за трансформацией структуры метафитонного мата при помощи стереоскопического микроскопа марки Zeiss Stemi 2000 при увеличении $\times 8$, $\times 16$, $\times 24$, $\times 56$. Материал для исследования собран на р. Свислочь в центре г. Минска (район станции метро «Первомайская»). Образцы типичных метафитонных матов, представляющих собой фрагменты только что отделившегося от дна и всплывшего на поверхность реки эпибентоса, поместили в кристаллизаторы с речной водой и экспонировали в условиях естественной освещенности. Через определенные промежутки времени (от 3 до 5 ч) структуру мата исследовали методом прямого микроскопирования. Основные этапы трансформации мата фиксировали фото- и видеосъемкой.

Эпибентос, который представляет собой, по сути, водорослево-бактериальные маты [10], отрываясь от дна водоема и поднимаясь на поверхность реки, попадает в условия среды, к которым не адаптирован. Это, прежде всего, избыточная инсоляция и принципиально отличная от придонного слоя гидродинамика водных масс. Кроме того, сообщества переходят от прикрепленного способа существования к несвойственному им взвешенному состоянию, что влечет за собой изменение условий минерального питания, гидродинамического воздействия и др.

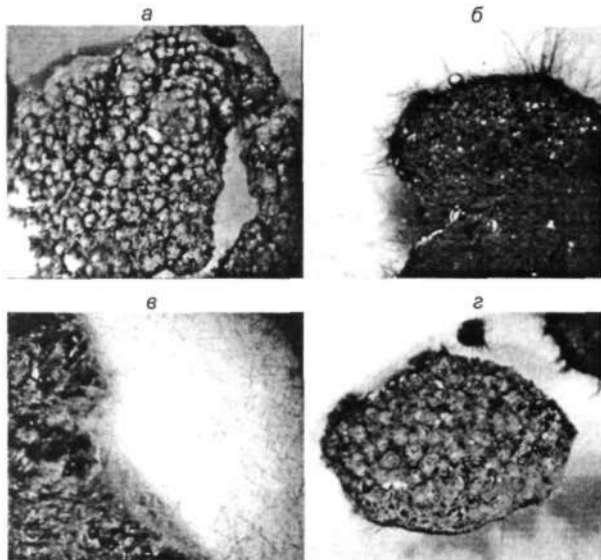
Результаты и их обсуждение

Результаты наблюдений за изменением структуры метафитонного мата представлены в таблице.

Основные этапы трансформации мата иллюстрирует рисунок.

Таким образом, полная деградация метафитонного мата в условиях лабораторного эксперимента осуществилась за 28 ч. Вероятно, в экспериментальных условиях этот процесс протекает медленнее, чем в естественных, поскольку исключен такой важный внешний фактор, как гидродинамическое воздействие водных масс. С поправкой на механическое разрушение мата за счет гидродинамического воздействия для приближенных расчетов можно допустить, что деградация мата в условиях реки происходит примерно за 24 ч. Зная время трансформации метафитонного мата и скорость течения реки, можно прогнозировать пространственный перенос метафитона и аккумулированных в нем загрязняющих и эвтрофирующих веществ.

При оценке последствий дрейфа метафитона важно знать закономерности



Основные этапы трансформации метафитонного мата: а – до начала трансформации, б – начальная стадия трансформации, в – продолжение трансформации, з – заключительная стадия

трансформации мата. Результаты эксперимента дают основание заключить, что трансформация структуры мата начинается непосредственно после его всплытия на поверхность. Вначале (примерно в течение первых 5 ч) процесс идет медленно, затем начинает ускоряться, и приблизительно через 12 ч после всплытия мат в значительной степени теряет свою целостность. С этого времени органическое вещество метафитонного мата, а также аккумулярованные в метафитоне техногенные загрязняющие вещества начинают наиболее интенсивно поступать в толщу и на поверхность воды.

На основании проведенных наблюдений можно сделать некоторые выводы относительно механизмов деградации метафитонного мата.

- Уменьшение количества кислородных пузырей, прослеживаемое в ходе эксперимента, обусловлено, с одной стороны, снижением скорости «подкачки» кислорода вследствие фотоингибирования процесса фотосинтеза в условиях избыточной инсоляции, а с другой - интенсивным его потреблением в процессе деструкции и минерализации органического вещества. Известно [11], что водоросли (прежде всего донные виды) адаптированы к условиям сумеречного освещения. В водоемах средних широт максимум первичной продукции в поверхностном горизонте практически никогда не наблюдается. Таким образом, кислород, депонированный в толще мата в виде пузырей, поглощается в процессе дыхания организмов метафитона, а новые пузыри не образуются вследствие снижения интенсивности фотосинтеза. В итоге мат постепенно теряет свою плавучесть и погружается на дно.

- Результаты эксперимента однозначно показывают, с одной стороны, большую роль гормоногиевых синезеленых водорослей в обеспечении целостности и устойчивости структуры метафитонного мата, а с другой - их ключевую роль в разрушении мата. Сделано наблюдение, чрезвычайно важное для понимания закономерности трансформации мата и влияния этого процесса на гидрозкосистему в целом: гормоногии, образующиеся при размножении синезеленых водорослей, не остаются в пределах мата, как это происходит в бентосе, а переходят в поверхностную пленку воды, где продолжают свое развитие. Таким образом, мат постепенно лишается цементирующих его структуру нитей синезеленых водорослей. В то же время поверхность воды покрывается пленкой, состоящей из нитей синезеленых и обильно выделяемых ими полисахаридов. Формирование этой богатой высокомолекулярным органическим веществом пленки, несомненно, имеет прямое отношение к процессу пенообразования, которому в лимнологии практически не уделяется внимания. Из океанологии о механизмах пенообразования известно следующее [12]: пузырьки газа, возникающие в результате гидродинамических процессов, фотосинтеза и разложения органического вещества, разнообразных механизмов газообразования в донных отложениях, пронизывая пелагиаль, адсорбируют органические вещества и транспортируют их на поверхность, где и образуют пену. Концентрирование на поверхности воды высокомолекулярных органических соединений, несомненно, усилит процесс пенообразования (который является основой для формирования метафитона планктонного происхождения [8]).

- Важную роль в разрушении структуры метафитонного мата играет двигательная активность населяющих его водных беспозвоночных.

1. Остапеня А.П., Макаревич Т.А. // Охрана окружающей среды и природопользование города Минска. Мн., 2005. С. 94.

2. Остапеня А.П., Макаревич Т.А., Савич И.В. и др. // Актуальные проблемы экологии: Материалы I Междунар. конф. Гродно, 2005. С. 122.

3. Макаревич Т.А., Остапеня А.П. // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: Междунар. науч. конф. по озерным экосистемам. Мн., 2000. С. 226.

4. Савич И.В., Макаревич Т.А., Остапеня А.П. // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2006. № 1. С. 60.

5. Makarevich T.A., Ostapenya A. P. // 16th Baltic Marine Biologists Symposium. Klaipeda, 1999. P. 75.
6. Макаревич Т.А., Остапеня А.П., Дубко Д.В. и др. // Итоги и перспективы гидроэкологических исследований: Материалы междунар. конф. по водным экосистемам. Мн., 1999. С. 147.
7. Wetzel R.G. Limnology. Philadelphia, 1983.
8. Остапеня А. П., Макаревич Т. А. // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера: Сб. материалов IV (XXVII) Междунар. конф: в 2 ч. Вологда, 2005. Ч. 2. С. 48.
9. Sakai M., Nakamoto N. // Verh. Internat. Verein. Limnol. 1994. Vol. 25. P. 1993.
10. Савич И. В. // Материалы 4-й Междунар. науч. конф. «Сахаровские чтения 2004 года: экологические проблемы XXI века». Мн., 2004. С. 103.
11. Бульон В.В. Первичная продукция планктона внутренних водоемов. Л., 1983.
12. Зайцев Ю.П. Морская нейстонология. Киев, 1970.

Поступила в редакцию 27.02.06.

Тамара Александровна Макаревич - кандидат биологических наук, доцент кафедры общей экологии и методики преподавания биологии.

Александр Павлович Остапеня - член-корреспондент НАН Беларуси, доктор биологических наук, профессор, заведующий НИЛ гидроэкологии.

Ирина Васильевна Савич - аспирант кафедры общей экологии и методики преподавания биологии. Научный руководитель - Т.А. Макаревич.