

ЭКОЛОГИЯ МОРЯ

1871



21

1985

6. Mironov O. G., Shchekaturina T. L., Tsimbal I. M. Saturated hydrocarbons in marine organisms. — Mar. Ecol. Progr. Ser., 1981, 5, N 3, p. 303—309.
7. Vale G. L., Sidhi Q. S., Montgomery W. A., Johnson A. R. Studies on a kerosine like taint in mullet *Mugil cephalus*. I. General nature of the taint. — J. Sci. Food and Agr., 1970, 21, p. 429—432.

Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского
АН УССР, Севастополь

Получено 17.01.83

T. L. SHCHEKATURINA

HYDROCARBON CONTENT OF CERTAIN FISH IN THE BARENTS SEA

Summary

Hydrocarbon content in the Barents Sea hydrobionts is 10.3-47.7 mg per 100 g of wet weight. The range of normal and branched alkanes varies within n -C₁₀—C₂₆ and i -C₁₄— i -C₂₀. C₁₅ and C₁₉ are usually dominating n -alkanes, in rare cases — C₁₆, C₁₈. Out of isoprenanes C₁₉ dominates in most cases. The alkane amount is 0.3-3.4 mg per 100 g of wet weight, reaching 25.2 mg per 100 g of wet weight in organs and tissues.

УДК 582.265.1:591.05

М. А. ИЗМЕСТЬЕВА, Г. В. ШУМАКОВА,
Э. А. ЧЕПУРНОВА

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ПРОТОКА НА РАЗЛОЖЕНИЕ ULVA RIGIDA В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Разложение водорослей в лабораторных экспериментах значительно отличается от разложения в природных условиях. В морской среде, особенно на прибрежных мелководьях, где обитает большая часть макроводорослей, происходит постоянное движение воды и ее обновление. Благодаря непрерывному «омыванию» разлагающихся частиц объем воды, приходящийся на единицу их массы, очень велик, т. е. концентрация разлагающихся водорослей в воде мала. Трудно оценить, какое количество воды приходится на единицу разлагающейся массы в природных условиях, но в эксперименте, проводимом в непроточной системе, оно на несколько порядков меньше.

Специфические особенности проведения эксперимента в замкнутой системе, влияющие на скорость протекания процесса разложения, связаны в основном с низкой скоростью диффузии химических элементов в «стоячей» воде, нарушением газового режима, накоплением продуктов метаболизма и в результате этого ингибированием метаболической активности микроорганизмов и т. д. Движение воды в меру его интенсивности устраняет эти нежелательные явления. Кроме того, движение воды специфически воздействует на метаболизм гидробионтов: водоросли, например, при движении воды повышают скорость дыхания и роста, интенсивность поглощения углерода и фосфора [1, 2].

Изучение разложения *Fucus vesiculosus* в природных условиях, отличающихся степенью водообмена (в прибойной зоне у скалистого берега и в застойной зоне соленого марша), показало, что после 63 суток у скалистого берега разложилось 99% массы водорослей, а в соленом марше (с замедленным водообменом) — 66% [11].

Значимость движения воды как экологического фактора, воздействующего на метаболическую активность гидробионтов и тем самым регулирующего скорость процессов в море, побудила нас провести исследование влияния различных скоростей протока воды через сосуд на разложение многоклеточной водоросли *Ulva rigida* в лабораторных условиях.

Исследование проводили на многоклеточной водоросли *Ulva rigida*, собранной в конце августа 1981 г. в районе Севастопольской бухты.

Были отобраны темно-зеленые водоросли, промытые последовательно морской и дистиллированной водой. Затем из них были наштампованы диски диаметром 1 см и высушены до постоянной массы при температуре $105 \pm 5^\circ\text{C}$. Из дисков водорослей были сформированы навески по 50 мг, которые использовались в эксперименте для разложения.

Для протока использовали 10-мильную морскую воду с низким содержанием биогенных веществ: фосфаты — 0,7; нитриты — 0,6—1,3; аммоний — 3—30 мкг/л, нитраты отсутствовали. Предварительно воду отфильтровали от взвеси, фито- и зоопланктона через мембранный фильтр марки «Сынпор» № 3 (диаметр пор 1,5 мкм).

Опыты по разложению проводили в затемненных стеклянных трубках объемом 80 см³ (диаметр 1,6, длина 40 см), через которые пропускали воду с различной скоростью протока. Трубки устанавливали вертикально, с подачей воды снизу. Были заданы три режима расхода воды (объемные): 0,1; 1 и 10 л·сут⁻¹, обозначенные как I, II и III варианты опыта. Соответствующие им линейные скорости составили приблизительно 0,01; 0,06 и 0,6 см·с⁻¹, а в единицах водообмена — 1,25; 12,5 и 125 водообменов в сутки.

Трубки разделяли на отсеки водопроницаемыми (газ № 25) перегородками, количество которых зависело от варианта опыта: на восемь отсеков при скорости протока 1 и 10 л·сут⁻¹ и на четыре отсека при скорости протока 0,1 л·сут⁻¹. Поэтому в I варианте устанавливали две трубки, а в остальных — по одной. В каждый отсек помещали по 50 мг сухой массы водорослей в виде дисков. В I варианте опыта при скорости протока 0,1 л·сут⁻¹ 100 мл воды пропускали в течение 7 ч, в остальное время протока не было. Температура воды во время проведения исследования была почти постоянной — 20—22 °C, продолжительность эксперимента — 20 сут.

Через некоторые промежутки времени из трубок отбирали навески разлагающихся водорослей из двух отсеков: одна шла на определение общих потерь массы, содержание золы, углерода и азота, другую навеску использовали для определения скорости размножения бактерий. Для определения содержания золы водоросли сжигали в муфельной печи при температуре 500 °C в течение 50 мин. Содержание углерода и азота оценивали на CHN-анализаторе. Содержание в морской воде фосфатов, нитратов, нитритов и иона аммония определяли по общепринятым методикам [7].

В процессе разложения макрофитов устанавливали концентрации общего количества бактерий в воде и интенсивность их размножения, а также концентрации гетеротрофных бактерий. Параллельно наблюдали за состоянием бактерий на поверхности водорослевых дисков под люминесцентным микроскопом МЛД-1 при увеличении $\times 900$. На предметном стекле диск окрашивали 0,1%-ным раствором акридинового оранжевого, добавляли 0,5%-ный раствор пирофосфата натрия и проводили микроскопирование с масляной иммерсией.

Общее количество бактерии в воде учитывали методом прямого счета на мембранных ультрафильтрах марки «Сынпор» № 6 (диаметр пор — 0,45 мкм, диаметр фильтрующей поверхности — 1 см), через которые фильтровали 2 мл воды. Бактериальные клетки просчитывали под микроскопом МБИ-3 (увеличение $\times 1350$) на двух параллельных фильтрах [6]. Учет гетеротрофной микрофлоры проводили на 0,5% РПА [3]. Количество гетеротрофных бактерий определяли методом глубокого посева по Коху и просчитывали выросшие колонии под лупой МБС-1 (увеличение $8 \times 1, 8 \times 4$) [10].

Среднее количество клеток в опытных трубках за определенный промежуток времени (0—1, 1—5 сут и т. д.) рассчитывали как среднее арифметическое их численности в начальной и конечной точках периода.

Для определения удельной скорости роста бактериальной популяции воду и диски водорослей из проточных трубок переносили в склянки и ставили на суточную экспозицию (t). В склянках определяли

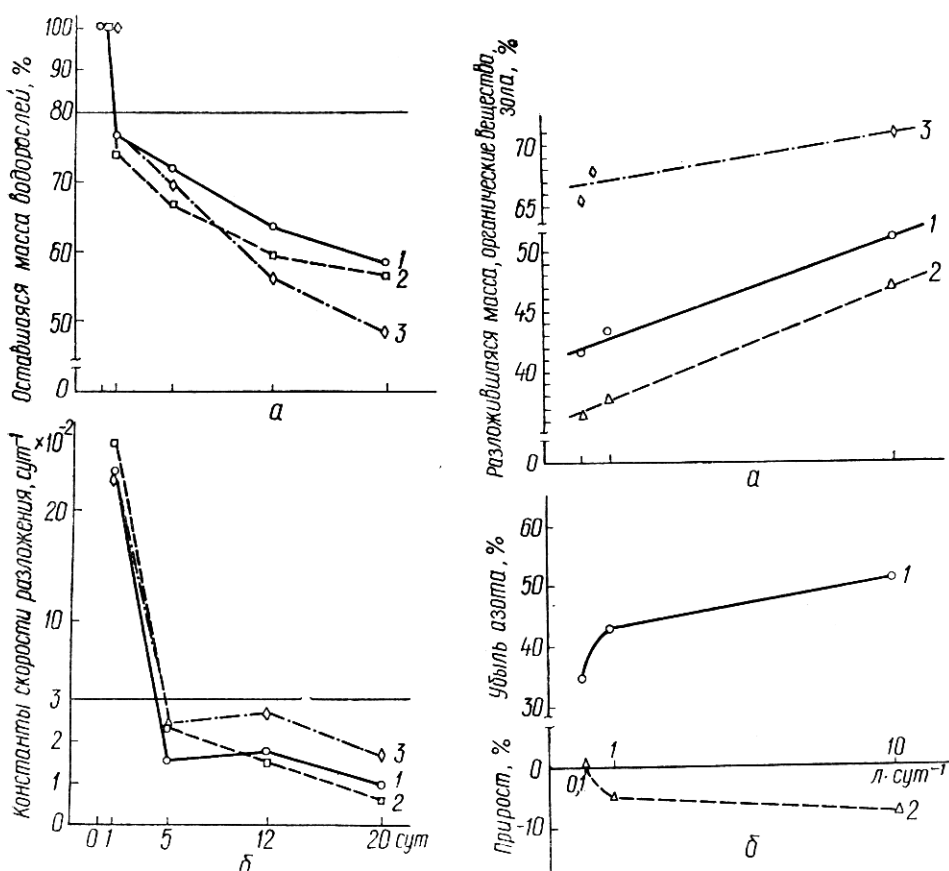


Рис. 1. Оценка динамики изменения массы ульвы в процессе разложения:
а — % исходной величины; б — по константам скорости разложения.

Рис. 2. Зависимость изменения массы водорослей и ее компонентного состава (% от исходных величин) от расхода воды:

а — масса водорослей (1), органические (2) и минеральные (3) вещества; б — убыль азота за период 0—12 сут (1) и прирост азота за период 12—20 сут (2).

исходное (N_0) и конечное (N_t) содержание бактерий в воде. Суточную удельную скорость роста бактерий рассчитывали по формуле [4]

$$K = \frac{\ln N_t - \ln N_0}{t} 24 \text{ сут}^{-1}.$$

Изменение массы водорослей в процессе разложения можно охарактеризовать двумя типичными этапами: быстрым и значительным уменьшением массы водорослей в течение первых суток и более медленным последующим разложением (рис. 1, а). Убыль массы водорослей в начальный период происходит в основном за счет процесса автолиза, хотя наблюдается уже и микробальное разложение. Способ подготовки водорослей к разложению (их высушивание) также наложил отпечаток на разложение в начальный период: потеря массы у сухих водорослей происходит значительно быстрее, чем при естественном отмирании [5, 8]. В течение первых суток во всех вариантах опыта константы скорости разложения были наибольшими (рис. 1, б). В I и III вариантах опыта (при расходе воды 0,1 и 10 л·сут⁻¹ соответственно) они были близки между собой, их средняя величина составила $23,2 \times 10^{-2} \text{ сут}^{-1}$, а количество разложившейся массы — 23% внесенной в опыт. Во II варианте опыта (при расходе воды 1 л·сут⁻¹) константа скорости разложения была несколько выше ($26,0 \cdot 10^{-2} \text{ сут}^{-1}$), количество разложившейся массы составило 26%. В последующие периоды во

всех вариантах опыта интенсивность разложения значительно снизилась. Средняя величина константы скорости разложения в III варианте за период 1—20 сут была выше ($2,3 \cdot 10^{-2} \text{ сут}^{-1}$), чем в I и II вариантах опыта (соответственно $1,4 \cdot 10^{-2}$ и $1,5 \cdot 10^{-2} \text{ сут}^{-1}$). К концу периода наблюдений обнаружена зависимость убыли массы водорослей от расхода воды (рис. 2, а). При этом соответственно выбранным значениям расхода воды 0,1; 1 и $10 \text{ л} \cdot \text{сут}^{-1}$ значения линейной скорости около 0,01; 0,06 и $0,6 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$ лежат в нижней части диапазона скоростей, реально существующих в природных условиях. Следовательно, с приближением к типичной для природной воды скорости рассматриваемый эффект влияния движения воды на разложение водорослей может быть еще более значительным.

Поскольку полученные различия в скорости разложения детрита ульвы от расхода воды связаны в основном с жизнедеятельностью бактерий, рассмотрим влияние расхода воды на изменение отдельных составляющих разложения — органических и минеральных веществ, а также углерода и азота.

Суммарное количество органических веществ в водорослях, выраженное в процентах от их исходного содержания, при различных величинах расхода воды менялось аналогично изменению массы водорослей. В первые сутки константы скорости разложения органических веществ были также наибольшими: при этом во II варианте опыта константа была выше ($19,3 \cdot 10^{-2} \text{ сут}^{-1}$), чем в I и III вариантах, где они были близки между собой и в среднем составляли $17,4 \cdot 10^{-2} \text{ сут}^{-1}$. После первых суток скорости разложения значительно снизились. Средняя величина константы в III варианте за период 1—20 сут была выше ($2,2 \cdot 10^{-2} \text{ сут}^{-1}$), чем в I и II вариантах опыта, где они соответственно составили $1,3 \cdot 10^{-2}$ и $1,5 \cdot 10^{-2} \text{ сут}^{-1}$. К концу периода наблюдений также обнаружена аналогичная убыли массы водорослей зависимость уменьшения содержания органических веществ в детрите водорослей от расхода воды (см. рис. 2, а).

Концентрация органических веществ в ульве до начала разложения составляла $818 \text{ мг} \cdot \text{г}^{-1}$ сухой массы. Благодаря значительному уменьшению золы в ульве в течение первых суток произошло изменение соотношения между органической и минеральной составляющими в разлагающихся водорослях по сравнению с живыми. После первых суток концентрация органических веществ в детрите ульвы во всех вариантах опыта повысилась до $879\text{—}893 \text{ мг} \cdot \text{г}^{-1}$ и изменялась в довольно узких пределах в процессе дальнейшего разложения ($884\text{—}911 \text{ мг} \cdot \text{г}^{-1}$). Величины убыли минеральных веществ из водорослей на 20-е сутки также зависели от расхода воды (см. рис. 2, а).

Изменение содержания азота в процессе разложения можно охарактеризовать двумя этапами: в течение первого (0—12 сут) происходило зависящее от расхода воды уменьшение содержания азота в водорослях (рис. 2, б). Во второй период, с 12-х по 20-е сутки, во II и III вариантах опыта произошло также зависящее от расхода воды увеличение содержания азота в водорослях. Содержание азота в детрите водорослей влияло на изменение отношения C : N, характеризующее трофическую ценность разлагающихся водорослей. Исходное отношение C : N, равное 9,1, свидетельствует о том, что ульва богата протеином. В процессе разложения (0—12-е сутки) это отношение увеличивалось, особенно в III варианте (рис. 3). Однако в связи с увеличением содержания азота к 20-м суткам во II и III вариантах опыта отношение C : N уменьшилось, достигнув почти первоначальной величины.

Таким образом, из наблюдений за динамикой разложения детрита ульвы в различных условиях протока можно сделать следующие выводы. Скорость разложения ульвы в основном определяется скоростью разложения ее органических веществ как основной составляющей части биомассы, хотя убыль минеральных веществ в начальный период

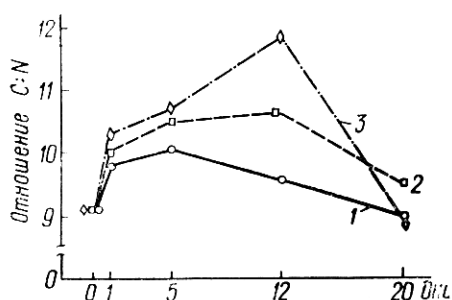


Рис. 3. Изменение отношения C: N в детрите в процессе разложения (1, 2, 3 — соответственно I, II и III варианты опыта).

также оказывает влияние на скорость разложения. В результате значительной убыли минеральных веществ в течение первых суток содержание органических веществ в разлагающихся водорослях по сравнению с живыми увеличивается.

Повышение расхода воды с 0,1 до 10 л·сут⁻¹ не оказало влияния на разложение детрита ульвы в 1-е сутки, но вызвало увеличение скоростей разложения в последующие периоды. В результате к 20-м суткам наблюдалась четкая зависимость между величинами убыли массы водорослей, а также органи-

ческих, минеральных компонентов в ней и расходом воды.

В течение первых 12 суток увеличение расхода воды сопровождалось увеличением отношения C: N в детрите ульвы. Уменьшение этого отношения к 20-м суткам было вызвано, по-видимому, увеличением бактериальной биомассы, тем большим, чем сильнее скорость протока.

В процессе разложения водорослей образуется взвесь-микробный комплекс, от функционирования которого в различных условиях протока зависело, как было показано выше, разложение водорослей. Однако количественная оценка прикрепленных бактерий затруднена. Поэтому с помощью люминесцентного микроскопа проводили качественные наблюдения за состоянием обрастания дисков водорослей микроорганизмами и определяли концентрации и темпы размножения свободно-плавающих бактерий, полагая, что это одни и те же группы бактерий, поскольку известно, что облигатно перифитонных бактерий не существует. Почти все планктонные бактерии хотя бы временно могут существовать как перифитонные [12]. Наблюдение за состоянием обрастания водорослей показало, что уже через 2 ч после нахождения водорослей в трубках на поверхности дисков были обнаружены отдельные мелкие бактериальные клетки и микроколонии клеток.

В течение 1-х суток происходило активное размножение бактерий во всех вариантах опыта, что привело к образованию сплошного ковра клеток на поверхности дисков. Наблюдалось большое количество нитей, по-видимому, сине-зеленых водорослей. В дальнейшем сине-зеленые исчезли, и во всех вариантах сохранялась одинаковая картина сплошного ковра бактериальных клеток. На 20-е сутки на поверхности дисков появились участки, свободные от клеток. В I варианте таких участков было больше, чем во II и III вариантах.

Необходимо отметить, что большую часть времени диски водорослей сохраняли упругость и эластичность, обрыва краев и обветшания не наблюдалось, разложение сопровождалось утоньшением дисков и «выцветанием» их окраски, тем большего, чем меньше были скорости протока. К концу наблюдений, к 20-м суткам, водоросли истончились

Изменение концентраций общего количества бактерий ($N_{\text{общ}}$, тыс. кл/мл), гетеротрофов ($N_{\text{гетер}}$, тыс. кл/мл) и удельной скорости размножения бактерий (K) в процессе разложения ульвы при различных скоростях протока

Время, сут	I вариант			II вариант			III вариант		
	$N_{\text{общ}}$	$N_{\text{гетер}}$	$K, \text{сут}^{-1}$	$N_{\text{общ}}$	$N_{\text{гетер}}$	$K, \text{сут}^{-1}$	$N_{\text{общ}}$	$N_{\text{гетер}}$	$K, \text{сут}^{-1}$
Через 2 ч	3716	7	1,12	3716	176	1,40	3716	327	1,31
1	10 380	968	0,85	13 843	792	0,18	2630	151	0,84
5	10 240	289	0,13	15 271	766	0,07	1625	13	1,06
12	9251	248	0,31	3179	36	0,96	1561	5	1,05
20	9305	53	0,21	2713	6	0,40	2234	3	0,73

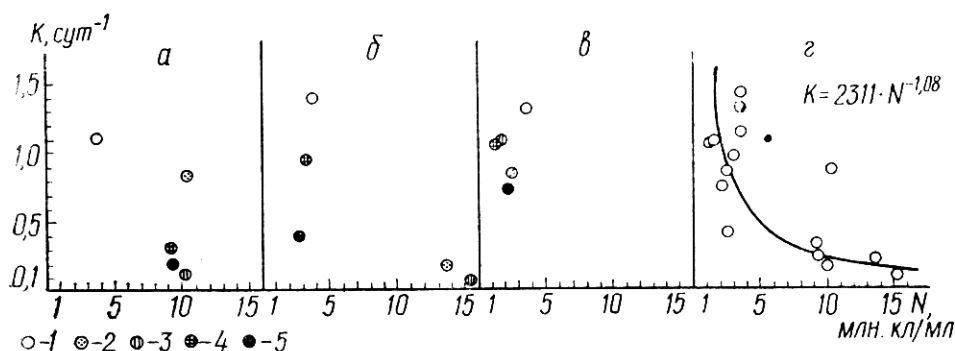


Рис. 4. Зависимость удельной скорости роста (K) от концентрации общего числа бактерий (N):

а, б, в — соответственно I, II, III варианты опыта; г — по всем вариантам; 1, 2, 3, 4, 5 — время экспозиции опыта соответственно 0, 1, 5, 12 и 20 сут.

и потеряли некоторую упругость и эластичность, их трудно было снять с фильтра без разрушения ткани.

Численность микроорганизмов в трубках с различным расходом воды претерпевала большие изменения (см. таблицу). Увеличение расхода воды до $10 \text{ л} \cdot \text{сут}^{-1}$ (125 водообменов в сутки) привело к тому, что во все сроки наблюдений концентрация бактерий в этом варианте опыта поддерживалась на низком уровне и изменялась в довольно узких пределах.

При расходе воды $1 \text{ л} \cdot \text{сут}^{-1}$ (12,5 водообменов в сутки) в первые пять суток создались, очевидно, наиболее благоприятные условия для накопления микроорганизмов в опытных трубках, в результате чего концентрация бактерий в периоды 0—1-е и 1—5-е сутки была максимальной из всех трех вариантов опыта. В последующие сроки наблюдений концентрация бактерий в этом варианте опыта начала уменьшаться, и в период 12—20-е сутки величина их была близка к минимальной, характерной для самого большого расхода воды. Это может быть вызвано торможением активности роста клеток в результате перенасыщения среды продуктами метаболизма клеток.

При расходе воды $0,1 \text{ л} \cdot \text{сут}^{-1}$ (1,2 водообмена в сутки) на протяжении всего периода исследования поддерживалась довольно высокая концентрация бактерий, которая в периоды 5—12-е и 12—20-е сутки была максимальной из всех трех вариантов опыта. В этом варианте вымывание клеток было минимальным. Вся образовавшаяся масса клеток практически накапливалась в опытных трубках.

Увеличение гетеротрофных бактерий (рост на РПА) в начальный период эксперимента указывает на обогащение среды легкодоступными формами органического вещества, а снижение их численности на последующих этапах связано с довольно быстрым его исчерпанием (см. таблицу).

Максимальные величины интенсивности роста во все периоды наблюдались в III варианте, при наибольшем расходе воды (рис. 4). Во II варианте при максимальном количестве бактерий в первые пять суток интенсивность роста была минимальной, особенно резкое уменьшение произошло в период 1—5-е сутки. С уменьшением численности бактерии в этом варианте в последующие периоды интенсивность роста увеличивалась. В I варианте опыта интенсивность роста последовательно уменьшалась от начала опыта к концу.

Из рассмотренного следует, что интенсивность деятельности бактерий, выраженная в величинах удельной скорости роста клеток, находилась в обратной зависимости от общей концентрации бактерий, т. е. от плотности популяции (рис. 4), что хорошо согласуется с кинетикой роста микробной популяции [4, 9].

Сопоставление скоростей разложения водорослей с концентрациями бактерий в проточной воде и интенсивностью их роста привело к

следующему заключению. Наиболее показательной и ответственной за разложение водорослей характеристикой бактерий является интенсивность роста клеток как показатель высокого уровня их жизнедеятельности. Расход воды $10 \text{ л} \cdot \text{сут}^{-1}$ оказался достаточным, чтобы поддерживать темпы размножения бактерий на высоком уровне и тем самым обеспечить высокие скорости разложения массы. При расходах 1 и $0,1 \text{ л} \cdot \text{сут}^{-1}$ активность роста клеток была заметно ниже, в результате чего скорости разложения в период с 5- по 2-е сутки оказались минимальными.

Таким образом, скорость движения воды, воздействуя на активность бактериальной популяции, может регулировать скорости разложения детрита водорослей в море.

1. Быковский В. И. Движение водных потоков и фитопланктон: (Обзор). — Гидробиол. журн., 1978, 14, № 2, с. 40—47.
2. Гительзон И. И., Фиш А. М. О «концентрационных ямах» в распределении веществ в одноклеточном пространстве. — Докл. АН СССР, 1969, 184, № 3, с. 713—714.
3. Горбенко Ю. А. О наиболее благоприятном количестве сухого питательного агара в среде для культивирования морских гетеротрофных бактерий. — Микробиология, 1961, 30, № 1, с. 168—172.
4. Иерусалимский Н. Д. Основы физиологии микробов. — М.: Изд-во АН СССР, 1963. — 242 с.
5. Кудрявцев В. М., Ершов Ю. В. Динамика численности микроорганизмов при разложении макрофитов. — Гидробиол. журн., 1980, 16, № 4, с. 20—25.
6. Лебедева М. Н., Шумакова Г. В. К вопросу о достоверности данных, полученных методом прямого учета бактерий на фильтрах. — Микробиология, 1969, 38, № 2, с. 351—357.
7. Методы гидрохимических исследований океана. — М.: Наука, 1978. — 271 с.
8. Никитина Н. С. Распад органических остатков на литорали Баренцева моря. — Тр. Мурман. биол. станции, 1958, 4, с. 18—40.
9. Работнова И. Л., Иванова И. И. Рост и развитие микробных культур. — Успехи микробиологии, 1971, № 7, с. 67—107.
10. Чепурнова Э. А., Лебедева М. Н. О статистической обработке данных, полученных методом подсчета бактериальных колоний на чашках. — Гидробиол. журн., 1972, 8, № 2, с. 106—111.
11. Hunter R. D. Change in carbon and nitrogen content during decomposition of three macrophytes in freshwater and marine environments. — Hydrobiologia, 1976, 51, N 2, p. 119—128.
12. Paerl Hans W. Mikrobial attachment to particles in marine and freshwater ecosystems. — Microbiol. Ecol., 1975, 2, N 1, p. 73—83.

Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского
АН УССР, Севастополь

Получено 09.03.83

M. A. IZMESTIEVA, G. V. SHUMAKOVA, E. A. CHERPUNOVA

INFLUENCE OF THE FLOW RATE ON THE ULVA RIGIDA DECOMPOSITION UNDER LABORATORY CONDITIONS

Summary

A study of the multicellular alga *Ulva rigida* decomposition under different flowing conditions ($0,1$, 1 and $10 \text{ l} \cdot \text{day}^{-1}$) has shown that there is a distinct dependence between the alga mass diminution values and water consumption values. A comparison of the algal mass decomposition rates with bacteria concentrations in the flow and growth rate permitted a conclusion to be drawn that the cell growth rate as an index of a higher level of vital cell activity is a bacterium characteristic responsible for algal decomposition.

УДК 591.524.11 (262.5)

Н. Г. СЕРГЕЕВА

ФОРМИРОВАНИЕ МЕЙОБЕНТОСНЫХ СООБЩЕСТВ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ. СООБЩЕНИЕ I

В состав любого донного биоценоза входят организмы макро-, мейо- и микробентоса, вступающие в различные связи друг с другом. В 1977—1978 гг. М. И. Киселевой [3] были изучены межвидовые взаи-