

Галина ФИШТЕЙН

ОБ ОРГАНИЗАЦИИ СООБЩЕСТВ СВОБОДНОЖИВУЩИХ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ОРГАНИЗМОВ В ПРИРОДЕ И ВОЗМОЖНОСТЯХ ЕЕ ИЗУЧЕНИЯ

Традиционным стало изучение сапрофитных микроорганизмов в их среде обитания с точки зрения трансформации ими органического вещества (ОВ) животных и растений. Это вполне закономерно и обусловлено той важной ролью микроорганизмов в природе, которую они играют как деструкторы. Однако при этом игнорируется возможность более или менее автономного функционирования микробных сообществ. Более того, в настоящее время распространен взгляд о несамостоятельности микробных ассоциаций в природе в смысле обеспечения энергией и рассматривают их только как гетеротрофный компонент экосистемы высших растений (ЭВР) (Одум, 1975).

Существует деление сапрофитных микроорганизмов, населяющих почву и воду, на микроорганизмы, участвующие в разложении свежего ОВ высших растений и животных, а также фитопланктона, если речь идет о водной экосистеме (зимогенная микрофлора) и микроорганизмы, разрушающие перегной и рассеянное ОВ, неиспользованное зимогенной микрофлорой (автохтонная микрофлора). Таким образом, обе группы микроорганизмов существуют за счет энергии ОВ ЭВР. При таком взгляде следует ожидать нестабильности микробных сообществ по той причине, что приток ОВ подвергается определенным флуктуациям и зависит от цикла развития высших растений, а также от некоторых случайных факторов. Однако многочисленные исследования показывают, что в почве и воде постоянно присутствуют микроорганизмы (если это позволяют физико-химические условия). Более того, даже без видимого притока ОВ в течение длительного времени может сохраняться большое количество организмов в среде. Например, в почве, парующей в течение 50 лет, по данным И. Е. Мишустинной (1955), обнаруживается 0,5—2 млн. бактерий на 1 г почвы, причем в течение нескольких лет их численность оставалась постоянной. Е. Н. Мишустин (1975) полагает, что фактором стабильности в таких условиях является гумус. Роль гумуса в обеспечении энергией определенной группы микроорганизмов бесспорна, однако с исчерпанием его запасов должно наблюдаться снижение численности бактерий. В водах с относительно низким притоком ОВ обнаруживается довольно много микроорганизмов (Кузнецов, 1952). Существует точка зрения, поддерживаемая большинством исследователей, выраженная А. А. Имшенецким (1978), что реальная численность микробов в естественной среде обитания много выше той, что удается обнаружить.

Исходя из многочисленных опубликованных данных о жизни микроорганизмов в воде и почве, а также опираясь на экологический взгляд о существовании организмов в природе, мы сделали вывод о гораздо большей самостоятельности (в смысле обеспечения энергией)

некоторых микробных сообществ в природе, чем принято считать. Призная практическую ценность и целесообразность деления микроорганизмов почвы и воды на автохтонные и зимогенные, как микроорганизмов, участвующих в разных стадиях гетеротрофной сукцессии на местности, необходимо признать, что это деление не охватывает всех гетеротрофных микроорганизмов.

С точки зрения организации микробных сообществ в природе и внутренних закономерностей их развития, полезно выделение стабильных и нестабильных (сукцессионных) популяций в местообитании. О стабильности можно говорить в том случае, если существует стабильный приток ОВ в сообщество микроорганизмов. Как уже подчеркивалось выше, если рассматривать сапрофитные микроорганизмы в природе только как гетеротрофное звено ЭВР, то о большой стабильности притока ОВ не приходится говорить. Видимо, часть микробных популяций (стабильный элемент ассоциаций микроорганизмов) в конкретном местообитании организована в экосистемы микроскопических организмов (ЭМО), подчиняющихся основным закономерностям функционирования присущей организации живого на этом уровне. Возможная структура ЭМО: продуценты — фотосинтезирующие микроскопические водоросли; редуценты — бактерии, грибы; консументы — простейшие.

В виду того, что пространственные расположения ЭВР и ЭМО в природе в большой мере перекрываются, для реального существования ЭМО как функциональной единицы, обладающей определенной степенью гомеостаза, необходимо, чтобы ее структурные единицы как можно меньше реагировали на изменения в ЭВР.

Предполагается, что основное количество ОВ, необходимое для функционирования ЭМО, образуется водорослями. В таком случае популяции водорослей как автотрофный компонент стабильной экосистемы должны удовлетворять следующим требованиям.

1. Фиксация достаточного количества необходимой для поддержания жизни гетеротрофов экосистемы энергии, которая выражена в соотношении биомасс автотрофных и гетеротрофных организмов (сравнимых по скорости роста), соответствует отношению $\sim 9 : 1$ (Одум, 1975).
2. Стабильность продукции ОВ.

Что касается первого пункта, то на него можно ответить удовлетворительно. Роль фотосинтезирующих водорослей в продукции ОВ можно продемонстрировать на примере водных экосистем. Так, при подсчетах баланса ОВ оз. Байкал показано, что основная продукция приходится на фитопланктон (Вотинцев, Поповская, 1978). Роль водорослей в продукции ОВ в почве оценена слабо — ее оценка затруднена тем, что деятельность водорослей в почве завуалирована деятельностью растений. Однако анализ данных о динамике микроорганизмов в долговременно парующей почве (Рахно и др., 1971; Рийс, Рахно, 1975) показывает, что в ней развивается стабильное сообщество микроорганизмов, включающее автотрофы и гетеротрофы, где на биомассу автотрофов приходится около 90% биомассы сообщества. Такого рода данные подтверждают идею о наличии ЭМО, способных к самостоятельному существованию.

На второй пункт (о стабильности), исходя из уровня изученности вопроса, невозможно дать однозначный ответ. Очевидно только то, что продукция водорослей стабильней, чем продукция высших растений. Судя по литературным данным, из почвы и воды можно выделить водоросли в любое время года (Штина, Ройзин, 1966 и др.), однако неизвестно насколько они активны в холодное время года и способны ли к фотосинтезу под снегом. Случаи роста водорослей на ледниках (Kukk, 1970), а также способность некоторых высших растений к росту под

снежным покровом дают основание предполагать способность водорослей фотосинтезировать под снегом.

Гетеротрофные организмы ЭМО — бактерии, грибы и простейшие — должны обладать специфичностью к питанию биомассой водорослей. Это возможно в том случае, если биохимический состав водорослей отличается от состава высших растений и животных. Биохимический состав водорослей хорошо изучен (Барашков, 1963) и отличается от состава биомассы высших растений, с одной стороны, и животных, с другой, в первую очередь соотношением белков, жиров и углеводов. Так, в растительных тканях большое место занимает целлюлоза, особенно в древесине (до 60%). В биомассе хлореллы целлюлозы менее одного процента. Значительное содержание белковых веществ в клетках одноклеточных водорослей (до 40—45%) приближает в некоторой степени биомассу водорослей к биомассе животных. Но показано, что белок водорослей обладает специфичностью. Например, он в гораздо меньшей степени поддается воздействию таких протеолитических ферментов, как пепсин и трипсин, чем белок животного происхождения (Гительзон и др., 1976). Скармливание биомассы синезеленой водоросли (спирулины) крысам приводило к гибели некоторых животных (Фофанов и др., 1976).

В лабораторных исследованиях показано, что культивирование водорослей в аксенных условиях приводит к образованию сообщества специфичных гетеротрофных микроорганизмов в культуре водорослей (Владимирова, 1961; Максимова, 1966; Рерберг, Бархатова, 1967 и др.). В исследованиях, проведенных Е. М. Кондратьевой и М. Н. Пименовой (1976), из микрофлоры, сопутствующей водорослям в условиях интенсивного культивирования, нередко удавалось выделить больше микроорганизмов, способных расти на отваре водорослей, чем на мясопептонном агаре. Эти данные позволяют предположить, что и в природных местообитаниях существуют группы микроорганизмов, приспособленных к питанию веществом водорослей.

Простейшие так же, судя по данным литературы, избирательно питаются теми или иными видами бактерий. Например, В. Ф. Николук (1978), исследуя питание простейших почвы, делает вывод о том, что некоторые из них предпочитают олигонитрофильные бактерии. Таким образом, есть условия, позволяющие существование ЭМО в природе. При функционировании в пределах ЭВР ЭМО сохраняют определенную самостоятельность. В ЭМО организованы фотосинтезирующие микроскопические водоросли, сапрофитные микроорганизмы, питающиеся веществом водорослей, некоторые виды простейших, приспособленных к питанию определенными группами бактерий. Лабораторными экспериментами уже показана возможность существования самоподдерживающих экосистем одноклеточных организмов, где фотосинтезирующая водоросль снабжает энергией гетеротрофное звено биоценоза, состоящее из бактерий, грибов и простейших (Ковров и др., 1976; Ковров, Фиштейн, 1978, 1980).

В одном местообитании могут сосуществовать специализированные сапрофиты ЭВР, специализированные сапрофиты ЭМО, неспециализированные сапрофиты, способные функционировать и в ЭВР и в ЭМО, а также группа микроорганизмов, разлагающих гумус. Стабильность численности популяций микроорганизмов в среде обитания обусловлена двумя факторами: 1) функционированием ЭМО; 2) наличием запасов ОВ (гумуса). Значимость 1 или 2 как факторов стабильности в данном местообитании зависит от соотношения мощностей потока энергии через ЭВР и ЭМО. Отсюда, фактор 1 наиболее значим в водной среде обитания, а фактор 2 — в почве, покрытой постоянной растительностью.

Взаимосвязь ЭВР и ЭМО в одном местообитании может быть мно-

гогранной и может осуществляться посредством общих сапрофитов, физической среды, а также прямого взаимодействия автотрофов систем, выражающегося главным образом в конкуренции, как это наблюдается у организмов с перекрывающейся экологической нишей. Отсюда — возможное объяснение факта уменьшения численности водорослей в почве в период вегетации высших растений.

Для наблюдения ЭМО в природе необходимо выделить их из ЭВР. Одним из способов изучения ЭМО может быть использование биометров, из которых удаляют высшие растения и их остатки. Так, интерпретация данных, полученных при комплексном исследовании сообщества микроорганизмов в почве с помощью биометров, проведенных П. Рахно с сотрудниками (1971), с точки зрения ЭМО, хорошо объясняет наблюдаемые явления. Сообщество микроскопических организмов в чистых природных водах при низкой концентрации биогенных элементов, очевидно, представлено главным образом видами ЭМО. Поэтому из такой среды можно выделить сапрофитные микроорганизмы, предпочитающие ОВ водорослей.

Исследование природных объектов дает возможность получить интересные данные о структуре микробных сообществ, однако выяснение их функционирования весьма затруднено. Вопросы функционирования и взаимосвязи компонентов удобней решать экспериментальным путем с последующей проверкой в естественных условиях. Одним из наиболее удобных и перспективных методов экспериментального исследования организации микробных сообществ может быть метод микроэкосистем, используемый в экологии около 30 лет (Odum, Hoskin, 1957). Основная его идея — создание сообщества автотрофных и гетеротрофных организмов, осуществляющих круговорот веществ в замкнутом пространстве, где поддерживаются физико-химические условия, необходимые для жизнедеятельности организмов, и использование этих сообществ для исследования структуры и функции природных экосистем. Получены сбалансированные водные микроэкосистемы, населенные многоклеточными организмами.

Нами были получены водные микроэкосистемы из микроскопических организмов (водорослей, бактерий, грибов и простейших), в которых наблюдалась стабилизация биомассы, хлорофилла и популяций организмов (Ковров, Fishtein, 1978). Сосуды, в которых содержали биоценозы, были запаяны. Водоросли снабжали ОВ и кислородом гетеротрофов, от которых получали углекислый газ и другие минеральные соединения (Абросов и др., 1981; Ковров и др., 1981). Методика получения таких микроэкосистем и видовые составы сообществ приведены в предыдущей работе (Фиштейн, 1981). Сообщества составляли из музейных культур. Полагаем, что из основных видов, характеризующих трофическую структуру ЭМО, можно составить самоподдерживающую микроэкосистему — модель ЭМО. Чем точнее определена структура ЭМО конкретного местообитания, тем способней к самоподдержанию микроэкосистема, составленная на ее основе.

Как указано выше, решается вопрос получения водных микроэкосистем, а вопрос получения микроэкосистем почв совершенно не выяснен, и, насколько нам известно, еще не начата его разработка. Именно исследование микробных сообществ почв сопряжено с наибольшими трудностями. Микроэкосистемы как модели микробных сообществ почв могут дать широкие возможности исследования проблем почвенной микробиологии.

По нашему мнению, организация свободноживущих микроскопических организмов в природе как компонентов ЭВР и ЭМО не только имеет теоретическое значение, но и полезна при решении практических проблем, связанных с использованием человеком объектов природы.

ЛИТЕРАТУРА

- Абросов Н. С., Губанов В. Г., Ковров Б. Г., Фиштейн Г. Н. Теоретико-экспериментальный анализ развития замкнутых микрэкосистем в зависимости от обеспеченности веществом и энергией. — В кн.: Проблемы биосферы, М., 1981, вып. 2, 102—110.
- Барашков Г. К. Химия водорослей. М., 1963.
- Владимирова М. Г. Динамика развития бактериальной микрофлоры при культивировании хлореллы. — Микробиология, 1961, 30, 431—435.
- Вотинцев К. К., Поповская Г. И. Круговорот органического вещества и биогенных элементов в озере Байкал. — В кн.: Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водах. Таллин, 1978, 49—52.
- Гительзон И. И., Трубачев И. Н., Барашков В. А. Атакуемость протеолитическими ферментами и аминокислотный состав белков некоторых одноклеточных организмов. — В кн.: Материалы IX всесоюзного рабочего совещания по вопросу круговорота веществ в замкнутой системе на основе жизнедеятельности низших организмов. Киев, 1976, 31—32.
- Имшенецкий А. А. Об изучении новых микроорганизмов. — Успехи микробиологии, 1978, 13, 3—7.
- Ковров Б. Г., Мамаво Г. А., Фиштейн Г. Н. Экспериментальные модели замкнутых экосистем из одноклеточных организмов. — В кн.: Материалы IX всесоюзного рабочего совещания по вопросу круговорота веществ в замкнутой системе на основе жизнедеятельности низших организмов. Киев, 1976, 61—63.
- Ковров Б. Г., Фиштейн Г. Н. Функциональные особенности некоторых искусственных микрэкосистем, сличающихся структурой биоценоза. — В кн.: Структурно-функциональные особенности естественных и искусственных биогеоценозов. Днепропетровск, 1978, 19.
- Ковров Б. Г., Фиштейн Г. Н. Распределение биомассы в синтетических замкнутых микробиоценозах в зависимости от видовой структуры. — Изв. АН СССР. Сиб. отд. Биол. н., 1980, 1, 35—40.
- Ковров Б. Г., Комлик Л. П., Фиштейн Г. Н. Роль отдельных видов гетеротрофных микроорганизмов в замкнутой микрэкосистеме. — Экология, 1981, 5, 99—101.
- Кондратьева Е. М., Пименова М. Н. Численность и состав микрофлоры, сопутствующей водорослям в условиях интенсивного культивирования. — В кн.: Материалы IX всесоюзного рабочего совещания по вопросу круговорота веществ в замкнутой системе на основе жизнедеятельности низших организмов. Киев, 1976, 31—70.
- Кузнецов С. Н. Роль микроорганизмов в круговороте веществ в озерах. М., 1952.
- Максимова И. В. Взаимоотношения водорослей с другими микроорганизмами в смешанных культурах. — В кн.: Биология автотрофных микроорганизмов. МГУ, 1966, 160—183.
- Мишустин Е. Н. Ассоциации почвенных микроорганизмов. М., 1975.
- Мишустина И. Е. Олигонитрофильные микроорганизмы почвы. — Тр. Ин-та микробиол. АН СССР, 1955, вып. 4, 110—120.
- Николюк В. Ф. Влияние простейших на деятельность бактерий. — В кн.: Микробиологические основы повышения плодородия почвы. Таллин, 1978, 97—104.
- Одум Ю. Основы экологии. М., 1975.
- Рахно П., Аксель М., Сирн Л., Рийс Х. Динамика численности почвенных микроорганизмов. Таллин, 1971.
- Герберг М. С., Бархатова И. М. К вопросу о микрофлоре альго-бактериального сообщества, перерабатывающего выделения человека. — В кн.: Проблемы создания замкнутых экологических систем. М., 1967, 96—102.
- Рийс Х., Рахно П. Количественная динамика почвенных водорослей. Таллин, 1975.
- Фофанов В. И., Абакумова И. А., Колдунова И. М., Маркарян М. В., Смирнова Т. А. Оценка биомассы спирулины как источника белка в рационах животных. — В кн.: Материалы IX всесоюзного рабочего совещания по вопросу круговорота веществ в замкнутой системе на основе жизнедеятельности низших организмов. Киев, 1976, 141—142.
- Фиштейн Г. Н. Видовая структура замкнутых микрэкосистем. Рукопись депонир. в ВИНТИ, 1981, № 374-8, Деп. 20.
- Штина Э. А., Ройзин М. Б. Водоросли подзолистых почв Хибин. — Ботанический ж., 1966, 51, 509—519.
- Kourov, B. G., Fishtein, G. N. Experimental closed microecosystems containing unicellular organisms. — In: Continuous Cultivation of Microorganisms, 7th Intern. Symp. Prague, 1978, 44.
- Kukk, E. Veikad jäälüustikel. — Eesti Loodus, 1970, 3, 168—169.
- Odum, H. T., Hoshkin, Ch. M. Metabolism of laboratory stream microcosm. — Publ. Inst. Mar. Sci., Univ. Texas, 1957, 4, 115—133.

Институт экспериментальной биологии
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
10/XI 1982

**VABALT ELAVATE MIKROSKOOPILISTE ORGANISMIDE KOOSLUSTE
ORGANISATSIOONIST LOODUSES JA SELLE UURIMISE VÕIMALUSTEST**

On esitatud idee vabalt elavate mikrokoopiliste organismide eksisteerimisest mullas ja vees. Heterotroofseid mulla- ja veemikroorganisme võib vastavalt nende toitumistavadele jaotada kolme rühma: 1) taimede ja loomade biomassi redutsendid, 2) huumust lagundavad mikroorganismid ja 3) vetikate biomassi redutsendid. Neist viimane on mikrokoopiliste organismide ökosüsteemi funktsionaalne rühm.

Mikroorganismide koosluste struktuuri uurimiseks on soovitatud kasutada mikro-ökosüsteemi eksperimentaalset meetodit.

**ON THE ORGANIZATION OF FREE-LIVING MICROSCOPIC ORGANISM
COMMUNITIES IN NATURE AND WAYS OF ITS INVESTIGATION**

An idea of the existence of self-nourishing ecosystems of microscopic organisms in the soil and water is suggested. The heterotrophic soil and water microorganisms can be divided into three parts according to their nourishing as follows: 1 — reducers of plant and animal matter; 2 — decomposers of humus; 3 — reducers of algal biomass. The third part of heterotrophic microorganisms is a functional group of the ecosystem of microscopic organisms.

The structure of microorganism communities can be investigated experimentally by using the microecosystemic approach.