

# АКТИВНОСТЬ БАКТЕРИАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ЦИКЛА СЕРЫ В ПРИБРЕЖНОЙ ПОЛОСЕ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ

А. С. Саввичев, И. И. Русанов, И. Т. Байрамов, С. А. Волошин  
Институт микробиологии РАН

Изучение масштабов деятельности сульфатредуцирующих бактерий в природных экосистемах — одно из важных направлений микробной экологии. Практически весь природный сероводород на нашей планете является продуктом деятельности бактерий. Биогенным сероводородом насыщены донные осадки и водная толща Черного моря. Выделение сероводорода характерно для меромиктических озер и устьевых участков рек, в особенности испытывающих антропогенную нагрузку.

Сульфатредуцирующие бактерии широко распространены в природе. Их деятельность определяет не только выделение сероводорода, но и отложение сернистого железа, пирита и карбоната кальция. Хорошо известно, что процесс бактериального восстановления сульфатов может происходить только в отсутствие кислорода, так как все сульфатредукторы — строгие анаэробы и требуют для своего развития низкого окислительно-восстановительного потенциала.

Сульфатредуцирующие бактерии составляют морфологически разнородную высокоспециализированную физиологическую группу бактерий, обладающую широкими метаболическими возможностями. Их энергетический метаболизм основан на анаэробном окислении низкомолекулярных органических веществ до углекислоты за счет сопряженного восстановления сульфатов до сероводорода. В качестве доноров электронов, помимо различных органических веществ, ряд видов способен к использованию молекулярного водорода. В этих случаях наблюдается хемолитоавтотрофный рост с использованием углекислоты.

В поверхностных горизонтах донных осадков различных водоемов сульфатредуцирующие бактерии развиваются в метаболически сопряженном контакте с гетеротрофными анаэробными бактериями, которые осуществляют процесс брожения с образованием ряда низкомолекулярных соединений, таких как лактат, этанол, бутират, жирные кислоты, и молекулярного водорода. Анаэробные бродильщики, с их активными гидролазами, осуществляют процесс деструкции сложных полимеров, таких как целлюлоза, лигнин, хитин, поставляя тем самым продукты своей жизнедеятельности сульфатредуцирующим бактериям. Во многих микробных экосистемах наблюдается замкнутый круговорот ряда элементов. Наиболее значимы круговороты углерода, серы, азота и железа. Рассеивание энергии в микробных экосистемах часто связано с детритным потоком и сопряженным с ним круговоротом углерода и серы.

Сероводород, выделяемый сульфатредуцирующими бактериями, проникает в узкую зону совместного существования с кислородом, где потребляется тионовыми и бесцветными серными бактериями в условиях отсутствия света, или фотосинтезирующими (зелеными и пурпурными) бактериями при его наличии. Восстановленные соединения серы и сероводород окисляются до серы и до сульфата. Так функционирует сообщество микроорганизмов, осуществляющих процесс деструкции органического вещества в экосистемах с наличием сульфатов.

Для оценки масштабов процесса деструкции органического вещества необходимо количественно охарактеризовать реальную природную активность микроорганизмов цикла серы. Долгое время единственным методом учета был диагностический высев образцов на жидкие или агаризованные селективные питательные среды и использование приема предельных разведений. Однако данные учетов численности бактерий невозможно количественно преобразовать в показатели активности микробных процессов. Ситуация принципиально изменилась с разработкой радиоуглеродного метода, впервые примененного для оценки активности сульфатредуцирующих бактерий М. В. Ивановым. К настоящему времени собран солидный банк данных по активности бактерий цикла серы для водоемов с самыми разными гидрохимическими и трофическими характеристиками.

Поверхностные осадки литорали Кандалакшской губы Белого моря, по представлению многих исследователей, являются самостоятельной экосистемой, в которой наблюдаются чрезвычайно активные процессы микробной деструкции органического вещества как морского, так и терригенного происхождения. В этом процессе принимают участие все физиологические группы бактерий цикла серы. В августе 1999 г. нами проведена оценка активности процесса бактериальной сульфатредукции с использованием радиоуглеродного метода. В поверхностном слое осадков приливно-отливной зоны обнаружена крайне высокая мозаичность микроплощадок по показателю активности процесса сульфатредукции. В илах с явными окислительными условиями ( $E_h = +100 — +200$  мВ) интенсивность сульфатредукции не превышала 5—10 мкг S/кг ила в сутки. В то же время, в ряде образцов были отмечены восстановительные условия ( $E_h = -200 — -300$  мВ), ощутимый запах сероводорода и активность сульфатредукции до 10—17 мг S/кг ила в сутки. Столь высокие показатели характерны только для высокопродуктивных экосистем, таких как донные осадки устья реки Конго, отдельные колонки илов в устье реки Дуная, донные отложения мангровых зарослей Кубы.

Микрорельеф литорали сложен. Ряд локальных ямок имеет постоянный приток органического вещества. За счет постоянного протока и высокой активности процесса биотурбации сообщество микроорганизмов не лимитируется как органическим веществом, так и содержанием сульфатов. На площадках с более интенсивным протоком преобладают окислительные условия, не дающие возможности активного развития сульфатредуцирующих бактерий.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что илы литорали Белого моря являются сложной экосистемой, характеризующийся мощным процессом микробной деструкции органического вещества.

**IV научная** конференция Беломорской биологической станции МГУ: Материалы. — М.: Изд. Беломорской биол. ст. Моск. ун-та, 1999. —с. 52-54.