

Микробные сообщества воды и донных осадков субарктического меромиктического озера Светлое

Кадников В.В., Каллистова А.Ю., Русанов И.И., Кокрятская Н.М., Белецкий А.В., Марданов А.В., Саввичев А.С., Равин Н.В., Пименов Н.В.

ФИЦ Биотехнологии РАН, Москва; vkadnikov@biengi.ac.ru

Бореальные пресные водоемы, расположенные к северу от 50° с.ш., считаются важным источником парникового газа метана. Среди них доминирующими типами водоемов являются ледниковые, послеледниковые и термокарстовые озера. Разнообразие микробных сообществ, участвующих в процессах цикла метана в этих озерах, плохо изучено, особенно для пресноводных меромиктических озер с постоянно анаэробным гипolimнионом. Биогенный метан вырабатывается главным образом метаногенными археями. В большинстве пресноводных меромиктических озер с низким содержанием сульфата активные процессы метаногенеза начинаются уже монимолимнионе и достигают максимальных интенсивностей на границе раздела вода-осадок. В условиях отсутствия конкуренции с сульфатредукторами ацетат и другие низкомолекулярные продукты разложения ОВ становятся доступными для метаногенов, которые в таких водоемах играют роль основных терминальных деструкторов ОВ.

Мы исследовали микробные сообщества воды и донных осадков субарктического озера Светлое (Архангельская область), относящегося к редкому типу пресноводных меромиктических озер с высокими концентрациями Fe(II) и метана в постоянно анаэробном гипolimнионе. В результате молекулярного анализа последовательностей генов 16S рРНК были охарактеризованы микробные сообщества воды на разных глубинах, - 0.5, 5, 10, 17, 21, 21.5, 22, 22.5, 23, 27, 33 и 38 м. Полученные данные по составам микробных сообществ выявили их отличия в верхней аэробной зоне (0.5-17 м), хемоклине (21-24 м) и нижней анаэробной зоне (27-38 м). Микробные сообщества верхней аэробной зоны характерны для водоемов с насыщенной кислородом водой. В них преобладают Actinobacteria (27-32% в разных горизонтах), Bacteroidetes (30-36%), Planctomycetes (2-3%), Alphaproteobacteria (2-4%), Betaproteobacteria (7-20%) и Verrucomicrobia (2-6%). Цианобактерии составляют значительную долю сообщества лишь на глубине 17 м (12%), а в верхних слоях их доля не превышает 3%. По-видимому, основными фотосинтетиками в верхних слоях воды являются микроводоросли, последовательности рРНК хлоропластов которых были нами детектированы. Доли цианобактерий и гамма-протеобактерий в микробных сообществах достигают максимума в верхней части зоны хемоклина, составляя на глубинах 21-21.5 м соответственно, 15-17% и 11-12% всех микроорганизмов. Гамма-протеобактерии в этом горизонте представлены почти исключительно метанотрофами рода *Methylobacter*. Вне зоны хемоклина доли этих групп в сообществах существенно ниже. Эти данные указывают на то, что в зоне хемоклина активный процесс окисления метана в условиях отсутствия или крайне низких концентраций кислорода, может обеспечиваться совместным действием цианобактерий, образующих кислород в результате фотосинтеза, и аэробных метанотрофов, использующих его для окисления метана. В нижнем горизонте хемоклина (глубина 22-23 м) содержание цианобактерий и гамма-протеобактерий в сообществах снижается, но увеличивается доля дельта-протеобактерий (до 6.5%), представленных сульфатредукторами порядка Desulfobacteraceae и Syntrophaceae (род *Desulfomonile*). Микробные сообщества анаэробной зоны, расположенной ниже хемоклина (горизонты 27-38 м) отличаются преобладанием архей, доля которых составляет 62-65%. Среди архей доминировали две группы, - Euryarchaeota (25-36% всех микроорганизмов) и Rasearchaeota (22-32%). Euryarchaeota были представлены метаногенами порядков Methanomicrobiales и Methanosarcinales в примерно равных соотношениях. Вторая группа, Rasearchaeota, до

настоящего времени является «некультивируемой», эти археи имеют небольшие геномы и, вероятно, являются симбиотическими или паразитическими организмами.

Также мы исследовали микробные сообщества донных осадков озера Светлое на глубинах до 62 см. В осадках доля архей на разных глубинах составляла 50-70% всего микробного сообщества. Около 30-50% всех микроорганизмов относились к некультивируемым линиям архей. Так, в поверхностных горизонтах доминировали *Izearchaea* (10-11%) и *Woeearchaeota* (7-14%). С глубиной увеличивалось содержание *Bathyarchaeota*, от 8% на границе воды и осадка до 27% на глубине 62 см. Из культивируемых групп архей были обнаружены гидрогенотрофные метаногены порядка *Methanomicrobiales*, доля которых с глубиной уменьшалась. Также в верхнем слое осадка присутствовали ацетокластические метаногены порядка *Methanosarcinales*, а метилотрофные метаногены *Methanomassiliicoccales* доминировали в средних слоях осадка (15-35 см). Среди бактерий наибольшую по численности группу составляли *Chloroflexi*, доля которых с глубиной увеличивалась до 28%. Среди других филумов бактерий были обнаружены *Bacteroidetes*, *Planctomycetes*, *Atribacteria* и *Deltaproteobacteria*. Таким образом, состав микробных сообществ глубинных горизонтов воды и донных осадков озера Светлое указывает на активный процесс метаногенеза. Значительную долю микробных сообществ составляли различные «некультивируемые» линии микроорганизмов с неизвестным метаболизмом.

Работа поддержана грантами РФФ (16-14-10201) и РФФИ (18-34-20080).