

**Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского**  
**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки**  
**Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского**  
**Российской академии наук**

при поддержке  
Российского фонда фундаментальных исследований



**МЕТАН В МОРСКИХ ЭКОСИСТЕМАХ**  
тезисы и программа  
Всероссийской научно-практической конференции,  
посвящённой 25-летию обнаружения струйных метановых  
газовыделений в Чёрном море

**13–15 октября 2014 г.**  
**Севастополь, Россия**

## К ВОПРОСУ О ПРИРОДЕ МЕТАНА АЭРОБНОЙ ВОДНОЙ ТОЛЩИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Русанов И.И.<sup>1</sup>, Юсупов С.К.<sup>1</sup>, Засько Д.Н.<sup>2</sup>, Захарова Е.Е.<sup>1</sup>, Анохина Л.Л.<sup>2</sup>, Пименов Н.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского, Москва, Россия,

[rusanov\\_igor@mail.ru](mailto:rusanov_igor@mail.ru)

<sup>2</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова, Москва, Россия, [dasha\\_zas@mail.ru](mailto:dasha_zas@mail.ru)

Хорошо известно, что Черное море является крупнейшим меромиктическим водоемом, в котором 90% объема занимает склон и котловина, заполненные безкислородной водой. Этот водоем также является и самым большим в мире резервуаром растворенного в анаэробной водной толще метана.

Цикл метана является одним из геохимически важных звеньев глобального круговорота углерода. Практически все процессы трансформации метана осуществляются специфическими группами микроорганизмов.

Актуальность количественных оценок роли микроорганизмов в круговороте метана в Черном море особенно возросла после того, как на дне моря были обнаружены струйные выделения метана из донных осадков и действующие грязевые вулканы.

Показано, что во всей анаэробной зоне, с горизонта появления сероводорода, происходит резкое увеличение содержания метана до дна. В глубоководной зоне нижней части склона и котловины наблюдается близкое к линейному увеличению концентрации метана до горизонта 600-800 метров, глубже содержание  $\text{CH}_4$  заметно падает и до дна существенно не меняется, иногда имея придонные максимумы. При этом, абсолютные значения концентрации метана, на одних и тех же горизонтах, заметно отличаются по акватории.

Показано, что основная часть метана водной толщи образуется микроорганизмами непосредственно в анаэробных водах и составляет величину порядка  $630 \times 10^9$  М в год [1].

Установлено, что в анаэробной водной толще величина микробного потребления метана ( $773 \times 10^9$  М в год) существенно превышает его продукцию метаногенами [1]. Интенсивность анаэробного потребления метана, в среднем, на 2-3 порядка выше аэробного метаноокисления.

Предполагается, что дисбаланс микробных процессов цикла метана (порядка  $143 \times 10^9$  М в год) покрывается дополнительными источниками метана из многочисленных метановых сипов и грязевых вулканов [1].

Высокое содержание метана в анаэробных водах не влияет на его распределение в кислородсодержащих горизонтах, поскольку аэробные и анаэробные воды Черного моря разделены зоной выраженного концентрационного минимума метана [2]. Нижняя граница этого минимума привязана к величине условной плотности 15,7-15,8 единиц.

Таким образом, **основная часть метана глубоководной зоны, образовавшегося de novo и поступающего дополнительно, потребляется аэробными бактериями в зоне хемоклина и метанотрофными археями в анаэробных водах.**

Было показано, что проникновение метана метановых сипов в атмосферу возможно только на шельфе и в прибрежной зоне, где глубина моря не превышает 200 метров. В более глубокой зоне метан сипов не достигает поверхности [3].

С другой стороны показано, что поверхностные воды Черного моря пересыщены метаном в 2-10 раз, относительно равновесной концентрации с атмосферой [2,4]. Между поверхностью и концентрационным минимумом над редокс-зоной, в кислородсодержащих водах, как правило, обнаруживаются концентрационные максимумы, часто превышающие содержание метана в поверхностных водах. Величины и глубины их залегания могут быть разными даже на соседних станциях, а также меняться в зависимости от сезона [2]. Наличие таких локальных максимумов содержания метана, не зависимо от акватории, предполагает существование в аэробной водной толще зон, благоприятных для протекания строго анаэробного процесса микробного образования метана.

Измеренные нами на большом количестве станций интенсивности микробного метаногенеза хорошо совпадали с пиками концентрации метана в аэробной водной толще, а по абсолютным значениям в ряде случаев были даже выше, чем в анаэробной зоне [5].

Поскольку метаногены являются строгими анаэробами, то благоприятные для них анаэробные микрозоны могут быть приурочены к пищеварительным трактам и пеллетам зоопланктона, частицам взвеси и органическим агломератам, отмирающему фитопланктону.

Пики содержания метана обычно приурочены к зоне термоклина, где на градиенте происходит концентрация взвешенного органического вещества. Встречаются пики метана и ниже термоклина, в зоне отмирания "хо-

лодолюбивого" фитопланктона, развивающегося под термоклином. Кроме этого, они приурочены к зонам кормления и пеллетной разгрузки зоопланктона.

Нами были проведены эксперименты как с копеподами, наиболее крупными представителями черноморского зоопланктона, так и со сгущениями взвеси с разных горизонтов, в сравнении с нативными пробами и фильтратом воды с тех же горизонтов.

Показано, что во всех образцах с копеподами интенсивность микробного метаногенеза была значительно выше, чем в нативных водных образцах на соответствующих горизонтах. Более того, в зависимости от количества копепод, добавленных в образец, пропорционально возрастала интенсивность метаногенеза. Аналогичные закономерности наблюдали в экспериментах с пеллетами зоопланктона.

Во всех образцах со сгущенной взвесью интенсивность микробной продукции также была выше, чем в нативных образцах. Но наибольшие максимумы микробного метаногенеза соответствовали тем горизонтам, где были детектированы пики концентрации метана в нативных образцах.

Доказано, что повышение концентрации метана, обнаруживаемое в аэробной водной толще, обусловлено деятельностью метаногенов в анаэробных микрониахах: кишечники и пелеты зоопланктона, взвешенные частицы органического вещества. При этом интенсивность микробной продукции метана заметно превышает скорости метаноокисления. В аэробной зоне наблюдается положительный баланс в микробном цикле метана.

**Следовательно, именно избыточный метан, образующийся микроорганизмами в анаэробных микрониахах кислородсодержащей водной толщи, может определять поток метана с акватории глубоководной зоны Черного моря в атмосферу.**

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ №13-05-00575.

1. *Леин А.Ю., Иванов М.В.* Биогеохимический цикл метана в океане. М.: Наука, 2009. 576с.
2. *Егоров А.В.* Некоторые черты распределения метана в водной толще северо-восточной части Черного моря. //В кн.: Комплексные исследования северо-восточной части Черного моря. М.: Наука, 2002. с. 183-190.
3. *Schmale O., Greinert J., Rehder G.* Methane emission from high-intensity marine gas seeps in the Black Sea into the atmosphere.//Geophysical Research Letters.2005, v.32.

4. *Atouroux D., Roberts G., Rapsomonicis S. et al.* //Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2002, v. 54, № 3, p. 575-588.
5. *Русанов И.И., Юсупов С.К., Савичев А.С., Леин А.Ю., Пименов Н.В., Иванов М.В.* Микробное образование метана в аэробной водной толще Черного моря. //ДАН. 2004, т. 399, №4, с. 571-573.