

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа»

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН»

International Peat Society

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Сибирский федеральный научно-клинический центр
Федерального медико-биологического агентства»

ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОРФЯНЫХ РЕСУРСОВ СИБИРИ

Материалы Третьей международной
научно-практической конференции

27 сентября — 3 октября 2015 года,
г. Томск, Россия

Томск
2015

ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ИОНОВ, ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ НА ANAMMOX-ПРОЦЕСС

THE INFLUENCE OF SOME IONS, HEAVY METALS AND ORGANIC COMPOUNDS ON ANAMMOX-PROCESS

Бурнашова Е. Н., Мартынов М. С.
Burnashova E. N., Martynov M. S.

ФГБНУ «Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа», Томск, Россия,
lichtgestalte@mail.ru

НИИ биологии и биофизики Томского государственного университета, maximarti@mail.ru
Siberian Research Institute of Agriculture and Peat, Tomsk, Russia
Research Institute of Biology and Biophysics of Tomsk State University, Tomsk, Russia

Приводится обзор исследований, посвященных интенсивным микробиологическим методам очистки сточных вод от соединений азота. Представлены результаты исследований в решении проблем быстрого восстановления консорциума микроорганизмов после воздействия различных токсичных соединений, рассмотрены на примерах ионов кальция, оксида графена, глюкозы, окситетрациклина, кадмия, серебра, ртути, свинца и фенола.

Ключевые слова: ANAMMOX-процесс, восстановление, влияние, ионы кальция, оксид графена, глюкоза, окситетрациклин, кадмий, серебро, ртуть, свинец, фенол.

Provides an overview of research on the intensity of microbiological methods of sewage treatment from nitrogen compounds. The results of research in solving problems quickly restore a consortium of microorganisms after exposure to various toxic compounds, discussed in the examples of calcium ions graphene oxide, glucose, oxytetracycline, cadmium, silver, mercury, lead and phenol.

Key words: ANAMMOX-process recovery, impact, calcium ions, graphene oxide, glucose, oxytetracycline, cadmium, silver, mercury, lead, phenol.

Одной из проблем в практическом применении ANAMMOX-процесса является низкая скорость роста ANAMMOX-бактерий (время удвоения — 11 суток), а их относительная труднодоступность в природе и сравнительная малоизученность приводит к тому, что запуск и выведение на стабильный режим работы ANAMMOX-реакторов занимает длительное время и пока не является стандартной практикой [1].

Однако, несмотря на столь явные сложности при реализации, процесс анаэробного окисления аммония в сравнении с традиционным нитрифицирующим-денитрифицирующим способом удаления азотных загрязнений остается экономически более выгодным, не требует для реализации отчуждения больших площадей, аэрации и внесения дополнительного донора электронов. В связи с этими фактами изучение влияния ионов, тяжелых металлов и органических соединений на ANAMMOX-бактерии является перспективным направлением в решении проблем быстрого восстановления консорциума микроорганизмов после воздействия различных токсичных соединений и стабилизации работы очистных сооружений.

Для быстрого восстановления консорциума аннамокс-бактерий использовали осмотически активные внутриклеточные ионы кальция $[Ca^{2+}]$ [2], которые являются регулятором метаболизма бактерий. Исследование проводилось по восстановлению аннамокс-консорциума, в котором почти 80% клеток были мертвы или сильно по-

вреждены. Химический анализ и проточная цитометрия показали, что концентрация $[Ca^{2+}]$ имеет важное значение и процесс восстановления проходит быстрее с увеличением концентрации $[Ca^{2+}]$, которая колебалась от 0,02 до 0,5 мМ. Так же установлено, что концентрация $[Ca^{2+}]$ во внешней среде и уровень внутриклеточного $[Ca^{2+}]$ различны, концентрация внутриклеточного кальция значительно выше, что указывает на положительное влияние $[Ca^{2+}]$ на восстановительные процессы.

Для повышения активности анаммокс-бактерий был использован оксид графена. Результаты показали, что активность увеличивалась вместе с увеличением концентрации оксида графена и варьировалась в пределах 0,05–0,1 г/л. Анаэробная окислительная деятельность максимально увеличилась до 10,26 % при концентрации оксида графена 0,1 г/л [3].

Использование анаммокс-процесса с последовательным биокатализатором (процесс SBA-анаммокс) [4] был разработан в реакторе периодической подачи (SBR) для повышения эффективности удаления азотных загрязнений из богатых аммонием сточных вод, в которых концентрация глюкозы достигала 800 мг COD/л. Удаление азота в SBR значительно усиливается после последовательного добавления 0,5 GVSS/сут при большом количестве анаммокс-гранул (HASGs). Кинетический анализ показал, что HASGs обладал высоким сродством к нитриту и сильным сопротивлением к органическому веществу, которые внесли свой вклад в повышение эффективности автотрофного удаления азота. Следовательно, анаммокс-процесс стал доминирующей реакцией; денитрификация была заторможена из-за отсутствия акцепторов электронов (нитритов и нитратов), в то время как сульфатредукция превратилась в важный процесс для потребления органического вещества в системе SBA-анаммокс. Предполагается, что с использованием SBA-анаммокс процесса для очистки богатых органическим аммонием сточных вод приемлемо, так как одновременно происходит удаление азотистых соединений и органических веществ [4].

Учеными (Qian-Qian Zhang, Hui Chen, Jia-Hong Liu, Bi-E Yang, Wei-Min Ni, Ren-Cun Jin, 2014) [5] оценивалась стабильность анаммокс-процесса под воздействием окситетрациклина. Исследование проводилось при концентрациях окситетрациклина 155–1731 мг/л, длилось от 1 до 3-кратного гидравлического времени удерживания, при скорости удаления азотных загрязнений 6,72 и 13,4 кг/м³/день. Эксперимент был разделен на два периода: период воздействия окситетрациклина и период восстановления производительности анаммокс-процесса. Вследствие эксперимента была выявлена концентрация антибиотика, при которой гранулы анаммокс бактерий были устойчивы. При воздействии окситетрациклина скорость удаления азотных загрязнений колебалась в диапазоне от 12,1 до 4.04 кг/м³/день. Удельная анаммокс-производительность (SAA) соответственно уменьшалась и колебалась в значениях 17,6–29,4% от нормы. Восстановление от воздействия длилось от 4 до 353 часов.

Ученые (Zhen Bi, Sen Qiao, Jiti Zhou, Xin Tang, Yingjun Cheng, 2014) провели серию экспериментов направленные на исследование воздействия тяжелых металлов Cd, Ag, Hg и Pb на биомассу анаммокс-бактерий. Процесс ингибирования и восстановления наблюдался в течение более 24 ч и 72 ч. Ингибирующая концентрация тяжелых металлов, снижающая скорость удаления азота на 50 % составила: для Cd $11,16 \pm 0,42$ мг/л; для Ag $11,52 \pm 0,49$ мг/л; для Hg $60,35 \pm 2,47$ мг/л. При внесении 40 мг/л Pb, скорость удаления азота сократилась лишь на 7,19%. По результатам установили порядок тяжелых металлов, начиная с самого сильного ингибитора скорости удале-

ния азота, и определили его как $Cd > Ag > Hg > Pb$. Кроме того, Cd и Hg может оказать устойчивое токсичное воздействие на анаммокс-бактерии, когда как после удаления Ag и Pb анаммокс-процесс возобновляется в значительной степени в течении 96 ч. [6]

В исследовании [7] были оценены кратко-и долгосрочные последствия влияния фенола на анаэробное окисление аммония (анаммокс-процесс). В двух идентичных реакторах (R0 и R1) с восходящим потоком вносили гранулы анаммокс бактерий; синтетические сточные воды без фенола подавали в R0 в то время как с фенолом подавали в R1, чтобы изучить долгосрочное воздействие. Производительность R0 была стабильной, с растущей скоростью удаления азота $10,5-21,3 \text{ кг N/m}^3/\text{день}$. Однако, производительность R1 была значительно ниже и подвержена воздействию фенола, присутствующим в среде в концентрации 50 мг/л . Ингибирование анаммокс-процесса фенолом вызвало изменение стехиометрического соотношения и характеристики гранул.

В исследовании Yu Tao, Da-Wen Gao, Hao-Yu Wang, Merle de Kreuk, Nan-Qi Ren (2013) определены экологические факторы, которые способствуют быстрому запуску анаммокс-процесса. Внимание уделялось начальной относительной численности и концентрации анаммокс-бактерий. Внешний мембранный биореактор был использован в качестве обогащающего инструмента, из-за его пригодности удерживать элементы. Результаты показали, анаммокс активность увеличилась более чем в 3 раза при (коэффициент Джини $< 0,25$) по сравнению с (коэффициент Джини $> 0,5$) [8].

Таким образом, исследования, проводимые в области быстрого восстановления консорциума анаммокс-бактерий, показал положительное влияние ионов кальция, оксида графена, глюкозы, тогда как окситетрациклин, кадмий, серебро, ртуть, свинец и фенол оказывают ингибирующее воздействие на ANAMMOX-процесс.

Литература

1. Трухина А. И. Оптимизация Deатох-процесса и молекулярно-биологические исследования формирующихся консорциумов микроорганизмов: дис. ... канд. хим. наук. — М. — 2011. — 115 с.
2. Sitong L., Zuotao Z., Jinren N. // Effects of Ca^{2+} on activity restoration of the damaged anammox consortium. // *Bioresource Technology* 2013 V.143 P. 315–321.
3. Dong Wang, Guowen Wang, Guoquan Zhang, Xiaochen Xu, Fenglin Yang. // Using graphene oxide to enhance the activity of anammox bacteria for nitrogen removal. // *Bioresource Technology* 2013. V. 131. P. 527–530
4. Qian-Qian Zhang, Hui Chen, Jia-Hong Liu, Bi-E Yang, Wei-Min Ni, Ren-Cun Jin. // The robustness of ANAMMOX process under the transient oxytetracycline (OTC) shock. // *Bioresource Technology* 2014. V. 153. P. 39–46.
5. Zhen Bi, Sen Qiao, Jiti Zhou, Xin Tang, Yingjun Cheng. // Inhibition and recovery of Anammox biomass subjected to short-term exposure of Cd, Ag, Hg and Pb. // *Chemical Engineering Journal* 2014. V. 244. P. 89–96.
6. Chong-Jian Tang, Ping Zheng, Shuang Ding, Hui-Feng Lu. // Enhanced nitrogen removal from ammonium-rich wastewater containing high organic contents by coupling with novel high-rate ANAMMOX granules addition. // *Chemical Engineering Journal* 2014. V. 240. P. 454–461.
7. Guang-Feng Yang, Xia-Li Guo, Shen-Xing Chen, Jia-Hong Liu, Li-Xin Guo, Ren-Cun Jin. // The evolution of Anammox performance and granular sludge characteristics under the stress of phenol. // *Bioresource Technology* 2013. V. 137. P. 332–339.
8. Yu Tao, Da-Wen Gao, Hao-Yu Wang, Merle de Kreuk, Nan-Qi Ren. // Ecological characteristics of seeding sludge triggering a prompt start-up of anammox. // *Bioresource Technology* 2013. V. 133. P. 475–481.