

УДК 628.355: 579.262

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАНУЛЯЦИИ АКТИВНОГО ИЛА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ АГЕНТОВ СТРЕССА В ОТЪЕМНО-ДОЛИВНОМ ПРОЦЕССЕ АЭРОБНОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ

© 2012 Н.С. Хохлачев, С.В. Калёнов, О.С. Занина, А.Е. Кузнецов

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва

Поступила в редакцию 10.10.2012

Исследовались процессы, приводящие к формированию и поддержанию стабильности гранул аэробного активного ила, выращенного на модельном бытовом стоке в отъемно-доливном режиме, оценен вклад влияния неблагоприятных факторов окружения в вариантах ведения процессов при голодании и внесении стрессора (H_2O_2) на формирование и стабильность сообщества гранул. Получены эффективно работающие гранулы аэробного активного ила, с высокой очищающей способностью и устойчивостью сообщества гранул к неблагоприятным факторам.

Ключевые слова: *активный ил, аэробные гранулы, окислительный стресс*

Один из путей совершенствования аэробной биологической очистки сточных вод связан с управлением качеством активного ила с целью поддержания его высокой окислительной способности, уменьшения вспухаемости и пенообразующей способности в аэротенке, улучшения седиментационных свойств во вторичном отстойнике, адгезионных свойств при очистке на биофильтрах и в биотенках и, напротив, снижения адгезионных, адсорбционных свойств при очистке, например, в мембранных биореакторах. В этой связи определенный интерес могут представлять возможности формирования в среде гранулированного ила. Гранулы активного ила демонстрируют более высокую степень очистки сточных вод, они более устойчивы к воздействию токсических веществ [1, 2]. Активный ил очищает стоки от фосфора и аммонийных производных, но только когда сформированы гранулы, можно добиться полной денитрификации [3]. Ил в виде гранул самообразуется в анаэробных реакторах [4, 5] современных конструкций (USBR – Upflow Sequence Bioreactor, EGSBR – Expanded Granular Sludge Bed Reactor), в реакторах с циклическим чередованием аэробных и анаэробных условий при третичной очистке сточных вод с целью удаления из них биогенных элементов (SBR). Однако в строго аэробных условиях стабильный робастный гранулированный ил до сих пор не удается получать [6]. До сих пор неизвестны точный микробиологический состав, условия и механизм формирования гранул. Кроме этого, неизвестен оптимальный радиус гранул, при котором кислород и питательные вещества могли бы проникать внутрь гранул, при изменении состава стоков и источника углерода наблюдается

резкое снижение степени очистки. Эти и другие проблемы во многом зависят от микробиологического состава и его соотношения в активном иле.

Исследование условий гранулообразования описано в литературе неполно, отрывочно. Ставится задача выявить микробиологический профиль при формировании аэробных гранул активного ила и условия их стабилизации. Настоящая работа невозможна без учета факторов внешней среды, неизбежно влияющей на сообщества микроорганизмов и вызывающих в той или иной степени стресс компонентов биоценоза. Рассматривая гранулу как динамическую систему, в которой происходят микроэволюционные изменения, функционирующую в рамках диффузионных ограничений, связанных со способностью транспорта субстратов внутрь и вывода метаболитов из гранулы; ограничений, накладываемых в рамках трофических связей и пределов выживаемости отдельных микроорганизмов и биоценоза в целом, можно предложить стресс, как фактор отбора, позволяющий выявить структурные элементы гранулы, за счет которых поддерживается ее устойчивость. Моделируя стрессовые воздействия, роль которых в поддержании стабильности гранулы предполагается из данных литературы, можно отследить изменения видового разнообразия на этапах «жизни» гранулы, выявить необходимые и достаточные элементы ее формирования, особенности при функционировании «на грани жизни и смерти».

Материалы и методы. Гранулы аэробного ила формировались при аэрации на шейкере Heidolph Unimax 2010 при 200 оборотов/мин и циклическом отъемно-доливном режиме биоочистки при внесении агента стресса (H_2O_2) и без него. При внесении пероксида варьировались фаза развития активного ила, концентрации пероксида и биомассы активного ила, режимы внесения пероксида (разовый и дробный). Варианты адаптации сообществ активного ила к пероксиду водорода проводились в линиях при концентрациях активного ила 2-4 г/л, с внесением концентраций пероксида

Хохлачев Николай Сергеевич, аспирант. E-mail: gagarin88@yandex.ru

Калёнов Сергей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры биотехнологии

Занина Ольга Сергеевна, студентка

Кузнецов Александр Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент кафедры биотехнологии

водорода от 0,3 до 0,6 г/л. В ходе исследования использовались модельные бытовые стоки с ХПК_{исх.} 350-450 мг/л, PO₄³⁻ = 4-6 мг/л, N_{общ.} = 22-28 мг/л. Первые 6 месяцев исследования сводились к формированию вариантов активных аэробных илов из различных источников, изучению их седиментационных свойств и видового разнообразия в отъемно-доливном процессе при различных условиях: режимах отъема-долива очищаемой среды, без затемнения и при затемнении колб, при различном исходном ХПК. Эксперименты показали, что режимы отъема-долива мало влияют на седиментационные свойства ила, но лучшим среди исследованных оказался режим слива 60-70% от общего объема культуральной жидкости при отстаивании порядка 10-15 минут. Опыты проводились в конических колбах объемом 250 мл при заполнении питательной средой в объеме 100 мл. Количественные характеристики модельного стока контролировались на концентрации ионов NH₄ – N, NO₂ – N, NO₃ – N, N_{общ.} и ХПК с помощью стандартных методов [7-9]. Значения pH измерялись pH-метром SevenCompact pH/Ion S220, Mettler Toledo. Концентрация растворенного кислорода измерялась анализатором растворенного кислорода Tap4000e, Mettler Toledo. Морфология активного ила изучалась с помощью оптического микроскопа (IX51, Olympus Co, Ltd, Япония). При пересевах культуры активного ила содержимое конической колбы количественно переносилось в мерный цилиндр на 100 мл, отстаивалось в течение 10-15 минут, сливалось 60-70 мл надосадочной жидкости, вносили концентрат субстрата и доводили уровень водопроводной водой до 100 мл. Образец переносили обратно в коническую колбу и аэрировался 96 часов до следующего пересева (это время было принято одним пассажем).

Проводились высевы образцов с хлопьев и гранул активного ила на стандартные среды обеспечивающие рост различных групп микроорганизмов. Использовались селективные среды [10]: среды, обеспечивающие рост различных хемоорганогетеротрофных бактерий, среды для актиномицетов, среды для азотфиксаторов, среды для тионовых бактерий, среды для денитрифицирующих бактерий, среды для сульфатредуцирующих бактерий, среды Виноградского для нитрификаторов, среды для выделения бактерий, окисляющих железо и марганец, среды для фототрофных бактерий, среды для культивирования простейших.

Результаты и обсуждение. Отъемно-доливной режим, способствующий формированию гранул активного ила [11, 12] воспроизводился в настоящих опытах по описанной в материалах и методах методике. В течение 10 пассажей не удалось сформировать устойчивые гранулы аэробного активного ила: свойства ила изменялись незначительно, изредка формировались микробные агломераты – флокулы, которые при пересевах разрушались и ил представлял в общей своей массе хлопья. Формированию гранул способствовал циклический режим очистки с доливом стока с высоким ХПК_{исх.} (до 2000 мг/л) с последующим голоданием

биоценоза. Голодание после пиковой нагрузки являлось определяющим фактором гранулообразования. При этих условиях часто формировались бурые, серые, черные, белые гранулы размером до 1 см (рис. 1).



а)



б)

Рис. 1. Гранулы активного ила полученные в SBR режиме после пиковой нагрузки и голода: а) – контроль, б) – с внесением пероксида водорода



Рис. 2. Гранулы активного ила, полученные с внесением пероксида водорода

Гранулы ила формировались и в затемненных, и в незатемненных колбах, причем в последних часть биоценоза ила составляли водоросли, однако гранулы с водорослями хуже очищали среду. В вариантах с большим содержанием водорослей образовывались гранулы зеленого цвета размером до 3 мм. При последующем циклическом режиме очистки модельного стока с ХПК_{исх.} 350-450 мг/л примерно в 25% случаев гранулы не распались в течение 5 месяцев, но становились более рыхлыми и постепенно теряли свои преимущества перед хлопьями активного ила по качеству очистки и устойчивости к внешним неблагоприятным факторам.

Стабильность гранул полученных с внесением H₂O₂ была выше, чем у гранул, полученных без внесения агента стресса. При внесении подобранных оптимальных доз пероксида водорода в очищаемую среду ил со временем адаптируется к внесению H₂O₂, механические свойства гранул улучшаются, их стабильность повышается, изменяется вид и размер гранул (рис. 1б, 2). Однако на результат влияют точность дозировки H₂O₂, вариации плотности флоккул, концентрация ила при пассивировании к пероксиду водорода, фаза развития активного ила. В линиях без пассивирования к пероксиду водорода в хлопьях активного ила преобладают бактериальные культуры, а в гранулах адаптированных в пяти и более пассажах к пероксиду водорода начинают преобладать актиномицеты и грибные культуры, что согласуется с теориями гранулообразования Мишима [11] и Бьюна [12] (рис. 3).

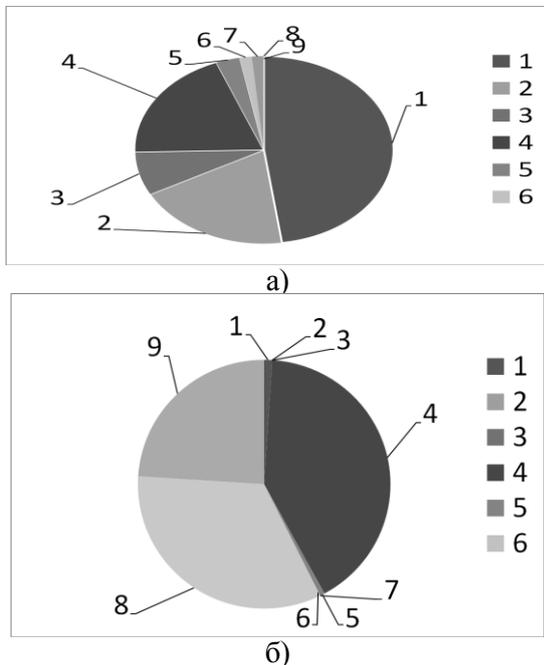


Рис. 3. Соотношение групп микроорганизмов в образцах активного ила, полученных в отъемно-доливном режиме:

а) – хлопья активного ила; б) – гранулы адаптированные к пероксиду водорода. 1, 2, 3 – палочковидные бактерии, 4 – нитчатые бактерии, 5, 6, 7 – кокки бактерии, 8 – грибы, 9 – актиномицеты

В сравнении с флокулами активного ила гранулы, адаптированные к пероксиду водорода, выдерживают в 4-5 раз большую концентрацию H₂O₂, а по сравнению с гранулами, полученными отъемно-доливным режимом при пиковой нагрузке и последующем голоде, они выдерживают в 2-3 раза большую концентрацию H₂O₂, что может являться показателем устойчивости к неблагоприятным факторам чреды. Голодание и окислительный стресс, как следует из литературных данных [10, 11], а также морфологического анализа колоний после высева компонентов полученных гранул на твердые питательные среды, способствуют выработке внеклеточных полимеров, что влияет на стабильность и консистенцию гранул. Показатели очистки с помощью гранулированного ила, адаптированного к H₂O₂, и его осаждаемость лучше, чем при использовании гранулированного ила без внесения H₂O₂ (кроме гранул в этом случае наблюдаются в небольшом количестве флокулы) и на порядок выше, чем у флокул или хлопьев. В случае адаптированных к H₂O₂ гранул через 3 суток ХПК_{вых.} аналитически не обнаруживалось, тогда как в вариантах обычных хлопьев ХПК_{вых.} составляло около 100 мг/л (рис. 4, 5).

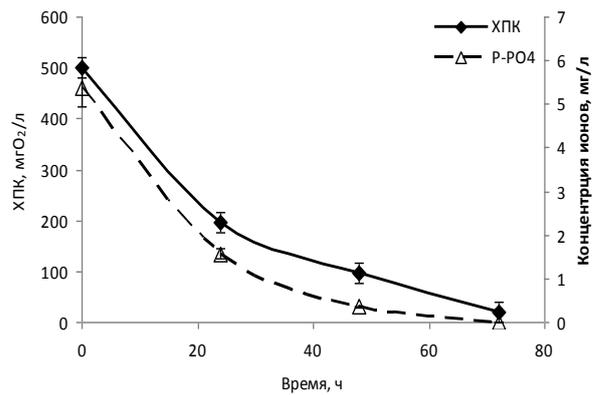


Рис. 4. ХПК и потребление фосфатов при очистке модельного бытового стока адаптированным к пероксиду водорода гранулированным активным илом

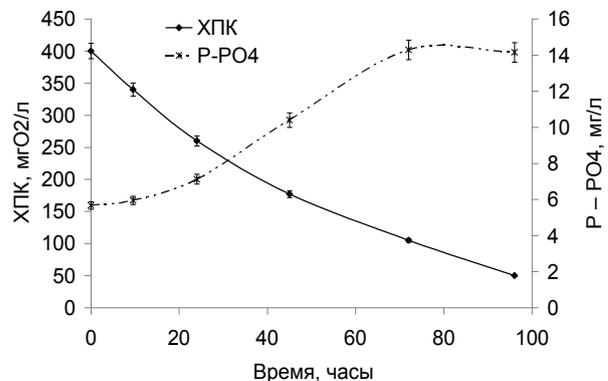


Рис. 5. Изменение концентрации фосфатов и ХПК при очистке модельного бытового стока хлопьями активного ила

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Aerobic Granulation, <http://www.iwwaterwiki.org/wiki/bin/view/Articles/aerobicgranulation>
2. Jiang, H.L. Aggregation of immobilized activated sludge cells into aerobically grown microbial granules for the aerobic biodegradation of phenol / H.-L. Jiang et al. // Letters in Applied Microbiology. 2002. N35. P. 439-445.
3. Lemaire, R. Microbial distribution of *Accumulibacter spp.* and *Competibacter spp.* in aerobic granules from a lab-scale biological nutrient removal system / R. Lemaire et al. // Environmental Microbiology. 2008. N10(2). P. 354-363.
4. Quarmby, J. A comparative study of the structure of thermophilic and mesophilic anaerobic granules / J. Quarmby, C.F. Forster // Enzyme and Microbial Technology. Elsevier Science. 1995. Vol. 17. P. 493-498.
5. Singh, R.P. A critique on operational strategies for start-up of UASB reactors: effects of sludge loading rate and seed/biomass concentration / R.P. Singh, S. Kumar, C.S.P. Ojha // Biochemical Engineering Journal. Elsevier Science. 1998. Vol. 1. P. 107-119.
6. Dangcong, P. Aerobic granular sludge – a case report / P. Dangcong, N. Bernet, J. Ph. Delgenes, R. Moletta // Water Research. Elsevier Science. 1999. Vol. 33(3). P. 890-893.
7. РД 52.24.421-2007. Химическое потребление кислорода в водах. Методика выполнений измерений титриметрическим методом.
8. Борисов, Н.П. Государственный контроль качества воды / Н.П. Борисов, Г.С. Фомин, Л.П. Котова и др. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. 688 с.
9. American Public Health Association (APHA). Standard methods for the examination of water and wastewater.- Washington, DC: APHA; 1998.
10. Непрусов, А.И. Практикум по микробиологии. Учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений / А.И. Непрусов, М.А. Егорова, Л.М. Захарчук. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. С. 571-583.
11. Mishima, K. Self-immobilization of aerobic activated sludge - A pilot study of the Aerobic Upflow Sludge Blanket Process in municipal sewage treatment / K. Mishima, M. Nakamura // Water Science and Technology. 1991. V. 23(4-6). P. 981-990.
12. Beun, J.J. Aerobic granulation in a sequencing batch reactor / J.J. Beun, A. Hendriks, M. Van Loosdrecht et al. // Water Research. 1999. V. 33(10). P. 2283-2290.
13. Сироткин, А.С. Технологические и экологические основы биосорбционных процессов очистки сточных вод. Диссертация на соискание ученой степени д.т.н. – Казань, 2003. 53 с.
14. Сафронов, В.В. Интенсивная малоотходная систем биодеструкции загрязнений высококонцентрированных стоков. Диссертация на соискание степени канд. техн. наук. – М: РХТУ им. Д.И.Менделеева, 2004. 27 с.

RESEARCH OF ACTIVE SLUDGE GRANULATION AT INFLUENCE OF STRESS AGENTS IN TAKE-OFF AND FILL-UP PROCESS OF AEROBIC BIOLOGICAL CLEANING

© 2012 N.S. Khokhlachev, S.V. Kalyonov, O.S. Zanina, A.E. Kuznetsov

Russian Chemical and Technological University named after D.I. Mendeleev, Moscow

The processes leading to formation and maintenance the stability of aerobic active sludge granules, grown up on a modeling household drain in take-off and fill-up mode were investigated, the contribution of influence of adverse factors of an environment in options of conducting processes at starvation and introduction of a stressor (H_2O_2) on formation and stability of granules community is estimated. Effectively working granules of aerobic active sludge, with high cleaning ability and stability of granules community to adverse factors are received.

Key words: *active sludge, aerobic granules, oxidizing stress*

Nikolay Khokhlachev, Post-graduate Student. E-mail: gagarin-88@yandex.ru

Sergey Kalyonov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Biotechnologies Department
Olga Zanina, Student

Alexander Kuznetsov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Biotechnologies Department