

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОЙ ВОДООЧИСТКИ И СВЯЗАННЫЕ С ЭТИМ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ

А.В. Зайцев, К.С. Макаревич, О.И. Каминский
Институт водных и экологических проблем ДВО РАН,
г. Хабаровск, Россия

Рассмотрены современные проблемы метода фотокаталитической очистки сточных вод от органических загрязнителей. Показано, что большинство научных исследований основываются на эффективных решениях в области химии или физики и почти полностью отсутствует комплексный подход к изучению эффективности фотокаталитической водоочистки с учетом экологической безопасности как самих фотокатализаторов, так и очищенных сточных вод.

Ключевые слова: водоочистка, фотокатализ, биоиндифферентные материалы, органические загрязнители, рациональное природопользование.

CURRENT PROBLEMS OF EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF PHOTOCATALYTIC WATER TREATMENT AND THE ASSOCIATED ENVIRONMENTAL RISKS

A.V. Zaitsev, K.S. Makarevich, O.I. Kaminsky
Institute of Water and Ecological Problems of FEB RAS,
Khabarovsk, Russia

Current problems of the method of photocatalytic wastewater treatment from organic pollutants are considered. It is shown that most scientific research is based on effective solutions in chemistry or physics and almost completely lacks a comprehensive approach to the study of photocatalytic water purification efficiency, taking into account the environmental safety of both photocatalysts and purified wastewater.

Keywords: water treatment, photocatalysis, bioindifferent materials, organic pollutants, environmental management.

В настоящее время в связи с нарастанием объемов промышленного производства остро встает проблема нарушения стабильности водных экосистем Земли. Регулярные неконтролируемые промышленные сбросы опасных органических соединений в совокупности с различными техногенными катастрофами не редко становятся причинами длительной непригодности воды и почв для сельскохозяйственной деятельности, учащению случаев онкозаболеваний и увеличению общих экологических рисков для среды обитания животных и человека [1]. Значительные усилия современных научных исследований направлены на поиски новых эффективных и недорогих методов, позволяющих обезвреживать токсичные соединения и снижать экологическую нагрузку на водные объекты. В

связи с этим, в последние десятилетия не ослабевает интерес к исследованию фотокаталитической очистки воды от токсичных органических загрязнителей под действием света видимого диапазона спектра (солнечного излучения) [2]. Сущность метода фотокаталитической очистки воды от органических загрязнителей сводится к способности фотокатализаторов эффективно преобразовывать энергию солнечного излучения в энергию химического взаимодействия. В результате фотокатализатор может генерировать в водной среде высокореакционные частицы (гидроксид радикал, атомарный кислород, супер-оксид анион), которые способны эффективно разрушать органические молекулы загрязнителей [3]. Важно отметить, что в современных исследованиях по вопросу эффективности фотокаталитической водоочистки существует ряд проблем, которые большинство исследователей стараются избегать и не освещают в своих работах. Можно выделить три основные проблемы:

Во-первых, авторы многих работ, исследующих фотокатализаторы видимого света, ограничиваются постановкой только модельного эксперимента (используется дистиллированная вода, модельный органический загрязнитель, стандартная комнатная температура и нейтральный pH очищаемого раствора) [4]. При этом не учитывается, что сточные воды характеризуются повышенным содержанием органических и минеральных загрязняющих веществ [5], присутствие которых способно повлиять на эффективность фотокатализа. Например, возможно протекание параллельных реакций, конкурирующих за «окислительный ресурс» фотокатализатора. Так же не рассматривается вопрос о том, как модифицировать катализатор увеличив его селективность относительно отдельных групп загрязнителей, или напротив повысить его универсальность, адаптировав для широкого спектра токсиканов.

Во-вторых, большинство исследователей не проводят тестирование разработанных новых фотокатализаторов на биоиндифферентность для водных экосистем. Известны работы по созданию фотокатализаторов, содержащих в своем составе ионы ртути [6], урана [7] и тория [8] при отсутствии каких-либо оценок их гидролитической стабильности и экологической безопасности для водных биологических объектов.

В-третьих, даже при изучении некоторыми авторами реальных органических загрязнителей (например, 4-нитрофенола) [9] оценивается только динамика уменьшения концентрации данного загрязнителя от времени фотокаталитической очистки. При этом не учитывается, что процесс окисления органических загрязнителей сложного состава до конечных безопасных продуктов (воды и углекислого газа) происходит многостадийно. Не редко на промежуточных стадиях частичного окисления исходных соединений, образуются продукты, суммарная токсичность которых может превышать токсичность исходного загрязнителя [10]. Таким образом можно констатировать, что современное развитие метода фотокаталитической водоочистки с использованием полупроводников, способных поглощать солнечный свет, носит в основном фундаментально-научный характер. При этом исследуемые фотокатализаторы могут быть токсичны сами по

себе, а условия проведения фотокатализа очень далеки от реально возникающих в различных системах водоочистки. Практически отсутствуют работы учитывающие: (1) влияние гидрохимических показателей сточных вод на эффективность их фотокаталитической очистки. (2) значимость оценки биоиндифферентности материала разработанного фотокатализатора, (3) значимость оценки токсичности промежуточных продуктов фотоокисления исходного загрязнителя. Решение описанных проблем, позволит расширить область применения эффективных и безопасных для водной среды фотокатализаторов, а также внесет вклад в комплексные исследования процессов фотокаталитической водоочистки с учетом гидрохимических показателей водных объектов.

Список литературы:

Hasan H.A., Muhammad M.H., Ismail N. A review of biological drinking water treatment technologies for contaminants removal from polluted water resources // *Journal of Water Process Engineering*. 2020. Vol. 33. P.101035.

Chong M.N., Jin B., Chow C.W.K., Saint C. Recent developments in photocatalytic water treatment technology: A review // *Water research*. 2010. Vol. 44. 2997e P. 3027.

Karthikeyan C., Arunachalam P., Ramachandran K., Al-Mayouf A.M., Karuppuchamy S. Recent advances in semiconductor metal oxides with enhanced methods for solar photocatalytic applications // *Journal of Alloys and Compounds*. 2020. Vol. 828. P.154281.

Andrew Millsa, Claire Hill, Peter K.J Robertson. Overview of the current ISO tests for photocatalytic materials // *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. 2012. Vol. 237. P. 7–23.

Shesterkina N.M., Shesterkin V.P., Talovskaya V.S., Ri T.D. Space and time variations of the concentrations of dissolved forms of microelements in amur river water // *Water Resources*. 2020. Vol. 47. Is. 4. P. 629–640.

Datang Li, Jiayin Li, Jianting Tang. Mercury oxide as an efficient photocatalyst for degradation of rhodamine B dye under visible-light irradiation // *Solid State Sciences* 2016. Vol. 61. P. 201–206.

Ya-Nan Ren, Wei Xu, Lin-Xia Zhou, Yue-Qing Zheng. Efficient tetracycline adsorption and photocatalytic degradation of rhodamine B by uranyl coordination polymer // *Journal of Solid State Chemistry*. 2017. Vol. 251. P. 105–112.

Vinod Kumar Gupta, Shilpi Agarw Deepak, Pathania N.C., Kothiyal Gaurav Sharma. Use of pectin–thorium (IV) tungstomolybdate nanocomposite for photocatalytic degradation of methylene blue // *Carbohydrate Polymers*. 2013. Vol. 96. Is.1. P. 277–283.

Liteng Ren, Xinli Yi, Lihang Tong, Wei Zhou Nitrogen-doped ultrathin graphene encapsulated Cu nanoparticles decorated on SrTiO₃ as an efficient water oxidation photocatalyst with activity comparable to BiVO₄ under visible-light irradiation // *Applied Catalysis B: Environmental*. 2020. Vol. 279. P. 119352.

Zaitsev A.V., Kirichenko E.A., Kaminsky O.I., Makarevich K.S. Investigation into the efficiency of photocatalytic oxidation of aqueous solutions of organic toxins in a unit with an automatically cleaning bismuth-silicate photocatalyst // *Journal of Water Process Engineering*. 2020. Vol. 37. P. 101468.