

приэлектродных пучков и газоразрядной плазмы [1], а также от давления внутри газоразрядного промежутка и его геометрии.

- 
1. Ковалевский, В.Л., Савинов, В.П. // Физика плазмы. –1994. – Т. 20, № 3. – С. 322-335.
  2. Гинзбург, В.Л. Распространение электромагнитных волн в плазме. – М.: ГИФМЛ, 1960. – 552 с.
  3. Левитский, С.М. Прерывистая генерация СВЧ колебаний при плазменно-пучковом взаимодействии / С.М. Левитский, В.З. Шаповал // Радиотехн. и электрон. – 1972. – № 7. – С.1146- 1451.

УДК 57.084, 54.084, 544.47

## **МЕТОДИКА ОЦЕНКИ БИО-ИНДИФФЕРЕНТНОСТИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ФОТОКАТАЛИЗАТОРОВ ВИДИМОГО СВЕТА**

**А.В. Зайцев, О.И. Каминский, Е.А. Кириченко, К.С. Макаревич, С.А. Пячин**  
*Институт материаловедения ХНЦ ДВО РАН (г. Хабаровск)*  
*alex-im@mail.ru*

## **METHODOLOGY FOR ASSESSING BIO-INDIFFERENCE OF PROSPECTIVE PHOTOCATALIZERS OF VISIBLE LIGHT**

**A.V. Zaitsev, O.I. Kaminsky, E.A. Kirichenko, K.S. Makarevich, S.A. Pyachin**  
*Institute of Materials Science, Kola Scientific Center FEB RAS (Khabarovsk)*  
*alex-im@mail.ru*

DOI: 10.2250/PFARE.2019.186-190

Органические соединения не редко являются основным токсичными компонентами сточных вод промышленных предприятий, поэтому проблема по их окислительной деструкции без привлечения дополнительных химических реагентов является актуальной и перспективной как с экологической, так и экономической стороны вопроса. Решением данной проблемы может быть поиск перспективных фотокатализаторов видимого света в двух параллельных направлениях:

1) поиск стабильных фотокатализаторов способных эффективно разрушать органические загрязнители под действием солнечного света;

2) оценка био-индифферентности как синтезированных перспективных фотокатализаторов видимого света, так и оценка био-индифферентности загрязнителя, разрушенного под действием фотокатализатора.

Одними из эффективных сенсбилизаторов фотокаталитических систем к солнечному свету являются добавки Cu, Ni [1], Cd [2], Zn [3] и другие тяжёлые металлы. Однако такие катализаторы сами могут являться источниками опасного загрязнения сточных вод вследствие постепенной деструкции фотокатализатора и перехода ионов биотоксичных металлов в воду. В этой связи, перспективны фотокатализаторы на основе висмута, тяжёлого металла, но безопасного для живых организмов. В настоящей работе в качестве фотокатализаторов, сенсбилизированных к видимому свету, использованы нанопорошки висмутатов щелочноземельных металлов, синтезированных по авторской методике [4].

Таким образом для эффективного решения описанных проблем необходимо детальное исследование, как основных стадий, так и индивидуальных особенностей фотокаталитического процесса с одной стороны и проверка отсутствия токсического воздействия фотокатализатора на биологические объекты с другой стороны. Подобные исследования должны содержать представительный массив данных т.е. возникает необходимость в проведении большого числа измерений с минимальной дискретностью, которое на практике возможно осуществить только в автоматическом режиме.

Наиболее распространенные из существующих методов оценки загрязнения водных объектов в большинстве случаев основаны на оценке роста колоний микроорганизмов от условий токсического воздействия [5]. Также известны методы выращивания высших растений на зараженных токсином субстратах с последующей оценкой наличия токсинов в различных вегетативных частях растения [6]. Однако процесс оценки числа и размеров колоний микроорганизмов или наличия токсичных соединений в тестируемом биообъекте требует значительных трудозатрат исследовательского персонала, что приводит к накоплению субъективных ошибок и наличию малопредставительного массива экспериментальных данных. В связи с этим актуальным направлением в области исследования биоиндифферентности может быть автоматизация процесса с использованием в качестве биологического объекта высшего водного растения с максимальной редуцированностью вегетативных органов в условиях «*In Situ*». В качестве такого биообъекта может выступать представитель высших цветковых растений рода Ароидные – ряска малая (*Lemna minor*), имеющая хороший отклик на наличие токсинов, быструю культивацию и значительную редуцированность вегетативных органов [7].

Целью данной работы является оценка биоиндифферентности фотокатализаторов, с использованием водного растения в автоматизированном режиме.

### Методика исследования

Экспериментальная установка по исследованию биоиндифферентности включает в себя фотофиксирующее устройство и 4 кюветные отделения для культивации ряски малой в контролируемых условиях. Блок схема и компоненты одного кюветного отделения показаны на рис 1 а.

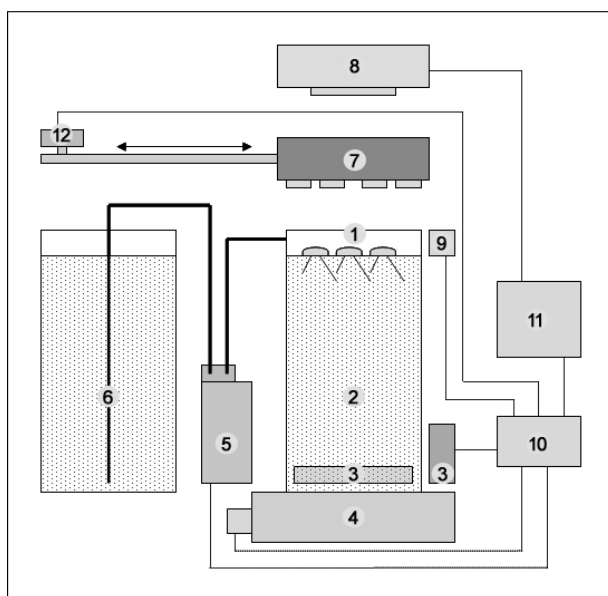


Рис. 1. А) Блок схема экспериментальной установки:

1 – Ряска малая; 2 – Инертный стакан с водным раствором фотокатализатора (модельного загрязнителя); 3 – Колебательная магнитная система перемешивания; 4 – Система поддержания оптимальной температуры водного раствора; 5 – Перистальтический насос для поддержания постоянного уровня водной среды; 6 – Емкость с исходным раствором; 7 – Система облучения (светодиоды фитоспектра); 8 – Фотофиксирующее устройство; 9 – Датчик температуры-влажности воздуха; 10 – Контроллер автоматизации; 11 – Персональный компьютер; 12 – Поворотный механизм системы светодиодов.

### Подготовительный этап

Культивация маточной культуры ряски малой производится в разработанной экспериментальной установке в стерильных условиях на питательной среде при температуре воды  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ . В описанных условиях удвоение биомассы ряски малой достигается за 3-4 суток.

### Этап градуировки

После внесения ряски малой в стакан производится градуировка установки на общую площадь водной поверхности каждого стакана и расчет исходной площади зеленой биомассы в них посредством ПО.

Для более точной оценки площади биомассы ряски малой в разработанном ПО реализовано два алгоритма обработки фотоизображения.

Первый алгоритм (A1) преобразует фотоизображение в черно-белый формат и производит расчет общего количества черных пикселей, которые соответствуют общей площади надводной части ряски малой. Второй алгоритм (A2) производит расчет только количества зеленых пикселей разной интенсивности в исходном фотоизображении.

Алгоритм A1 эффективно оценивает увеличение площади ряски малой, в то время как при деградации листовых пластинок в ответ на воздействие токсина, данный алгоритм имеет большую погрешность.

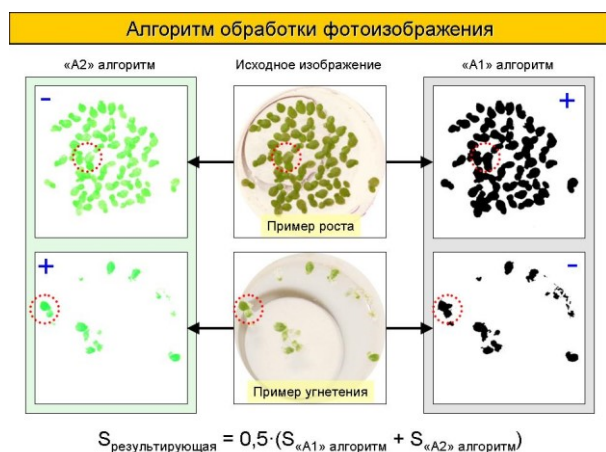


Рис. 2. Пример работы алгоритмов по оценке площади прироста/угнетения биомассы ряски малой.

Результатом работы алгоритма является завышение общей площади при работе алгоритма. Результирующая площадь после единичной фотофиксации является средним арифметическим между рассчитанными площадями биомассы ряски малой по алгоритмам A1 и A2 (рис. 2).

### Этап измерения

После завершения градуировки посредством интерфейса ПО выбирается температура водной среды ( $25^\circ\text{C}$ ), периодичность фотофиксации, периодичность перемешивания водной среды (через каждые 5 минут в течении 30 секунд), периодичность освещения (непрерывное), добавляются исследуемые фотокатализаторы или модельные загрязнители в необходимых количествах и запускается автоматизированное измерение. Измерение в экспериментальной установке проводится в течении 2-4 суток вне зависимости от подключения к персональному компьютеру.

Воспроизводимость по приросту площади биомассы ряски малой при одинаковых условиях во всех кюветных отделениях в отсутствие фотокатализаторов и токсинов показана на рис 3 А. Воспроизводимость по убыли площади биомассы ряски малой при одинаковых условиях во всех кюветных отделениях в присутствии нитрата кобальта при концентрации 10 мг/л показана на рис 3 Б.

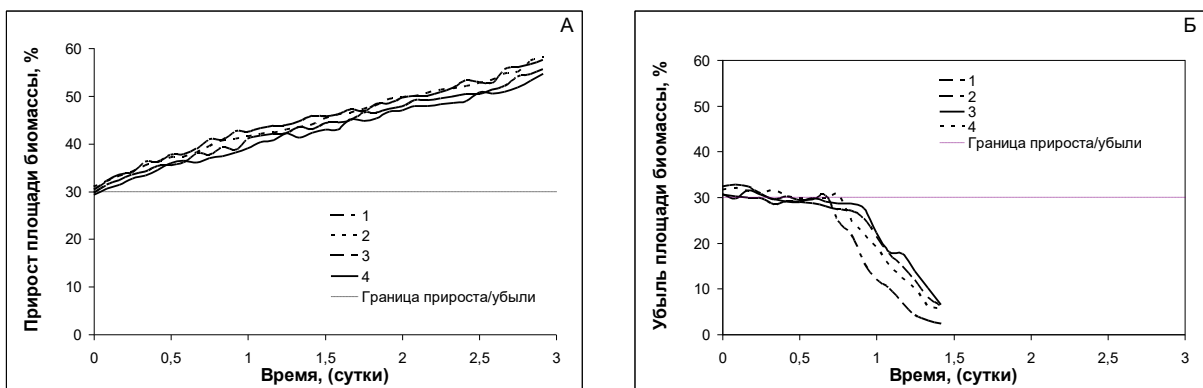


Рис. 3. А) – график прироста площади биомассы ряски малой в присутствии питательной среды; Б) – график убыли площади биомассы ряски малой в присутствии нитрата кобальта

### Результаты оценки био-индифферентности

Проведенные исследования фотокаталитической активности соединений висмута в видимом свете выявили перспективные составы основанные на висмутатах щелочноземельных металлов. Наиболее перспективны фотокатализаторы на основе твердого раствора висмутатов стронция с соотношением стронция к висмуту 1:2, 1:4, 1:8. Однако предварительные исследования по оценке рН, показали нестабильность в водной среде соединений с большим содержанием стронция. Висмутаты стронция с содержанием стронция менее 1:8 подвергаются гидролизу и способны к выделению катионов стронция и висмута в водную среду, что может впоследствии негативно отразится на экологической безопасности систем водоочистки основанных на данных фотокатализаторах. Проведенные исследования по влиянию висмутатов стронция при концентрации 400 мг/л состава Sr:Bi - 1:2, 1:4, и 1:8 на скорость прироста/убыли площади биомассы ряски малой в сравнение с холостым опытом представлены на рис 4.

Показано, что соединения с соотношением Sr:Bi 1:4, и 1:8 не оказывают значительного влияния на скорость прироста площади биомассы Ряски малой и удовлетворительно повторяют кинетическую кривую холостого опыта в течении первых 2 суток.

В свою очередь соединение с соотношением Sr:Bi 1:2 вызывает заметное замедление скорости прироста площади биомассы ряски малой в сравнении с холостым опытом, что может быть вызвано смещением рН баланса в сторону щелочной среды за счет катионов стронция.

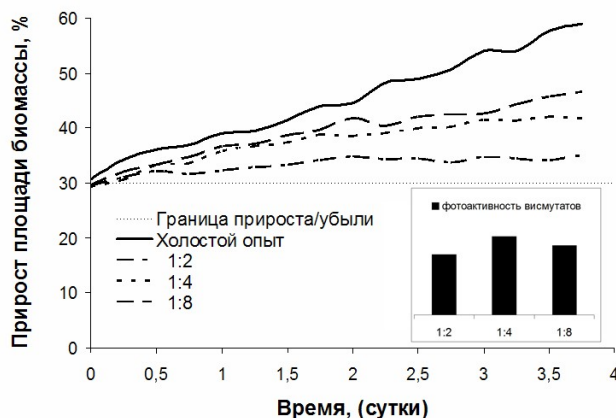


Рис. 4. График прироста площади биомассы ряски малой в присутствии висмутатов стронция при соотношении стронция к висмуту 1:2, 1:4, 1:8.

### Заключение

Предложена и опробована методика исследования экологической безопасности перспективных висмутовых фотокатализаторов в водной среде, на основе анализа прироста/убыли площади зеленой биомассы ряски малой, в процессе периодической фотофиксации.

Косвенно подтверждена гидролитическая неустойчивость висмутатов стронция с соотношением стронция к висмуту 1:2 и 1:4 по замедлению скорости роста биомассы ряски малой в их присут-

ствии. Время гидролитической устойчивости в водной среде при температуре 25°C составляет порядка 2 суток.

**Работа выполнена при поддержке гранта 26С/2019 от 28.06.2019.**

- 
1. Riaz, Nadia, Bustam, Mohamad Azmi, Chong, Fai Kait, Man, Zakaria B., Khan, Muhammad Saqib, Shariff, Azmi M. Photocatalytic Degradation of DIPA Using Bimetallic Cu-Ni/TiO<sub>2</sub> Photocatalyst under Visible Light Irradiation // Scientific World Journal. – 2014. – Vol. – 3. 342020. – 8 pages.
  2. He, Y.M., Wu, Y., Sheng, T.L., Wu, X.T. Photodegradation of acetone over V–Cd–O composite catalysts under visible-light // J. Hazard. Mater. – 2010. Vol. 180. – P. 675-682.
  3. Bak, Sol-A., Song, Myong-Shin, Nam, In-Tak, Lee, Woong-Geol. Photocatalytic Oxidation of Trichloroethylene in Water Using a Porous Ball of Nano-ZnO and Nanoclay Composite // Journal of Nanomaterials. – 2015. – Vol. 160212. – 8 pages.
  4. Makarevich, K.S., Zaitsev, A.V., Kaminsky, O.I., Kirichenko, E.A., Astapov, I.A. catalytic activity of a composition based on strontium bismuthate and bismuth carbonate at the exposure to the light of the visible range //International Journal of Chemical Engineering. – 2018. – Vol. 2018. – P. 4715629.
  5. Кондратьева, Л.М., Фишер Н.К., Бардюк, В.В. Биоидикация трансграничного загрязнения реки Амур ароматическими углеводородами после техногенной аварии в Китае // Сибирский экологический журнал. – 2012. – Т. 19, № 2. – С. 245-252.
  6. Nalewajko, C., Olaveson, M. M. Ecophysiological Considerations in Microalgal Toxicity Tests // Microscale Testing in Aquatic Toxicology: Advances, Techniques, and Practice / eds. P.G. Wells, K. Lee, C. Blaise. – CRC Press, Boca Raton, FL, 1998. – P. 289-307
  7. ГОСТ 32426-2013 Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Испытание ряски на угнетение. – М. Стандартинформ, 2014. – С. 24

УДК 621.311.25

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНЫХ МОДУЛЕЙ**

**И.С. Зиссер, А. Васильева, Д.С. Фалеев**

*Дальневосточный государственный университет путей сообщения (г. Хабаровск)*

*irinazisser@gmail.com*

## **DETERMINATION OF ELECTROPHYSICAL CHARACTERISTICS OF SOLAR MODULES**

**I.S. Zisser, A. Vasiliev, D.S. Faleev**

*Far Eastern State Transport University, Khabarovsk*

*irinazisser@gmail.com*

DOI: 10.2250/PFARE.2019.190-194

В настоящее время все более широкое применение находят альтернативные источники электрической энергии, например, такие как солнечные батареи. За два последних десятилетия мощность наземных солнечных батарей увеличилась от 1 кВт до сотен киловатт, а их КПД увеличился по средним показателям до 20%. Стоимость солнечных батарей быстро снижается, в результате чего электроэнергия, полученная с их помощью, становится более доступной и экономически выгодной, особенно в районах, удаленных от сетей централизованного электроснабжения.

Солнечная батарея собирается путем параллельного подключения солнечных модулей - фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии в электрическую. Каждый солнечный модуль со