



46-55 / 46, 54

ЗАГРЯЗНЕНИЕ И ОХРАНА ВОД СУШИ, МОРЕЙ И ОКЕАНОВ

УДК 502.51

АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ СПЕКТРОЭЛЛИПСОМЕТРИИ

Д. ф.-м.н. В.Ф. Кудявин¹, к.т.н. И.И. Потанов², к.ф.-м.н. В.Ю. Солдатов¹
¹ Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Москва
² Всероссийский институт научной и технической информации РАН, Москва

ALGORITHMS FOR THE SOLUTION OF SPECTROELLIPSOMETRY INVERSE TASK

V.F. Kudavin, I.I. Potanov, V.Yu. Soldatov

Спектроэллипсометр, спектральные образ, кластерный анализ, идентификация, жидкий раствор, алгоритм

Рассмотрена задача идентификации жидких растворов на основе данных измерений оптических характеристик с помощью многоканального спектроэллипсометра. Предложены и проанализированы четыре алгоритма решения этой задачи. Приведены сравнительные эмпирические оценки точности этих алгоритмов и указана зависимость показателя уровня достоверности идентификации от концентрации раствора. На примерах диагностики водных систем на территории Южного Вьетнама показана эффективность предложенных алгоритмов. Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 13-01-00023-а).

The task of liquid solutions identification is considered basing on the measurement data of optical characteristics delivered by the multi-channel spectroellipsometer. Four algorithms are proposed and analyzed for this task solution. Comparative empirical assessments are given for precision of these algorithms and dependence of index for identification reliability on the solution concentration is shown. Efficiency of proposed algorithms is shown by means of the examples of diagnostics of water systems located in South Vietnam. This study was supported by the Russian Fund for Basic Research (Grant No. 13-01-00023-a).

1. Введение

Эллипсометрия относится к оптическим технологиям, которые используют изменение поляризации светового потока при его отражении от поверхности или преломлении во время прохождения через жидкость. Методы спектроэллипсомеррии используются при неразрушающем исследовании химических и физических свойств твердых и жидких веществ [1-7]. Эти методы основаны на регистрации оптических поляризационных эффектов, возникающих при отражении или искажении световой волны при взаимодействии с исследуемым веществом. В фазике твердого тела спектроэллипсометрия обеспечивает возможность одновре-

менного измерения амплитудных и фазовых характеристик исследуемого образца и позволяет точно определять одновременно толщину пленок и оптические константы материала пленок. При диагностике жидкостей представляется возможность оценивать концентрации растворенных и взвешенных химических веществ, а также определять пятна загрязнителей водной поверхности.

Существует несколько основных направлений в современной эллипсомеррии. Это эллипсометрия с вращающимися поляризационными элементами, с фотоплутными скоростными модуляторами и с легким отраженным от образца пучка излучения на несколько каналов с различными состояниями поляризации и несколькими фотопримемниками. Ковалевым [3] разработана эллипсометрия с бинарной модуляцией состояния поляризации, основанная на элементной базе поляризационной оптики для измерений в широкой спектральной области и не содержащих движущихся поляризационных элементов. Этот подход обеспечивает получение спектрального образа испытываемого образца в определенном спектральном диапазоне, что позволяет с помощью математических методов оценить химические и физические характеристики этого образца. По существу необходимо решать многоканальную обратную задачу.

В ряде работ методы эллипсомеррии успешно использованы для изучения жидких растворов в медицине и при диагностике устойчивости водной среды [1,6,7]. В этих случаях важными оказались стабильность спектральных образов и обеспечение процесса калибровки измерений при использовании солнечного света. Решение возникающих здесь задач обеспечивается, как конструктивными, так и алгоритмическими средствами [7]. В данной работе предлагаются алгоритмы определения химических и физических характеристик на основе спектроэллипсометрических спектральных измерений.

2. Постановка задачи

Общий вид спектроэллипсометрической системы представлен на рис. 1. Эта система включает:

- поляризатор, преобразующий линейно поляризованный световой поток в эллиптическиую поляризацию;
 - анализатор, который оценивает параметры эллипса;
 - блок питания, который обеспечивает подачу напряжения согласно выбранному режиму эксплуатации спектроэллипсометра;
 - источник света с известными спектральными характеристиками;
 - стекловолоконный кабель;
 - широкополосные фильтры;
 - ноутбук, оснащенный необходимым программным обеспечением.
- Система измеряет в реальном масштабе времени спектры двух эллипсометрических углов Ψ и Δ ($0 \leq \Psi \leq 90^\circ$, $0 \leq \Delta < 360^\circ$; Tan Ψ , Cos Δ) [1,3]. На основе этих параметров путем решения обратной задачи спектроэллипсомеррии в рамках конкретной физико-математической модели исследуемого объекта (структуры) реализуется переход к геофизическим и геохимическим параметрам (содержание химического элемента, типы пятен на поверхности воды, температура, соленость, прозрачность и т.д.).

Положительные примеры практического применения МОКСС связаны с результатами гидрохимических исследований на территории Южного Вьетнама [2, 4, 7]. На рис. 4 приведены спектральные эталоны ряда водных объектов Южного Вьетнама. Эти эталоны служат ориентиром возможных изменений качества воды в конкретном водном бассейне. Фиксация отклонения от этого эталона за пределы установленного стандарта является стимулом для детального анализа воды. Для прибрежных лагун Южно-Китайского моря, используемых для выращивания, например, креветок важно контролировать солёность и своевременно обнаруживать нефтяное загрязнение. Из рис. 4 видно, что спектральные образы нефтяных и соляных пятен на поверхности воды резко отличаются.

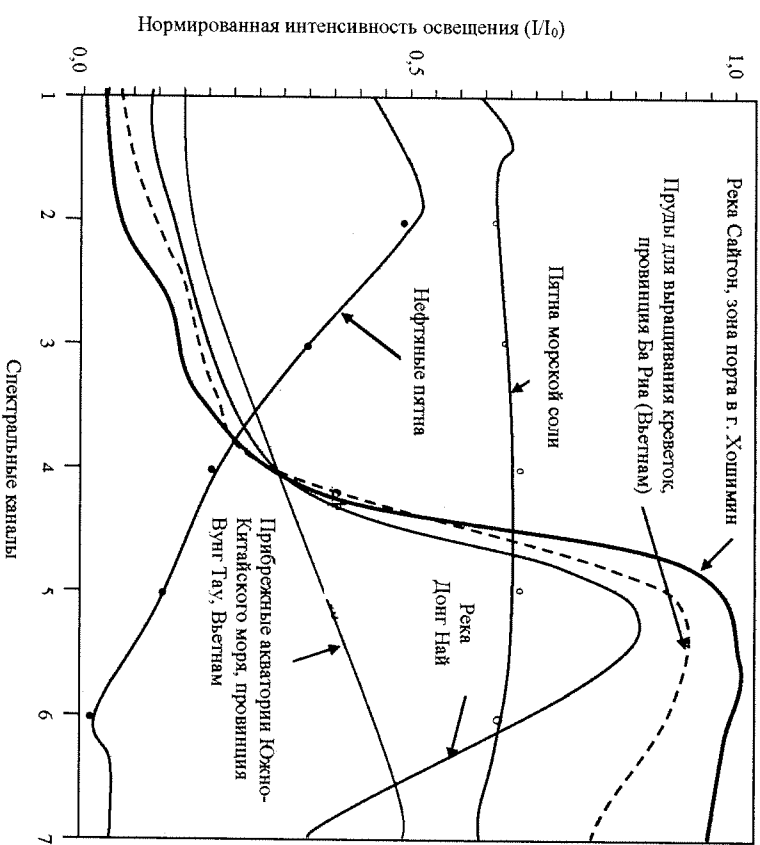


Рис. 4. Спектральные характеристики некоторых резервуаров Южного Вьетнама. Спектральные диапазоны, по которым осуществлялось усреднение результатов измерений: 1 (380-420 нм), 2 (420-440 нм), 3 (440-500 нм), 4 (500-540 нм), 5 (540-600 нм), 6 (600-660 нм), 7 (660-800 нм)

5. Заключение

Рассмотренная в данной работе обучаемая информационно-моделирующая спектральнолипометрическая система для автоматизации гидрохимических исследований может найти применение при диагностике качества сточных вод промышленных предприятий в режиме реального времени. Современные производ-

ственные возможности многих фирм, занимающихся производством лазерной техники, позволяют изготовить эту систему в виде автономного устройства с его установкой в сточный канал. Также система может быть выполнена в виде переносного устройства, с помощью которого оператор может в реальном времени осуществлять контроль качества водных ресурсов без взятия образцов и проведения химических анализов в лаборатории.

Очевидно, что при определенных обстоятельствах функции МОКСС легко могут быть ориентированы на решение задач диагностики пищевой воды и других жидкостей как при полете на Марс, так и во время пребывания на его поверхности. Безусловно, для этого необходимо провести соответствующие дополнительные исследования, чтобы учесть специфику воздействия невесомости на спектральные характеристики жидкости. Однако очевидно, что методика принятая решения при распознавании спектральных образов не зависит от внешних условий ее применения, если соответствующие технические средства функционируют.

Литература

1. Azzam R.M.A. and Bashara N.M. Ellipsometry and Polarized Light. North-Holland, Amsterdam, 1987, 529 pp.
2. Klimov V.V., Kovalev V.I., Karivin V.F., Mktshan F.A. An expert system to diagnose pollutant spills in the water surface. Proceedings of the 12-th Conference on Control Systems and Computer Science, Vicharest, May, 1999, pp. 277-283.
3. Kovalev V.I., Rykovishnikov A.I., Khomich A.V. Advanced capabilities of binary modulation polarization ellipsometry. - - International Conference "Micro- and Nanoelectronics -2003". Москва-Звенигород, 6-10 октября, с. 1-4.
4. Mktshan F.A. and Karivin V.F. Spectroellipsometry opportunities in the monitoring aquatic ecosystems. Proceedings of the 29-th International Symposium on Okhotsk and Sea Ice. 16-19 February 2014, Mombetsu, Hokkaido, Japan. The Okhotsk Sea and Cold Ocean Research Association, Mombetsu, Hokkaido, Japan, pp. 154-156.
5. Mktshan F.A., Karivin V.F., Kovalev V.I., Klimov V.V. Spectroellipsometric adaptive identifier for ecological monitoring of the aquatic environment. Proceedings of the 22-th International Symposium on Okhotsk Sea& Sea Ice. 18- 23 February 2007, Mombetsu, Hokkaido, Japan, pp.30 -32.
6. Mktshan F.A., Karivin V.F., Kovalev V.I., Klimov V.V. Spectroellipsometric technology for ecological monitoring of the aquatic environment. / Proceedings of the First Mediterranean Photonics Conference, 25-28 June 2008, Ischia, Napoli, Italy, pp. 333-335.
7. Nitu C., Karivin V.F., Soldatov V.Yu. Information-Modeling Technology for Environmental Investigations. MATRIX ROM, Vicharest, Romania, 2013, 621 pp.