

# ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА

## ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ВОДНОЙ СРЕДЫ

д-р физ.-мат. наук, проф. В.Ф. Крушин  
канд. физ.-мат. наук В.Ю. Соловьев

(Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН)

канд. техн. наук И.И. Потапов  
(Всероссийский институт научной и технической информации РАН)

Описана структура и функции экспертной системы для автоматизации гидрофизических исследований с целью получения оперативной информации о состоянии физико-химических характеристик водных объектов различного типа. Система оснащена алгоритмами реконструкции пространственных образов по эпизодическим измерениям характеристик водного объекта. В качестве входной информации используются данные многоканальных измерений в оптическом и микроволновом диапазонах электромагнитного спектра. Описаны алгоритмы обучения и распознавания спектральных образов водных объектов. Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант РФФИ № 13-01-00023а).

**Ключевые слова:** водный раствор, спектральный образ, обучение, распознавание, кластерный анализ, пятнистость, загрязнитель

## EXPERT SYSTEM FOR THE WATER ENVIRONMENT DIAGNOSIS

V.F. Krushin, V.Yu. Soloviev, I.I. Potapov

Structure and functions of the expert system are described to be used for the automation of hydrophysical investigations to have the operative information on the physical-chemical parameters of water objects of different type. The system is supplied with algorithms for the reconstruction of spatial images basing on the episodic measurements of the water body characteristics. Data of multi-channel measurements in optical and microwave range are used as input information. Algorithms for the system education and identification of spectral images of the water objects are described.

**Key words:** water solution, spectral image, education, recognition, cluster analysis, spottiness, pollutant

### Введение

Проблема диагностики состояния водной среды рассматривается во многих национальных и международных программах по охране окружающей среды. Знание качества водных ресурсов важно для многих сфер жизни населения планеты. Вездь запасы пресной воды на нашей планете представляют единственный ресурс, структура и содержание которого зависят от множества

природных и антропогенных факторов. Основные проблемы нарушения баланса качества водных экосистем связаны с несоответствующей очисткой сточных вод, утратой и разрушением водооборных площадей, нерациональным размещением промышленных предприятий, обезлесением и неоптимальными методами ведения сельского хозяйства. Преодоление возникших здесь проблем связано с необходимостью создания эффективных систем диагностики качества водных ресурсов и разумного их размещения в пространстве.

Совместное применение технических средств и software для оперативно-го мониторинга водной среды развито недостаточно из-за сложности синтеза комплексной системы мониторинга. Особенно сложны задачи сочетания алгоритмического обеспечения с уровнем информационного обеспечения системы мониторинга. Актуальная задача экологического мониторинга требует разработки компактных прецизионных поляризационно-оптических и микроволновых приборов экспресс-анализа жидких сред. При этом эффективность решения многопараметрических задач в большой мере определяют чувствительность и точность приборов, их универсальность, возможность использования широкого спектрального диапазона. Спектральные измерения в водной среде дают информативную базу для применения современных методов и алгоритмов распознавания и идентификации загрязнителей этой среды.

В институте радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук впервые созданы устройства, основанные на принципах многоканальной регистрации спектров ослабленного, отраженного или рассеянного света, а также системы диагностики окружающей среды в микроволновом диапазоне. Использование оперативных измерений спектрометрии и радиометрии совместно с методами обработки данных впервые реализовано в ряде диагностических систем, структура и функциональные возможности которых описаны в работах [1-5]. Здесь предлагается система экспертного уровня с набором операций по диагностике качества водной среды на основе входных данных, полученных с помощью указанных диагностических систем.

### Структура и функции экспертной системы

В структуру экспертной системы (ЭС) входят компактный многоканальный спектрорадиометр (КМС), многоканальное микроволновое устройство (ММУ), информационный интерфейс с компьютером (ИИФ), пакет компьютерных программ (ПКП) и распределенная база данных (РБД). ПКП реализует ряд алгоритмов обработки потоков данных от КМС и ММУ и обеспечивает сервисные функции визуализации и управления режимом измерений. РБД состоит из наборов эталонов спектральных образов водных растворов и пятен загрязнителя на поверхности водоема, изображенных точками в многомерном векторном пространстве признаков, преобразованных по дискретизированной ЭС преобразования на рис. 1.

Принцип функционирования ЭС основан на фиксации изменений светового потока или радиолокостных температур на выходах КМС и ММУ и преобразование их в цифровой код. Дальнейшая обработка этих данных по

## Заключение

Другие примеры применения описанной здесь экспертной системы в различных ее модификациях для диагностики водных систем относятся к различным речной системы Ангар-Енисей в период Российско-Американской экологической экспедиции в 1996 г., совместной программы Института радиотехники им. В.А. Котельникова РАН и Департамента энергетики США по изучению водного режима Средней Азии в 2000 г. и программы изучения динамических потоков влаги после обильных дождей на территории Болгарии в 2007 г. [1,5,6,7]. Эти исследования показали, что многоканальные измерения физико-химических характеристик водных объектов с обработкой получаемых данных с помощью проблемно ориентированных моделей обеспечивают надежную оценку их состояния с прогнозом динамического развития.

Обучение экспертной системы распознаванию спектральных образов водного объекта создает условия для получения на длительные время экономического эффекта за счет сокращения объема взятых образцов водных растворов и проведения лабораторных анализов. Техническая часть ЭС может размещаться непосредственно в зоне функционирования водного объекта в режиме реального времени. При диагностике пространственно распределенных водных систем измерительная часть экспертной системы может размещаться в различных координатах, что позволяет дополнительно идентифицировать источники несанкционированного загрязнения водной среды.

Показателен примером применения экспертной системы для диагностики пространственно неоднородного водного объекта является решение задачи планирования гидрофизического эксперимента в зоне функционирования дагуны Ньюк Нгот, расположенной на вьетнамском побережье Южно-Китайского моря [8-10]. Применение экспертной системы позволило сократить объем исходных измерений в 8 раз и показать, что при достоверной информации о привлекающих к дагуне источниках поступления загрязняющих веществ надежная оценка качества воды в дагуне возможна с приемлемой точностью при измерении физико-химических характеристик только в ее устье.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (ВЫЛОГКАРНУ)

1. *Kravtsov V.F. and Shynko E.M.* Information technologies for remote monitoring of the environment. Springer/Praxis, Chichester U.K., 2012, 498 pp.
2. *Merkulov F.A., Kravtsov V.F., Kozlov V.I., and Klimov V.V.* An Adaptive Spectroellipsometric Identifier for Ecological Monitoring of the Aquatic Environment. PERS Proceedings, July 5-8, Cambridge USA, 2010, pp. 365 – 368.
3. *Kravtsov V.F., Merkulov F.A., and Shynko E.M.* Microwave monitoring of soil moisture as global water cycle component. Proceedings of the International Symposium "Engineering Ecology – 2011", 6-8 December 2011, Moscow, The

Russian Sciences Engineering A.S. Povol Society for Radio, Electronics and Communication. – 2011. – P. 8-12.

4. *Soldatov V.Yu., Nin S., Kravtsov V.F.* Information-modeling technology for the operative diagnostics of the ocean-atmosphere system // The Scientific Bulletin of Electrical Engineering Faculty, Vafaha University of Tagoviste, Romania, 2011, No. 2, pp. 82-89.

5. *Narbutis R., Kravtsov V.F., Kravtsov V., Novitskiy E., Shynko A., and Sidorov I.* In: K. Markov and V. Velichko (eds) Intelligent data processing in global monitoring for environment and security. – ITNEA. – Sofia-Kiev. – 2011. – P. 189-217.

6. *Kravtsov V. F. and Phillips G. W.* A remote sensing-based expert system to study the Aral-Caspian aquagesystem water regime. Remote Sensing of Environment, 2001, **75**, 201-215.

7. *Kravtsov V.F., Shevtchenko V.A., Phillips G.W., August R.A., Raitkin A.Yu., Harper M.J. and Tsang F.Y.* (1998a) An application of modelling technology to the study of radionuclear pollutants and heavy metals dynamics in the Angara-Yenisey river system // Ecological Modelling, 1998, Vol. 111, No.1, pp. 121-134.

8. *Nguyen Xuan Man, Dao Van Tuyet, Klimov V.V., Kravtsov V.F., Merkulov F.A., Soldatov V.Yu.* Experience of hydrophysical experiments on the South Vietnam territory. Proceedings of the IX International Symposium on Ecoinformatics Problems, Moscow, 9-11 December 2010, pp.167-176.

9. *Nin S., Kravtsov V.F., and Raitkin E.* Ecoinformatics: Intelligent Systems in Ecology. - Magic Print, Oresti, Vicharest, Rumalia. – 2004. - 411 pp.

10. *Kravtsov V.F., Merkulov F.A., Van Doan Trung.* Microwave Radiometry Technology for the Nature-Society System Biocomplexity Assessment. The 26th Asian Conference on Remote Sensing (ACRS2005). Nanoi. 7-11 November 2005, Vietnam. pp 43-44.