

3. *Горовой С.В.* Некоторые результаты экспериментального оценивания трехмерных плотностей распределения выборочных значений давления гидроакустических шумов в Заливе Петра Великого Японского моря. Материалы докладов VIII всероссийского симпозиума «Физика геосфер». – Владивосток: Дальнаука, 2013 (в печати).
4. *Стратонович Р.Л.* Избранные вопросы теории флуктуаций в радиотехнике. – М.: Сов. радио, 1961. – 558 с.
5. *Малахов А.Н.* Кумулянтный анализ случайных негауссовых процессов и их преобразований. – М.: Сов. радио, 1978. – 375 с.
6. *Бендат Дж.* Основы теории случайных шумов и ее применения. – М.: Наука, 1965. – 463 с.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.И. Коренбаум.

Горовой Сергей Владимирович – Дальневосточный федеральный университет; e-mail: GorovoySV@mail.ru, 69000, г. Владивосток-ГСП, ул. Суханова, 8; тел.: +79147212186; кафедра приборостроения; доцент.

Gorovoy Sergey Vladimirovich – Far Eastern Federal University; e-mail: GorovoySV@mail.ru; 8, Sukhanova street, Vladivostok-GSP, 69000, Russia; phone: +79147212186; the department of instrumentation; associate professor.

УДК 504.03.06.001.57

В.И. Каевицер, В.Ф. Крапивин, Ф.А. Мкртчян, В.В. Климов

ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ ВОДНОЙ СРЕДЫ*

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 идентификации загрязнителей водной среды по измерениям их спектральных образов. В качестве входной информации используются данные многоканальных измерений в оптическом диапазоне электромагнитного спектра. Описан алгоритм обучения и распознавания спектральных образов водных объектов.

Спектр; идентификация; загрязнитель; водная среда; обучение.

V.I. Kaevitser, V.F. Krapivin, F.A. Mkrtchyan, V.V. Klimov

EXPERT SYSTEM FOR IDENTIFICATION AQUATIC POLLUTANTS

We describe the structure and function of an expert system to automate the hydro studies to provide information about the state of physical and chemical characteristics of the water bodies of different types. The system is equipped with algorithms for the identification of aquatic pollutants by measuring their spectral images. As input information data is used in an optical multichannel measurement range of the electromagnetic spectrum. The algorithm of learning and recognition of spectral images of water bodies.

Spectrum; identification; contaminant; aqueous medium; education.

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. Ведь запасы пресной воды на нашей планете представляют единый ресурс, структура и содержание которого зависят от множества природных и антропогенных

* Работа поддержана РФФИ (грант № 13-01-00023а).

факторов. Основные проблемы нарушения баланса качества водных экосистем связаны с несоответствующей очисткой сточных вод, утратой и разрушением водосборных площадей, нерациональным размещением промышленных предприятий, обезлесиванием и неоптимальными методами ведения сельского хозяйства. Преодоление возникающих 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 оперативного 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.

Задача обнаружения и идентификации загрязнителей водной среды, особенно пятен нетепродуктов на поверхности водоемов, решается многими исследователями [1–7]. Созданная за последнее время технология адаптивной идентификации элементов окружающей среды по данным спектральных измерений в видимом и микроволновом диапазонах позволяет перейти к синтезу экспертной системы (ЭС) для адаптивной идентификации параметров окружающей среды. Элементы ЭС описаны в различных их модификациях в работах [1–5]. В структуру ЭС входят компактный многоканальный спектроэллипсометр (КМС), многоканальное микроволновое устройство (ММУ), информационный интерфейс с компьютером (ИИК), пакет компьютерных программ (ПКП) и расширяющаяся база данных (РБД). Блок ПКП реализует ряд алгоритмов обработки потоков данных от КМС и ММУ и обеспечивает сервисные функции визуализации и управления режимом измерений. Блок РБД состоит из наборов эталонов спектральных образов водных растворов и пятен загрязнителей на поверхности водоема, изображаемых точками в многомерном векторном пространстве признаков, предварительно рассчитанных на основе обучающих выборок. Схематически структура функционирования ЭС представлена на рис. 1.

Для демонстрации функций ЭС здесь будет рассмотрен только оптический диапазон. Детальное описание функций ЭС при использовании сенсоров микроволнового диапазона дано в [3]. Принцип функционирования ЭС основан на фиксации изменений светового потока на выходе КМС или радиояркостных температур на входе ММУ и преобразовании их в цифровой код. Дальнейшая

обработка этих данных по своей эффективности определяется составом ПКП, куда включены различные алгоритмы распознавания спектральных образов или решения обратной задачи микроволновой радиометрии.

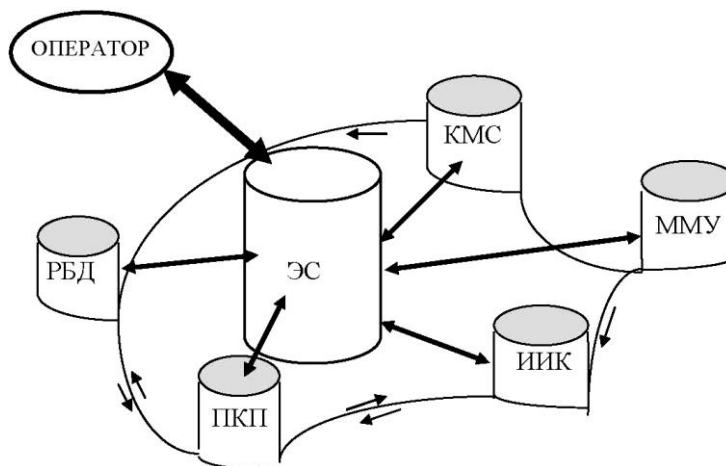


Рис. 1. Функциональная структура экспертной системы адаптивной идентификации параметров водной среды на основе спектральных измерений в оптическом диапазоне

Адаптивность процедуры распознавания определяется уровнем накопления знаний об особенностях флуктуации интенсивности и поляризационных качеств рассеянного в водной среде или отраженного света от водной поверхности. В состав ПКП входят средства, позволяющие в случае неопределенности ситуации с идентификацией типа загрязнителя принимать экспертное решение на основе визуального анализа его спектрального образа. Эта процедура реализуется в режиме диалога с ЭС и, если решение принято, то оператор может фиксировать его в базе данных в форме эталона для последующих ситуаций возникновения аналогичных загрязнителей.

Принципиальная схема блока ПКП, обеспечивающего процедуру идентификации, представляет собой некоторое преобразование Φ (рис. 2, табл. 1). Интенсивность света ξ_j^i , регистрируемая в момент времени t_i в канале λ_j , поступает в алгоритм Φ , где реализуется процедура различения двух гипотез H_0 и H_1 (рис. 2). Оператор ЭС определяет начальные данные v_i , α и β , а также решает, какие параметры $\mathbf{u}_i = (u_1, \dots, u_r)$ будут рассчитаны на основе измерений $\{\xi_i^j\}$. Сервисный блок ИИК дает возможность сформировать вектор \mathbf{u}_i из статистических характеристик рядов $\{\xi_i^j\}$ или использовать непосредственные измерения. Априорная информация характеризует тип распределения $f_a(\mathbf{u}_i)$. Функция

$$L_i = \sum_{j=1}^m f_{a1}(u_i^j) / f_{a0}(u_i^j)$$

сравнивается с ее предельными значениями $L_{i,min}$ и $L_{i,max}$. На первом этапе эти величины выбираются достаточно произвольно, но затем они изменяются до достижения максимальной точности распознавания гипотез H_0 и H_1 . Мы имеем $L_{i,min} \rightarrow L_{i,min}^*$ и $L_{i,max} \rightarrow L_{i,max}^*$. Величины $L_{i,min}^*$ и $L_{i,max}^*$ запоминаются в РБД.

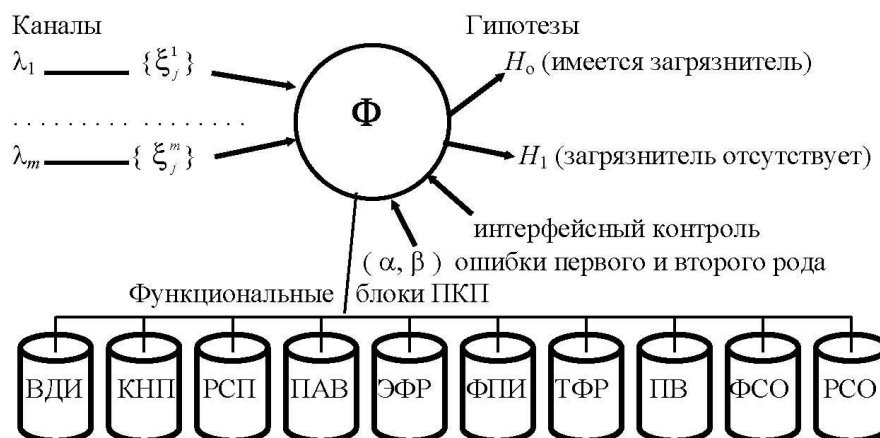


Рис. 2. Концептуальная блок-схема процедуры идентификации типов загрязнителей водной среды и их пятен на водной поверхности (обозначения расшифрованы в табл. 1)

Наряду с формированием статистических рядов по каналам измерений в базе данных создаются кластеры эталонных спектральных образов водных растворов с идентификацией их по типам химических веществ и их концентрациям. Для информативного индикатора каждого спектра был использован метод кодировки, принятый при распознавании сигналов в радиотехнике. Для каждого спектра создавался векторный индикатор-образ $\Xi(A_1, \dots, A_n, Y)$ [3], где A_i – одна из характеристик спектра (например, количество максимумов или максимальная производная), Y – физическая характеристика водного раствора (например, концентрация загрязнителя). Образец регистрируемых значений спектра имеет вид, представленный рис. 3.

Таблица 1

Описание блоков ЭС, указанных на схеме рис. 2

Блок	Характеристика блока
ВДИ	Визуализация данных измерений
КНП	Критерий Неймана–Пирсона
РСП	Расчет статистических параметров и других характеристик, формирование векторного пространства $\{u_i\}$
ПАВ	Последовательный анализ Вальда при принятии решения
ФСО	Формирование спектральных образов
РСО	Распознавание спектральных образов
ЭФР	Эмпирические функции распределения.
ФПИ	Функций пользовательского интерфейса
ТФР	Теоретические функции распределения
ПВ	Процедуры визуализации

Идентификация спектрального образа испытуемого раствора осуществляется путем сопоставления его индикатора-образа Ξ с набором эталонных векторов в базе данных. Эта процедура реализуется блоком РСО. В зависимости от используемого измерительного прибора спектральный образ представлен одним вектором для микроволновых датчиков и двумя векторами для спектроэллипсометра (спектрополяриметра). В последнем случае при измерениях для каждого раствора определяются два вектора: один Ξ_A для интенсивности света на фотодетекторе $\{\cos\Delta(\lambda_i)\}$, другой Ξ_ψ для тангенса относительного сдвига фаз двух ортогональ-

ных поляризованных компонент $\{\text{Tan}\Psi_i\}$ [1, 2]. Идентификация образца осуществляется путем поиска в базе эталонов образцов, имеющих минимальное удаление от полученных спектров. Расстояние между векторами рассчитывается по среднему значению:

$$\delta = \min_n \rho(\Xi - \Xi_n) = \frac{1}{2n} \min_i \left[\sum_{j=1}^n |X_j - A_j^i| + \sqrt{\sum_{j=1}^n (X_j - A_j^i)^2} \right].$$

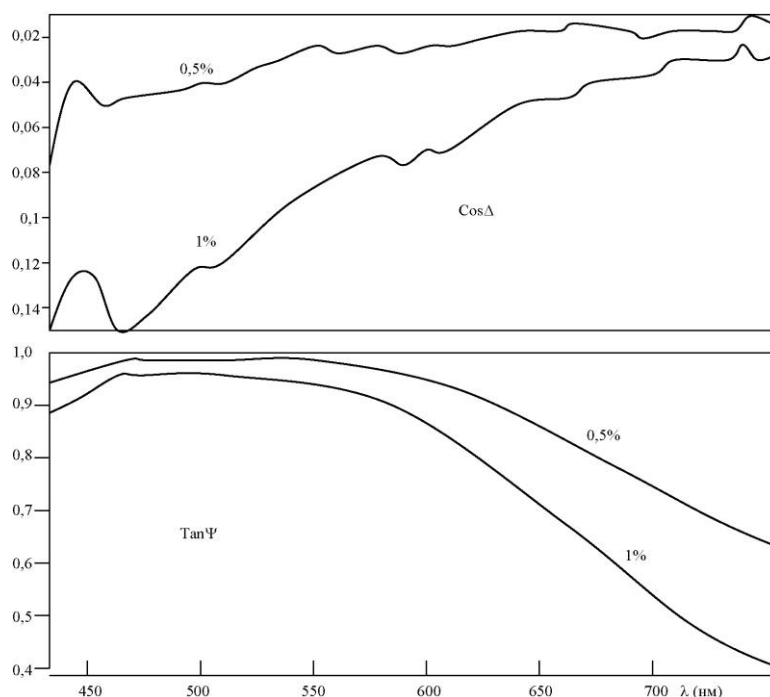


Рис. 3. Спектральные образы водного раствора $\text{Na}+\text{Cu}+\text{Zn}+\text{Mn}$ + глюкозы

Применение этой формулы дает большую точность по сравнению с использованием только отклонения по абсолютной разнице компонент векторов или только по среднеквадратическому отклонению.

После обучения функционирование ЭС ограничивается только количеством измерений, фиксируемым оператором исходя из соображений достижимости статистической достоверности и сохранения режима реального времени. Оператор имеет две возможности регулировать этот режим, устанавливая объем рядов $\{\xi_i^j\}$ или фиксируя время их накопления. Рис. 4 показывает эту процедуру. Оператор связывается с различными блоками ЭС через человеко-машинный интерфейс ИИК, который обеспечивает селективность управления операциями всех блоков.

При наличии на поверхности воды пленки нефти система анализирует ее толщину, возраст, источник и геометрическую конфигурацию. Наиболее информативными в этом случае являются ряды данных измерений на длинах волн 398, 439 и 480 нм. В случае растворенных или взвешенных в водной среде компонентов система оценивает их концентрацию, а при наличии данных в блоке РБД о гидродинамических параметрах водного тела рассчитывает их пространственное распределение.



Рис. 4. Процедура последовательного анализа для различения гипотез H_0 и H_1

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Крапивин В.Ф., Мкртчян Ф.А., Климов В.В., Ковалев В.И., Руковишников А.И., Солдатов В.Ю. Измерения и идентификация водных растворов на основе спектроэллипсометра // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. – 2012. – № 10. – С. 116-136.
2. Крапивин В.Ф., Солдатов В.Ю., Потапов И.И. Адаптивная информационно-моделирующая система для гидрофизических исследований // Экологические системы и приборы. – 2013. – № 2. – С. 29-39.
3. Krapivin V.F. and Shutko A.M. Information technologies for remote monitoring of the environment. Chichester U.K.: Springer/Praxis, 2012. – 498 p.
4. Krapivin V.F. and Mkrтчyan F.A. Spatial simulation model of dynamics of the Arctic Basin pollution // Proceedings of the 27th International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice. 19-24 February, 2012. Mombetsu, Hokkaido, Japan. Mombetsu: The Okhotsk Sea & Cold Ocean Association, 2012. – P. 65-68.
5. Mkrтчyan F.A., Krapivin V.F., Kovalev V.I., and Klimov V.V. An Adaptive multi-cannel spectroellipsometer for ecological monitoring // ISPRS Hannover Workshop 2011. High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information. June 14-17, 2011, Hannover, Germany. – P. 143-147.
6. Shahin M. Water Resources and Hydrometeorology of the Arab Region // Berlin: Springer. – 2007. – 586 p.
7. Sharad K.J. Pushpendra K.A., and Vijay P.S. Hydrology and Water Resources of India // Berlin: Springer. – 2007. – 1262 p.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Ю.Ю. Громов.

Каевицер Владлен Иосифович – Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН (Фрязинский филиал); e-mail: kvi@ms.ire.rssi.ru; 141190, Московская обл., Фрязино, пл. Введенского, 1; тел.: 84965652451; зам. директора Фрязинского филиала; д.т.н.

Крапивин Владимир Федорович – e-mail: vkrapivin_36@mail.ru; зав. отделом информатики; д.ф.-м.н.; профессор.

Мкртчян Ферденант Анушаванович – e-mail: ferd@ms.ire.rssi.ru; в.н.с.; д.ф.-м.н.; профессор.

Климов Владимир Валерианович – e-mail: klimov47@list.ru; к.ф.-м.н.; доцент; с.н.с.

Kaevitser Vladlen Iosifovich – V.A. Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics (Fryazino Branch), Russian Academy of Sciences; e-mail: kvi@ms.ire.rssi.ru; 1, Vvedensky sq., Moscow reg., Fрязино, 141190, Russia; phone: +74965652451; deputy director; dr. of eng. sc.

Krapivin Vladimir Feodorovich – e-mail: vkrapivin_36@mail.ru; head of informatics department; dr. of phis.-math. sc.; professor.

Mkrtchyan Feredenant Anushavanovich – e-mail: ferd@ms.ire.rssi.ru; leading scientist; dr. of phis.-math. sc.; professor.

Klimov Vladimir Valerianovich – e-mail: klimov47@list.ru; cand. of phis.-math. sc.; associate professor; senior scientist.

УДК 551.463.621.391

В.И. Каевицер, В.М. Разманов, И.В. Смольянинов, А.В. Элбакидзе

**АКУСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОРСКОГО ДНА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИГНАЛОВ С ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТОТНОЙ
МОДУЛЯЦИЕЙ (ЛЧМ)**

На примере локации морского дна в районе Таманского полуострова показаны возможности применения гидролокационных акустических систем с линейно-частотно-модулированным сигналом для обнаружения подводных грязевых вулканов. Использование линейно-частотно-модулированных сигналов позволяет не только обнаруживать и определять координаты, но и изучать структуру и строение подводных грязевых вулканов. Применение параметрического профилографа, обладающего необычайной широкополосностью и, за счет этого, – возможностью использования сигналов с линейной частотной модуляцией должно повысить разрешение и классификацию донных отложений.

Акустический профилограф; параметрический профилограф; ЛЧМ-сигнал.

V.I. Kaevitser, V.M. Razmanov, I.V. Smolyaninov, A.V. Elbakidze

ACOUSTIC STUDIES OF THE SEA-BOTTOM USING CHIRP SIGNALS

On the example of the location of the seabed in the area of the Taman Peninsula shows the possibilities of application of acoustic sonar systems with linear frequency-modulated signal for the detection of submarine mud volcanoes. Using a linear frequency-modulated signals can not only detect and determine the coordinates of lyat, but also to study the structure and the structure of underwater mud volcanoes. The use of parametric profiler possessing extraordinary broadband and, through this, –the ability to use signals with linear frequency modulation should increase the resolution and classification of bottom sediments.

Acoustic profiler; parametric profiler; chirp signal.

Дистанционные методы изучения морского дна с помощью гидролокационных систем различного типа стали обязательной частью морских изысканий. При этом развиваются как сами приборы, так и методики извлечения из экспериментальных данных гидрофизической и геолого-морфологической информации. В последние годы активно развиваются гидролокационные комплексы, использующие зондирующие сигналы с линейной частотной модуляцией и когерентной обработкой эхо-сигналов. При этом полезная информация содержится как в амплитудных и частотных, так и фазовых характеристиках эхо-сигналов [1, 2].

Летом 2011 г. в районе Таманского полуострова ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН проводил испытания гидролокационного комплекса в составе эхолота-профилографа и интерферометрического гидролокатора бокового обзора (ГБО) с