

DOI: 10.36535/0869-1010-2020-05-5

## ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА АДАПТИВНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ВОДНОЙ СРЕДЫ В ОПТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНЕ

*Д-р физ.-мат. наук, проф. Ф.А. Мкртчян, канд. физ.-мат. наук В.В. Климов,  
канд. физ.-мат. наук В.Ю. Солдатов*

Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Москва

В данной работе представлен новый подход к диагностике качества водных ресурсов с применением спектрального оптического инструментария в виде спектрофотометра и спектроэллипсометра. Предложен алгоритм решения обратной задачи спектрофотометрии. На примерах продемонстрирована эффективность и оперативность предложенного подхода. Работа частично выполнена в рамках госзадания „КОСМОС“ и частично была поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (Грант РФФИ №19-07-00443).

**Ключевые слова:** качество воды, диагностика, спектральный анализ, спектрофотометрия

## EXPERT SYSTEM FOR ADAPTIVE IDENTIFICATION OF THE WATER ENVIRONMENT PARAMETERS IN THE OPTICAL BAND

*F.A. Mkrtchyan, V.V. Klimov, V.Yu. Soldatov*

This paper describes new approach to the diagnostics of water resources quality using the optical spectral tools in the structure of spectrophotometer and spectroellipsometer. Algorithm for the optical inverse task solution is proposed. Efficiency of proposed approach is demonstrated under the solution specific tasks.

**Key words:** water quality, diagnostics, spectral analysis, spectrophotometry

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 факторов. Основные проблемы нарушения баланса качества водных экосистем связаны с несоответствующей очисткой сточных вод, утратой и разрушением водосборных площадей, нерациональным размещением промышленных предприятий, обезлесением и не оптимальными 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 ГИМС 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 [1-9]. Здесь предлагается система экспертного уровня с набором операций по диагностике качества водной среды на основе входных данных, полученных с помощью указанных диагностических систем.

В структуру экспертной системы (ЭС) входят компактный многоканальный спектрэллипсометр (КМС), многоканальное микроволновое устройство (ММУ), информационный интерфейс с компьютером (ИИК), пакет компьютерных программ (ПКП) и расширяющаяся 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 загрязнителей на поверхности водоема, изображаемых точками в многомерном векторном пространстве признаков, предварительно рассчитанных на основе обучающих выборок. Схематически функционирование ЭС представлено на рис. 1.

Принцип функционирования ЭС основан на фиксации изменений светового потока или радиоярких температур на выходах КМС и ММУ и преобразование их в цифровой код. Дальнейшая обработка этих данных по своей эффективности определяется составом ПКП, куда включены различные алгоритмы распознавания спектральных образов. Адаптивность процедуры распознавания определяется уровнем накопления знаний об особенностях флуктуации интенсивности и поляризационных ка-

чество отраженного света или радиотеплового излучения от водной поверхности. В состав ПКП входят средства, позволяющие в случае неопределенности ситуации с идентификацией спектрального образа принимать экспертное решение на основе его визуального анализа. 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 образов.

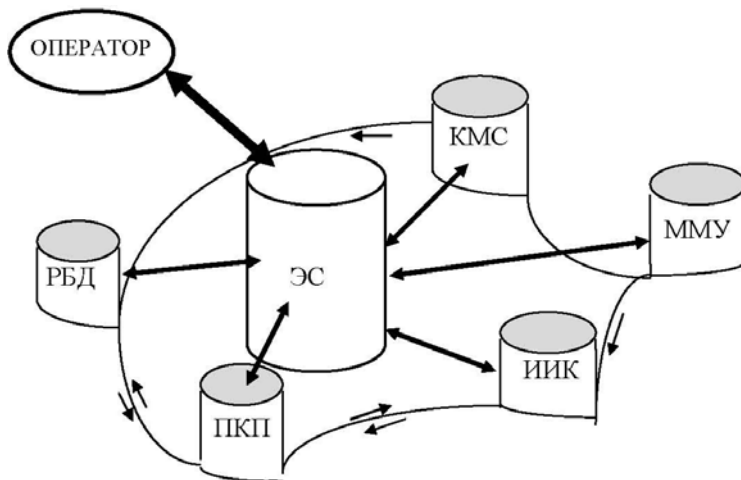


Рис. 1. Функциональная структура экспертной системы адаптивной идентификации параметров водной среды на основе спектральных измерений в оптическом и микроволновом диапазонах электромагнитного спектра

Принципиальная схема блока ПКП, обеспечивающего процедуру идентификации, представляет собой некоторое преобразование  $\Phi$  (рис. 2). Интенсивность принятого сигнала  $\xi_j^i$ , регистрируемого в момент времени  $t_i$  в канале  $\lambda_j$ , поступает в алгоритм  $\Phi$ , где в первую очередь реализуется процедура различения двух гипотез  $H_0$  и  $H_1$ . Гипотезы  $H_0$  и  $H_1$  соответствуют ситуациям присутствия или отсутствия в водной среде загрязнителя соответственно. Оператор ЭС определяет начальные данные в виде ошибок первого и второго рода,  $\alpha$  и  $\beta$ , а также решает какие параметры  $\mathbf{u}_i = (u_1, \dots, u_n)$  будут рассчитаны на основе измерений  $\{\xi_j^i\}$ .

Сервисный блок ИИК дает возможность сформировать вектор  $\mathbf{u}_i$  из статистических характеристик рядов  $\{\xi_j^i\}$  или использовать непосредственно сами измерения. Далее оператор выбирает процедуру выбора между гипотезами – классическую или последовательную. При классической процедуре дополнительно задается число  $r$ , определяющее объем статистической выборки.

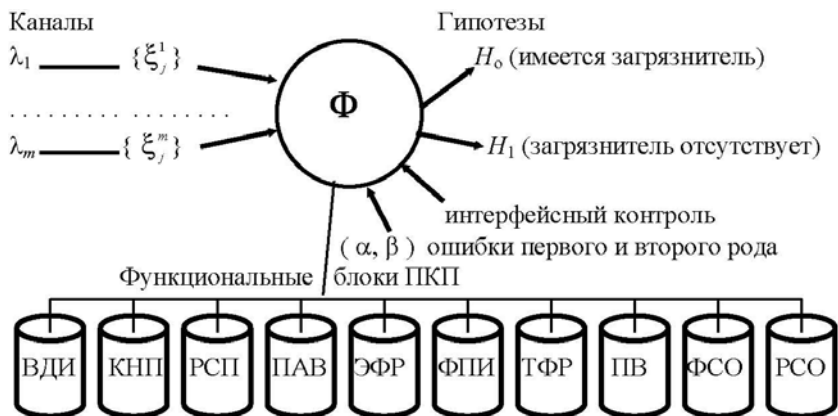


Рис. 2. Концептуальная блок-схема процедуры идентификации типов загрязнителей водной среды и их пятен на водной поверхности. Обозначения расшифрованы в табл. 1.

Таблица 1

**Описание блоков ЭС, указанных на схеме рис. 2.**

Блок	Характеристика блока
ВДИ	Визуализация данных измерений (спектры, корреляции, статистические параметры, эмпирические и теоретические функции распределения)
КНП	Вычисление параметров для классической процедуры принятия решений по критерию Неймана-Пирсона
РСР	Расчет статистических параметров и других характеристик, формирование векторного пространства $\{u_i\}$
ПАВ	Оценка параметров для применения процедуры последовательного анализа Вальда при принятии решения
ФСО	Формирование спектральных образов
РСР	Распознавание спектральных образов
ЭФР	Восстановление эмпирических функций распределения
ФПИ	Реализация функций пользовательского интерфейса, оснащенного средствами вмешательства в режим работы экспертной системы на любом этапе ее функционирования.
ТФР	Реализация статистического критерия оценки теоретической функции распределения
ПВ	Процедуры визуализации

Далее определяются два параметра  $a_0$  и  $a_1$ , которые являются индикаторами разделения двух состояний водной среды – отсутствие или присутствие загрязнителей. В частности таким параметром может быть прозрачность воды при использовании оптических сенсоров или яркостная температура в случае дистанционного зондирования в радиодиапазоне. Априорная информация характеризует тип распределения  $f_a(\mathbf{u}_i)$ . Функция  $L_i = \sum_{j=1}^i \psi_j$ ,

где  $\psi_j = \ln f_{a1}(u_i^j) f_{a0}(u_i^j)$ , сравнивается с ее предельными значениями  $L_{i,min}$  и  $L_{i,max}$ . На первом этапе эти величины выбираются достаточно произвольно при соблюдении условий  $L_{i,min} \leq \ln[\beta/(1-\alpha)]$ ,  $L_{i,max} \geq \ln[(1-\beta)/\alpha]$ , 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.

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 создается векторный индикатор-образ по схеме, представленной в табл. 2.

Образец компьютерного варианта регистрируемых значений спектра имеет вид, представленный в табл. 3. Спектральный образ, сформированный по схеме табл. 2 на основе спектроэллипсометрических измерений, представлен в табл. 4.

Идентификация спектрального образа испытуемого раствора осуществляется путем сопоставления его вектора  $\Xi(A_1, \dots, A_n, Y)$  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. В последнем случае при измерениях для каждого раствора определялись два вектора: один  $\Xi_\Delta$  для интенсивности света на фотодетекторе  $\{\cos \Delta(\lambda_i)\}$ , другой  $\Xi_\Psi$  для тангенса относительного сдвига фаз двух ортогональных поляризованных компонент  $\{\tan \Psi_j\}$ .

Таблица 2

### Пример структуры эталона спектрального образа раствора

Обозначения:  $A_1$  – площадь под спектральной кривой;  $A_2$  – максимальное значение спектральной кривой;  $A_3$  – минимальное значение спектральной кривой;  $A_4$  – расстояние в нанометрах между максимальным и минимальным значениями спектральной кривой;  $A_5$  – максимальная производная спектральной кривой;  $A_6$  – максимальная вторая производная спектральной кривой;  $A_7$  – число максимумов на спектральной кривой;  $A_8$  – значение спектральной кривой при  $\lambda=400$  нм;  $A_9$  – значение спектральной кривой при  $\lambda=800$  нм;  $Y$  – содержание химического элемента в водном растворе.

Номер эталона в базе данных	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$	$A_8$	$A_9$	$Y$
1	$A_{11}$	$A_{21}$	$A_{31}$	$A_{41}$	$A_{51}$	$A_{61}$	$A_{71}$	$A_{81}$	$A_{91}$	$Y_1$
.....										
$n$	$A_{1n}$	$A_{2n}$	$A_{3n}$	$A_{4n}$	$A_{5n}$	$A_{6n}$	$A_{7n}$	$A_{8n}$	$A_{9n}$	$Y_n$

## Пример спектрального эталона из базы данных ЭС

Обозначения:  $\Psi$  и  $\Delta$  - эллипсометрические углы [8]

Химический элемент			Сульфат, $\text{CuSO}_4$		
Концентрация химического элемента, %			10		
Длина волны, нм	$\text{Cos}\Delta$	$\text{Tan}\Psi$	Длина волны, нм	$\text{Cos}\Delta$	$\text{Tan}\Psi$
419,9	0,12868	0,78325	608,4	0,10102	0,34281
431,1	0,13372	0,82469	618,1	0,09216	0,26318
442,2	0,09193	0,86601	627,7	0,09898	0,1916
453,2	0,12097	0,88063	637,2	0,09464	0,13222
464,2	0,12963	0,88589	646,6	0,08989	0,08648
475,0	0,13339	0,88706	656,0	0,10013	0,05369
485,8	0,13707	0,8853	665,2	0,09003	0,03
496,5	0,13698	0,87899	674,4	0,11971	0,01871
507,1	0,13936	0,86759	683,5	0,11268	0,01097
517,6	0,13176	0,85249	692,5	0,17604	0,00688
528,0	0,13611	0,83037	701,4	0,08981	0,00479
538,3	0,13048	0,8006	710,3	0,14121	0,004
548,6	0,12313	0,76204	719,0	0,16567	0,00381
558,8	0,11616	0,71351	727,7	0,2139	0,00402
568,9	0,11295	0,65426	736,3	0,27278	0,00443
578,9	0,1	0,58567	744,8	0,27707	0,0051
588,8	0,10753	0,50848	753,2	0,26209	0,00591
598,7	0,09581	0,42641			

Таблица 4

## Пример спектрального образа в базе данных ЭС

Раствор	Вектора-идентификаторы раствора, рассчитанные для $\text{Cos}\Delta$ и $\text{Tan}\Psi$								
$\text{CuSO}_4$	21,6	0,17	0,1	143	0,67	0,12	2	0,16	0,21
10%	43,1	0,89	0,04	201	0,59	0,09	3	0,65	0,01

Идентификация образца осуществляется путем поиска в базе эталонов образцов, имеющих минимальное удаление от полученных спектров. Расстояние между векторами рассчитывается по среднему значению:

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

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 экспертной системы ограничивается только количеством измерений, фиксируемом оператором исходя из со-

ображений 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. Оператор связывается с различными блоками ЭС через человеко-машинный интерфейс ИИК, который обеспечивает селективность управления операциями всех блоков.

Использование функций ЭС для оперативной диагностики водной среды требует выполнения предварительного обучения путем формирования базы спектральных образов. Такая работа была проведена в лабораторных условиях с использованием 35-ти канального спектроэллипсометра. Образцы растворов заказывались в аптеке № 61/1 г. Фрязино Московской обл. Образцы растворов в объемах 100 мл каждый делились на четыре части по 25 мл в соответствии с объемом кюветы спектроэллипсометра. Проводилось измерение спектроэллипсометрических параметров по всем четырем выборкам, а полученные результаты сравнивались между собой. Таким образом, исключалась возможная случайная погрешность, которая могла возникнуть из-за нечаянного загрязнения кюветы, внешнего механического воздействия на корпус спектроэллипсометра. Совпадающие между собой спектры заносились в базу эталонов в виде двух векторов, рассчитанных по схеме табл. 2 в кодировке ANSI. Пример спектрального образа раствора показан на рис. 3.

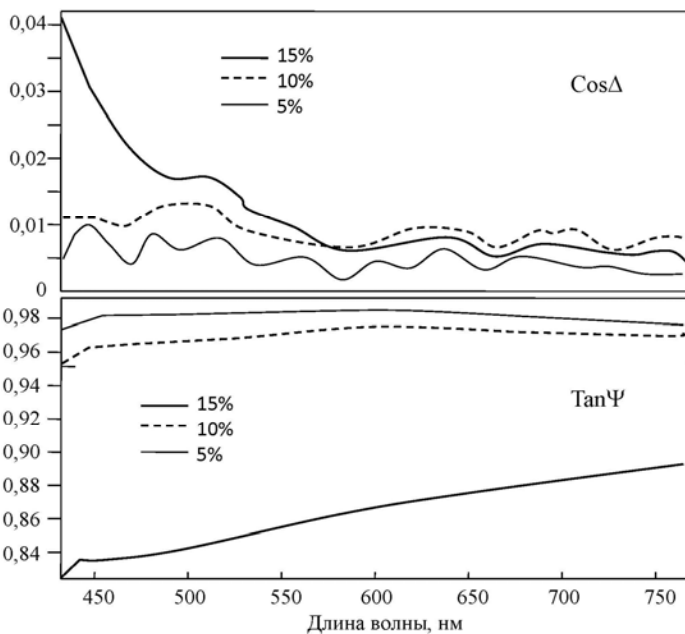


Рис. 3. Спектральные образы различных концентраций водного раствора сульфата цинка ( $ZnSO_4$ )

Применение различных алгоритмов распознавания спектральных образов позволяет выбрать среди них наиболее эффективный. Рассмотрим следующие алгоритмы:

1) *Кластерный анализ.* Формируется два кластерных пространства для  $\text{Cos}\Delta$  и  $\text{Tan}\Psi$ . Решение принимается по совпадению ситуаций попадания векторов  $\Xi_{\Delta}$  и  $\Xi_{\Psi}$  испытуемого образца раствора одновременно в соответствующие кластеры.

2) *Алгоритм невязки между спектрами.* Рассчитывается среднее расхождение между ординатами внутри обоих спектров и решение принимается по минимальному отклонению спектров.

3) *Алгоритм невязки между эталонными векторами спектральных образов.* В этом случае по формуле (1) рассчитывается величина параметра  $\delta$  и решение принимается по его минимальному значению.

В табл. 5 приведены результаты эксперимента, позволяющие оценить точность этих алгоритмов. Здесь приведены средние оценки по всем рассмотренным концентрациям растворов. Зависимость точности идентификации от концентрации раствора представлена на рис. 4. Как следует из этих результатов, погрешность идентификации значительно уменьшается за счет рассмотрения формы спектров. С нарастанием концентрации раствора погрешность также увеличивается. По-видимому, это вызвано тем, что изменения светового потока в растворах с высокой концентрацией становятся похожими. В этом случае, согласно табл. 5 необходимо расширять базу эталонов.

Таблица 5

**Сравнительная оценка алгоритмов идентификации спектральных образов водных растворов**

Объект исследования (водный раствор 5, 10 и 15%)	Метод идентификации и его погрешность (%)		
	Кластерный анализ	Невязка между спектрами	Невязка между векторными эталонами (формула (1))
$\text{CuSO}_4$	15	12	8
$\text{NaCl}$	17	11	7
$\text{NaHCO}_3$	16	10	5
$\text{NH}_4\text{OH}$	21	13	9
$\text{ZnSO}_4$	22	12	8
Калий + Йод	13	10	6
$\text{Na}+\text{Cu}+\text{Zn}+\text{Mn}+\text{глюкоза}$	18	9	9
Furaciline	23	11	5
Bifidumbacterium	14	10	4

Экспертная система позволяет осуществить прогноз качества воды в водоемах или реках при наличии априорной информации о стоках загрязняющих веществ в водоем или в рамках сценария антропогенного воздействия на него [2]. В качестве объекта исследования был выбран участок р. Сайгон в зоне г. Хошимина. Измерения проводились, начиная от центра г. Хошимин, в зоне порта и далее по течению на расстоянии до 20 км. Река Сайгон является мощной транспортной магистралью с объемом перевозки грузов до 35 млн. тонн в год и основным источником водоснабжения г.



Хошимин. Поэтому в 2005-2006 гг. в соответствии с планом сотрудничества Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН и Институты физики и прикладной механики Вьетнамской академии наук и технологий были проведены измерения качества воды в р. Сайгон с помощью 8-ми канального спектрофотометра и 35-ти канального спектроэллипсометра. Здесь используются результаты этих измерений, чтобы оценить возможности ЭС восстанавливать характеристики воды в их динамике с учетом течения реки.

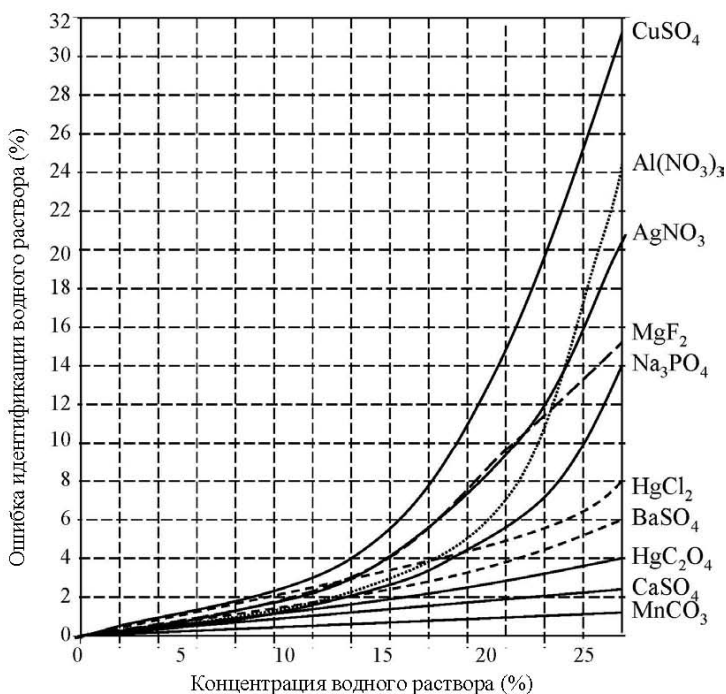


Рис. 4. Зависимость точности идентификации водных растворов от их концентрации

Схема эксперимента предусматривала непрерывное измерение параметров в ряде пунктов, расположенных на расстоянии  $\Delta x$  по руслу реки. Обозначим через  $x$  координату вдоль русла реки,  $x_0$  и  $x_1$  ( $x_1 = x_0 + \Delta x$ ) - точки измерений. В результате проведения измерений физико-химических параметров (ФХП) в промежутке времени  $[t_0, T]$  для обработки формировались ряды данных:

$$y_{ij}^0 = \text{ФХП}_i(x_0, t_j) \quad \text{и} \quad y_{ij}^k = \text{ФХП}_i(x_k, t_j).$$

Здесь индекс  $i$  указывает на различие типов ФХП, индекс  $j$  отражает дискретность последовательных моментов времени фиксации данных на выход спектрофотометра. В данном случае  $t_{j+1}-t_j=\tau=1$  сек, т.е. показатели качества воды усреднялись за 1 сек. Вариации интервала  $\tau$  показали, что в условиях климатической зоны г. Хошимина его равенство 1 сек оказалось наиболее эффективным с точки зрения стабильности естественного освещения и приемлемости для эксплуатации спектрофотометра в полевых условиях. Спектроэллисометр использовался в лабораторных условиях для изучения образцов проб воды из р. Сайгон.

Данные измерений  $\{y_{ij}^0\}$  закладывались в модель качества воды как начальные условия, а ряды  $\{y_{ij}^k\}$  использовались для контроля точности модели с учетом скорости  $\vartheta$  течения реки, т.е. рассчитывались отклонения:

$$\Delta = \left| D(i, x_k, t_j + \Delta t) - \text{ФХП}_i(x_k, t_j + \Delta t) \right|, \text{ где } \Delta t = \Delta x / \vartheta .$$

При скорости течения 3 км/час с расходом воды 54 м<sup>3</sup>/с. максимальная погрешность прогнозирования составила 19%. Эта погрешность зависит от точности модели, заложенной в базу данных ЭС, а также определяется точностью входных данных о скорости течения реки, потоках загрязняющих веществ со сточными водами и из других источников.

Результаты эксперимента, приведенные в табл. 6, характеризуют возможности ЭС восстанавливать ФХП за счет предварительного обучения. Обучение ЭС реализовано по данным измерений 19 декабря 2006 г. в период с  $t_0=10$  часов до  $t=15$  часов. Тестовые измерения проведены 18 декабря 2006 г. Видно, что погрешность восстановления ФХП в их динамике не превышает 7,6%.

В этих двух экспериментах видно, что по отрывочным и неполным данным экологической службы г. Хошимина заложенная в ЭС методика расчета ФХП устойчива по отношению к достоверности входной информации и не приводит к значительному возрастанию ошибок в оценке ФХП. Ясно, что полученные в табл. 6 точности могут быть повышены за счет расширения базы спектральных эталонов. Безусловно, переход к большому пространственным масштабам неизбежно приведет к возрастанию погрешностей. Более полная оценка достоверности предложенной методики с учетом всех возможных аспектов мониторинга гидрофизических объектов требует проведения специальных исследований, охватывающих разнообразный спектр водных систем.

Приведенный в табл. 6 фрагмент сопоставления модельных и экспериментальных оценок ФХП доказывает возможность совместного применения ЭС и компьютерных технологий для оценки динамических характеристик сложных водных объектов. Во всяком случае, применение ЭС в режиме мониторинга речной системы позволит сократить объем измерений ФХП.

**Сравнение оценок физико-химических параметров (ФХП) р. Сайгон по данным ЭС с лабораторными анализами**

Обозначения: Δх - расстояние вдоль русла реки (км) от плавучего отеля в центре г. Хошимина, ЕМФ – единица мутности по Формазину, М-результаты применения ЭС, L- лабораторный анализ

Δх (км)	Физико-химические параметра р. Сайгон								
	Мутность (ЕМФ)			Взвешенные вещества (мг/л)			Нефтепродукты (мкг/л)		
	М	L	Ошибка (%)	М	L	Ошибка (%)	М	L	Ошибка (%)
0	68	66	3,0	51,5	50,2	2,6	0,42	0,38	5,3
1	73	69	5,8	49,7	52,9	7,0	0,51	0,44	5,9
5	87	84	3,6	70,3	65,7	7,0	0,55	0,48	4,6
10	89	92	3,3	88,6	90,4	2,0	0,72	0,65	7,6
15	87	91	4,4	81,3	77,7	4,6	0,61	0,55	0,9

Другие примеры применения описанной здесь экспертной системы в различных ее модификациях для диагностики водных систем относятся к изучению речной системы Ангара-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. [1,6]. 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 длительное время экономического эффекта за счет сокращения объема взятия образцов водных растворов и проведения лабораторных анализов. Техническая часть ЭС может размещаться непосредственно в зоне функционирования водного объекта с дистанционной передачей результатов измерения в компьютерный центр. В этом случае контролирующая организация может иметь достоверные данные о физико-химических характеристиках водного объекта в режиме реального времени. При диагностике пространственно распределенных водных систем измерительная часть экспертной системы может размещаться в различных координатах, что позволит дополнительно идентифицировать источники несанкционированного загрязнения водной среды.

Показательным примером применения экспертной системы для диагностики пространственно неоднородного водного объекта является решение задачи планирования гидрофизического эксперимента в зоне функционирования лагуны Ньюк Нгот, расположенной на вьетнамском побережье Южно-Китайского моря [3,7]. Применение экспертной системы позволило сократить объем исходных измерений в 8 раз и показать, что при достоверной информации о прилегающих к лагуне источниках поступления загрязняющих веществ надежная оценка качества воды в лагуне возможна с приемлемой точностью при измерении физико-химических характеристик только в ее устье.

## Использованная литература

1. *Верба В.С., Гуляев Ю.В., Шутко А.М., Крапивин В.Ф.* СВЧ-радиометрия земной и водной поверхностей: от теории к практике. - София: Академическое Изд-во им. Проф. Марина Дринова. 2014. 296 с.
2. *Крапивин В.Ф., Потапов И.И., Солдатов В.Ю.* Методика оценки последствий реализации антропогенных сценариев для природной окружающей среды // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, 2016, №11, с.3-29; Экологические системы и приборы, 2016, №11, с. 20-39.
3. *Панас А.И., Нгуен Хуан Манн, Крапивин В.Ф., Мкртчян Ф.А., Потапов И.И., Солдатов В.Ю.* Научно-техническое сотрудничество РАН и ВАНТ по изучению биологических ресурсов, геохимических и геофизических процессов в прибрежной зоне Южно-Китайского моря. // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 2013. №12. С. 98-120.
4. *Солдатов В.Ю.* Методика оперативной оценки качества водных ресурсов как элемент глобальной модели системы природа-общество // Экономика природопользования. 2016. №5. С. 40-56.
5. *Солдатов В.Ю.* Многофункциональная информационно-моделирующая система для гидрофизических исследований // Кандидатская диссертация. - Москва: ИРЭ РАН. 2011. 150 с.
6. *Haarbrink R., Krapivin V.F., Krisilov A., Krisilov V., Novichikhin E.P., Shutko A.M., Sidorov I.* Intelligent data processing in global monitoring and security. - Sofia: ITHEA. 2011. 410 pp.
7. *Krapivin V.F., Mkrtychyan F.A., and Soldatov V.Yu.* An expert system for the Okhotsk Sea investigation // Proceedings of the 31<sup>st</sup> International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice, 21-24 February 2016, Mombetsu, Hokaido, Japan.-Mombetsu, Hokkaido, Japan: The Okhotsk Sea & Cold Ocean Research Association (OSCORA). 2016. P. 304-307.
8. *Mkrtychyan F.A. and Krapivin V.F.* About microwave radiometry and spectroellipsometric technologies for monitoring marine ecosystems. Abstracts of Annual Meeting 2016 "25 Year of PICES: Celebrating the Past, Imagining the Future". 2-13 November 2016, San Diego, C.A. USA. - San Diego: North Pacific Marine Science Organization (PICES). 2016. P. 276-277.
9. *Mkrtychyan F.A. and Krapivin V.F.* GIMS – technology in the water quality monitoring // Proceedings of the International Conference on GeoInformatics for Spatial-Infrastructure Development in Earth & Allied Sciences (GIS-IDEAS 2016). 12-15 November 2016, Hanoi, Vietnam. P. 191-196.

# СОДЕРЖАНИЕ

## ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

<i>Янин Е.П.</i> Влияние весеннего половодья на техногенную поставку и распределение химических элементов в речных водах .....	2
<i>Янин Е.П.</i> Особенности поведения меди в воде малой реки в зоне влияния промышленного города .....	12
<i>Янин Е.П.</i> Формы нахождения и особенности поведения тяжелых металлов в городских почвах .Обзор .....	30
<i>Потанов И.И., Вареничев А.А.</i> Алгоритм оценки воздействия аэропорта на окружающую СРЕДУ .....	48
Стратегия биоразнообразия ЕС до 2030 г. Возвращая природу в нашу жизнь .....	59
Глоссарий: Оценка воздействия на окружающую среду .....	91
Воздействие высотного жилищного строительства на устойчивость жилищной застройки <i>Тайяб Ахмад (Tayyab Ahmad), Аджибаде Айбину (Ajibade Aibinu) Мухаммад Джамабуддин Тхахем (Muhammad Jamaluddin Thabeem)</i> .....	98

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА

<i>Мкртчян Ф.А., Климов В.В., Солдатов В.Ю.</i> Экспертная система адаптивной идентификации параметров водной среды в оптическом диапазоне .....	118
--	-----

Ответственный за выпуск *И.И. Потанов*

---

ИД № 04689 от 28.04.01	Подписано в печать: 21.09.2020 г.	Гарн. литературная
Бумага “Хероx”	Формат бумаги 60x84 1/16	Печать цифровая
Усл. печ. л. 8,13	Уч.-изд. л. 8,60	Тираж 40 экз.

---

Адрес редакции: 125190, Россия, г. Москва, ул. Усневича, д. 20  
Тел. (499) 152-5500