

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ВОСПРОИЗВОДСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

DOI: 10.36535/0235-5019-2020-09-6

УДК 502.171:502.3/7

НОВАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДИАГНОСТИКИ КАЧЕСТВА ЖИДКИХ РАСТВОРОВ

Канд. физ-мат. наук **В.В. Климов**,
канд. физ-мат. наук **В.Ю. Солдатов**

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

NEW INFORMATION-INSTRUMENTAL TECHNOLOGY FOR DIAGNOSTICS OF WATER SOLUTIONS QUALITY

V.V. Klimov, V.Yu. Soldatov

Ключевые слова: спектральный образ, водный ресурс, алгоритм, модель.

Keywords: spectral image, water resource, algorithm, model.

Оценка качества водных ресурсов, включая питьевую воду, реализуется различными средствами. Трудности такой оценки возникают при отсутствии соответствующим образом оснащенной лаборатории, например в условиях экспедиции в малодоступные регионы. В данной работе предлагается новый подход к решению задачи диагностики качества воды, основанный на получении спектральных образов в оптическом диапазоне. Охарактеризованы инструментальные и алгоритмические средства. Представлена многофункциональная адаптивная информационно-инструментальная система как средство оперативной диагностики водных ресурсов. Данная работа выполнена частично по госзаданию «КОСМОС» и поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (Грант РФФИ №19-07-00443).

Assessment of the water resources quality including drinking water is realized with different tools. Difficulties of such assessment are arisen when specific laboratory is absent, for example, when expedition is realized in the remote regions. This paper proposes a new approach to the solution of task connected with diagnostics of the water quality. This approach is based on the spectral analysis in optical range. Instrumental and algorithmic tools are characterized. Multi-functional information-instrumental system is represented as tool for operative diagnostics of the water resources.

Оценка качества воды, особенно питьевой воды, реализуется многими методами. Например, в США имеется программа NAWQA (National Water-Quality Assessment Program), в рамках которой решаются многие из упоминавшихся выше задач по оценке условий обеспечения качества водных ресурсов и выявления обстоятельств, при которых деятельность человека может привести к нарушению этого качества. В земных и марсианских условиях эти обстоятельства, безуслов-

но, отличаются. Если в земных условиях базовые причины нарушения качества воды широко изучены и оценены, то в марсианских условиях пока преобладают многочисленные неопределенности, преодоление которых является одной из сфер деятельности ученых, занимающихся подготовкой к пилотируемому полету на Марс [8,9,10,11,15,18].

Некоторое время назад Космические агентства России, Европы и Китая, а также НАСА США объявили полёт на Марс своей целью в отдалённой перспективе. Еще в СССР рассматривались разные варианты космических кораблей для пилотируемого полёта на Марс. Сначала был разработан проект марсианского пилотируемого комплекса (МПК) со стартовой массой в 1630 тонн. Собрать его предполагалось на низкой околоземной орбите за 20-25 пусков ракеты-носителя. Возвращаемая часть МПК имела массу 15 тонн. Продолжительность экспедиции должна была быть 2,5 года.

Роскосмос пилотируемый полёт на Марс намерен осуществить в первой половине 21-го столетия. Россия до 2015 года планировала произвести непилотируемый полёт к спутнику Марса — Фобосу. 9 ноября 2011 года состоялся запуск АМС «Фобос-грунт», однако межпланетной станции не удалось покинуть низкую околоземную орбиту из-за нештатной ситуации. Повторный запуск «Фобос-грунта» запланирован приблизительно в 2020—2021 годах. 6 апреля 2012 года Роскосмос и Европейское космическое агентство договорились о совместной реализации проекта «Экзомарс».

Европейское космическое агентство составило программу «Аврора», целью которой в том числе является планирование лунной и марсианской миссий. Высадка космонавтов на Марс произойдёт до 2033 года. В какой-то степени планы Европейского космического агентства перекликаются с планами НАСА, в рамках которых высадка космонавтов на поверхность Марса может состояться до 2037 г. По планам НАСА, начиная с 2024 г., должна появиться постоянно обитаемая лунная база, которая стала бы подготовкой для полёта на Марс. Согласно проекту «Созвездие» непилотируемые полёты подготовили бы людей к высадке на Марсе. К программе НАСА готова присоединиться Индия.

Что касается планов космического агентства Китая об экспедиции на Марс, существуют противоречивые сведения. Ясно только одно, что в обозримой перспективе Китай пошлет пилотируемую экспедицию на Марс возможно опередив все остальные страны.

Так или иначе, полет на Марс человека требует решения многих научно-технических и медицинских задач [15,16,18]. Безусловно, одной из важных задач является обеспечение безопасности космонавтов. Сюда входят первостепенные проблемы защиты человека от облучения и обеспечения качественным продовольствием, включая питьевую воду. Наличие пресной воды на Марсе обнаружил американский марсоход "Кьюриосити - Curiosity", который достиг поверхности Марса 6 августа 2012 года.

Добыча питьевой воды на Марсе является также пока только обсуждаемой задачей. Ведь вода здесь находится в замёрзшем состоянии в виде ледников на полюсах и под поверхностью. Многие эксперты полагают, что добывать воду можно будет двумя способами: либо выкапывать ее из-под поверхности, а затем выпаривать в специальной печи, либо же подвергать облучению микроволнами почву, извлекая затем водный пар. Так или иначе, затем необходимо оценивать ее качество и определять пригодность для использования в пищу.

Проблема оперативного контроля питьевой воды неизбежно возникает и в период полета в космическом корабле. Наряду с этим в процессе экспедиции будут возникать ситуации, когда необходимо оперативно оценить качество жидких медицинских растворов и жидкого топлива, если таковое будет находиться на борту летательного аппарата. В данной работе дополнительно к уже существующим методам контроля качества жидкостей различной природы предлагается использовать предложенную в [19] технологию, основанную на использовании оптических и микроволновых характеристик жидкости.

Оценка качества жидкостей и методы их тестирования в условиях Земли реализуются многообразными способами. В большинстве стран имеются утвержденные стандарты конкретных типов жидкостей, которые используются для их тестирования с применением различных методик и технологий. Оценка качества жидкости может реализовываться с применением специализированных маркеров, сенсоров и химических реагентов. В условиях Земли такое многообразие не создает непреодолимых препятствий при получении необходимого результата. Однако ситуация резко меняется, когда такая же задача ставится при организации экспедиции человека на Марс. Здесь необходим взвешенный подход к оптимальному выбору инструментальных средств, которые бы длительное время не требовали расходных материалов и давали надежный ответ на вопрос о качестве жидкости.

В последнее время интенсивно развивается спектральная поляризационно - оптическая аппаратура для исследований характеристик различных жидких и твердых сред в реальном масштабе времени - многоканальные поляризационные спектрофотометры, спектрополяриметры, спектральные эллипсометры и дихрометры, нефелометры, и рефрактометры. Использование в современных поляризационно-оптических приборах эффективных модуляторов состояния поляризации и многоканальных анализаторов совместно с развитыми компьютерными технологиями сбора и обработки данных измерений определяют их высокие технические и функционально-информационные характеристики. Так, современные спектрофотометры обеспечивают измерение нескольких спектров в секунду с точностью и чувствительностью на уровне 1% и 0,01% соответственно, а измерения спектров вращения плоскости поляризации в реальном масштабе времени на спектрополяриметрах выполняются с высокой точностью (более 0,001%) [4,5,14].

Наряду с оптическими технологиями широкое применение получили микроволновые радиометры различных диапазонов, которые обеспечивают дистанционное зондирование поверхности жидкости или почвы и путем решения обратных задач радиометрии оценивать ряд характеристик изучаемого объекта [1,2,6,12]. В условиях Марса такими объектами могут быть участки замерзшей воды, как на поверхности, так и в глубоких слоях. Одной из проблем здесь является неопределенность диэлектрических параметров водной среды влияющих на чувствительность поля излучения в микроволновом диапазоне. Поэтому детальное изучение спектральной чувствительности интенсивности излучения водного раствора или льда к вариациям длины волны, проводимости и диэлектрической проницаемости должно реализовываться на Земле.

В настоящее время совместное применение технических средств и software для оперативного мониторинга водной среды даже на Земле развито недостаточно из-за сложности синтеза комплексной системы мониторинга. Особенно сложны задачи сочетания алгоритмического набора с уровнем информационного обеспечения системы мониторинга. Актуальная задача экологического мониторинга требует разработки компактных прецизионных поляризационно-оптических и ра-

диометрических приборов для 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.

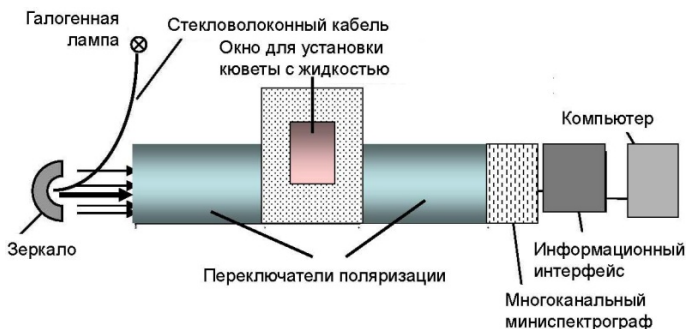


Рис. 1. Принципиальная схема оптической системы, основанной на 128-канальном спектроэллипсометре с бинарной модуляцией поляризации, и характеристики которой указаны в табл. 1.



Рис. 2. Концептуальная структурная схема многофункциональной адаптивной информационно-моделирующей системы для гидрофизических исследований (МФАИМС), ориентированная на оценку физико-химических характеристик водных объектов и других жидкостей.

Спектральные измерения в водной среде дают информативную базу для применения современных методов и алгоритмов распознавания и идентификации загрязнителей этой среды. Совместное использование оперативных измерений спектрометрии, радиометрии и методов обработки данных впервые реализовано в многофункциональной адаптивной информационно-моделирующей системе (МФАИМС), принципиальная схема и общий ее вид представлен на рис.1., а характеристики указаны на рис. 2-4 и в табл. 1. Принципиальная схема МФАИМС дана на рис. 2.

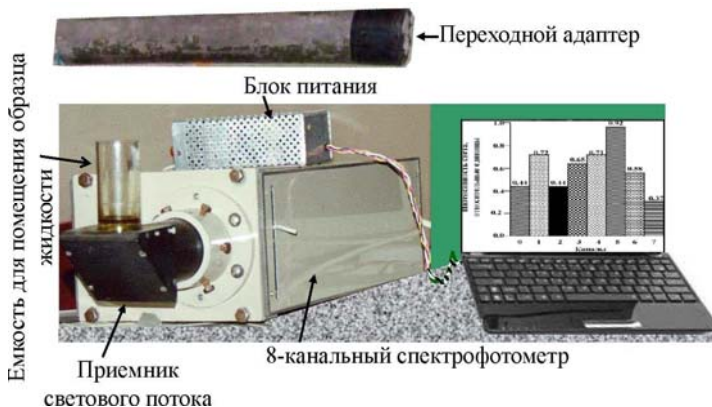


Рис. 3. Адаптивный идентификатор-спектрофотометр и фрагмент его интерфейса для изучения характеристик водной среды в лабораторных и полевых условиях в реальном времени [17].

Традиционно оптические методы исследования жидкостей являются одними из наиболее информативных. В частности, в условиях Земли поляризационно-оптические спектральные измерения позволяют решить широкий круг сложных задач экологического мониторинга водных сред. Задача определения концентрации различных веществ в многокомпонентных растворах по спектрам оптического пропускания и отражения, линейного и циркулярного двух лучепреломления и дихроизма и по спектрам нарушенного полного внутреннего отражения успешно решается только с помощью развитого программного обеспечения.

Таблица 1.

Средние характеристики МФАИМС.

Характеристика	Значение
Спектральный диапазон	380-930 нм
Время регистрации сигнала	менее 0,5 сек.
Поляризационный угол вращения	0,001 градус
Точность измерения эллипсометрических углов смещения поляризаций Ψ Δ	0,003 градус 0,01 градус
Тип галогенной лампы	KGM-9-70
Долговременная стабильность	0,01 градус
Вес измерительного устройства	менее 4 кг.

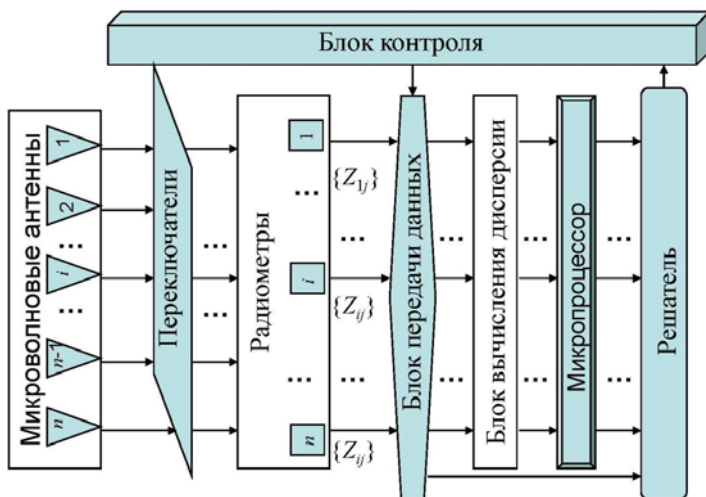


Рис. 4. Общая схема многоканального микроволнового устройства для измерения спектральных характеристик объектов дистанционного зондирования [7].

Обозначение: Z_{ij} – радиояркая температура объекта, поставляемая i -м каналом в j -ый момент времени. Реальные версии МФАИМС используют радиометрические комбинации на длинах волн 0,8 см, 1,35 см, 2,25 см, 5,5 см, 6 см, 8,5 см, 18 см, and 21 см.

Одно из перспективных направлений анализа растворов - жидкостная хроматография с прецизионными поляриметрическими устройствами. Следует отметить определенные трудности при создании компактных многоканальных поляризационно-оптических приборов. Как правило, ключевым элементом поляризационно-оптических приборов является модулятор состояния поляризации излучения. Это либо вращающийся поляризационный элемент (поляризатор, анализатор или компенсатор), ограничивающий частоту модуляции и значительно повышающий уровень помех, либо дорогостоящий фотоупругий модулятор, требующий совершенной термостабилизации.

Используются в основном ПЗ линейки и матрицы фотодетекторов, имеющие недостаточно высокие фотометрические характеристики: малый динамический диапазон, недостаточная линейность, отсутствие доступа к отдельным пикселям, последовательное считывание фотоприемных элементов, приводящее к неэквивалентности измерительных промежутков на всех фотоприемниках.

Создание МФАИМС оказалось возможным благодаря развитию нового подхода в области поляризационной оптики. Разработаны эффективная элементная база поляризационной оптики, метод дискретной модуляции состояния поляризации, и на их основе созданы высокоточные поляризационно-оптические приборы различного назначения. Применение простых высокоэффективных переключателей поляризации и линеек кремниевых фотодиодов с произвольным доступом к фотодиодам существенно упростило задачу создания компактных недорогих поляризационно - оптических приборов: спектрофотометров, спектрополяриметров, спектроэллипсометров и т.д.

Технология совместного использования спектрометрии и алгоритмов идентификации и распознавания позволило впервые создать типовой цельный комплекс аппаратных, алгоритмических, модульных и программных средств сбора и обра-

ботки данных о водной среде с функциями прогноза и принятия решений. Адаптивный идентификатор имеет ряд модификаций, ориентированных на использование в различных условиях. Стационарный вариант охватывает полный комплект технических и алгоритмических средств, обеспечивающих проведение измерений в реальном масштабе времени. Использование этого варианта возможно при наличии сетевого питания 220 в. Полевой переносной вариант адаптивного идентификатора предусматривает два варианта использования. При наличии компьютера Notebook в полевых условиях (при отсутствии сетевого питания) весь функциональный спектр МФАИМС реализуется в режиме реального времени. В противном случае результаты измерений запоминаются в блоке автономной памяти, а затем вводятся в компьютер и обрабатываются.

Алгоритмическое обеспечение МФАИМС основано на комплексном использовании методов распознавания и классификации дискретных образов, формируемых на базе спектров, регистрируемых за устанавливаемое оператором время. Обычно устанавливается интервал в 1 сек., который обеспечивает получение около 60 отсчетов значений освещенности по каждому из оптических каналов. Полученные спектры являются источниками рядов статистических параметров и различных характеристик, объединяемых в векторные пространства для последующего сопоставления с эталонными образцами, хранящимися в памяти компьютера. Технология этого сопоставления зависит от многообразия методов идентификации.

Система МФАИМС рассчитана на обучение, которое представляет собой процедуру измерения спектральных характеристик и одновременное независимое измерение содержания химических элементов в водной среде. В результате в базе знаний формируется банк эталонов, сопоставление с которыми обеспечивает решение задачи идентификации. В частности, такое сопоставление может реализовываться в рамках расчета среднего квадратического отклонения измеренного спектрального образа объекта от имеющихся в памяти компьютера эталонов. Программное обеспечение МФАИМС предусматривает различные алгоритмы решения этой задачи, среди которых имеется и кластерный анализ.

МФАИМС может применяться в различных областях, где требуется оценить качество жидкого раствора или выявить присутствие в нем определенного набора химических элементов. Эти задачи МФАИМС решает в режиме непрерывного наблюдения за объектом мониторинга. Установленный для стационарного измерения он позволяет следить за динамикой качества раствора в потоке, а при размещении на борту судна - измерять характеристики водного объекта по маршруту следования.

Функциональные возможности МФАИМС могут расширяться за счет увеличения объема эталонов в базе знаний. Переключение на естественный источник освещения позволяет решать задачи экспертизы земных покровов, обнаружения пленок нефтепродуктов на водной поверхности, определение степени загрязнения атмосферного воздуха и оценки состояния других объектов окружающей среды, спектральные образцы которых в видимом диапазоне могут изменяться.

МФАИМС была создана для решения задач оперативной диагностики качества водной среды в различных условиях и контроля жидких растворов в медицине и биофизике. Оперативность диагностики обеспечивается этапом предварительного обучения распознаванию спектральных образов растворов. Сам процесс обучения и последующее распознавание реализуются в соответствии с определенным набором методик, алгоритмов и процедур сбора, анализа, сортировки и обработки данных измерений. Совокупность всех этих средств составляет структуру информационно-моделирующей системы, ориентированной на оперативную диаг-

ностику состояния водных объектов в условиях многоканальных потоков информации от датчиков контактного и дистанционного действия и с применением высокоэффективных информационных технологий для решения задач классификации и идентификации водных объектов.

Сложность проблемы оперативного многопланового контроля качества воды и состояния гидрофизических систем и процессов обусловлена, как правило, их пространственной неоднородностью и наличием множества физических, химических и биологических факторов, влияющих на их состояние. Поэтому система автоматизации гидрофизического мониторинга включает параметризацию типового водного баланса ограниченной территории, которая отражает взаимодействие компонентов гидрологического цикла. При этом система обладает функцией адаптации к реальному гидрофизическому объекту или процессу, что обеспечивается за счет сбалансированного использования технических, модельных и алгоритмических средств. Такой баланс гарантируется ГИМС-технологией, которая дает значительную экономию времени и средств за счет взвешенного планирования гидрофизического исследования, проявляющегося в экономном сочетании технических и алгоритмических средств сбора и обработки данных, а также в разумном распределении точек взятия проб по пространству, занятому изучаемым гидрофизическим объектом.

Схема рис. 5 конкретизирует структуру МФАИМС. Анализ этой схемы показывает, что многие блоки МФАИМС могут быть реализованы с помощью ГИС-технологии. Сюда относятся формирование пространственной базы данных, моделирование топографической структуры, компьютерное картографирование и визуализация.



Рис. 5. Функциональная структура блоков МФАИМС, описание которой представлено в табл. 2 и 3.

Таблица 2.

Блоки первого уровня МФАИМС

Блок	Функции блока
МИ	Универсальный информационный интерфейс
GHCSM	Формирование имитационной модели влагооборота. Управление моделями и алгоритмами описания гидрофизических и гидрологических процессов.
CREMF	Управление параметризацией потоков энергии и вещества в гидрофизической системе. Реализация механизмов трансформации химических элементов в водной среде.
GMD	Формирование базы данных и синтез сценариев антропогенных процессов в зоне функционирования гидрофизического объекта.
CIF	Контроль информационных потоков между блоками системы.
FUWQC	Формирование и использование критериев качества водной среды.
MPSDM	Управление процедурами принятия статистических решений.
CPT	Контроль фазовых переходов в гидрофизической системе

Таблица 3.

Блоки второго уровня системы МФАИМС

Блок	Функции блока
PSI	Формирование предметных идентификаторов для адаптации системы к конфигурации изучаемого гидрофизического объекта с учетом его географического положения, а также геофизической, экологической и социально-экономической структуры.
PEI	Восприятие экспериментальной информации, ее масштабирование и занесение в базу данных.
RID	Реализация запросов к базе данных. Обслуживание регламентных запросов.
US	Поддержка действий оператора при выборе и изменении формы информационного и пользовательского интерфейсов.
SIM	Формирование информационных карт о качестве воды на территории гидрофизического объекта.
MCI	Изменение масштабов представления картографической информации с выделением фрагментов территории гидрофизического объекта.
CMF	Контроль функций системы, обеспечивающий согласование информационных потоков внутри системы, выявление дефектных запросов и сообщений, предупреждение о неправильных (или запрещенных) командах оператора, подсказка пользователю.
DWQF	Выявление нарушений качества воды и информирование оператора об этих нарушениях.
WBM	Модель водного баланса территории, занятой изучаемым гидрофизическим объектом или процессом [3].
MTWE	Модель формирования сложного многофакторного процесса поверхностного стока с учетом топографии водосбора и почвенно-растительного покрова.
PUWF	Параметризация потоков сточных вод.
SHP	Имитация гидрофизических процессов [12].
CWQP	Расчет показателей качества воды.
MCTM	Моделирование механизмов трансформации химических элементов в воде [17].
SEP	Имитация обменных процессов на границе гидрофизических систем, включая приливно-отливные процессы, взаимодействие с атмосферой [19].
ASMIT	Алгоритмы решения обратных задач микроволновой радиометрии [2,12].
ASSIT	Алгоритмы решения обратных задач спектрофотометрии и спектроэллипсометрии [13].
UIVM	Обновляемый архив данных об объемах и составе загрязняющих веществ, выбрасываемых в окружающую среду предприятиями сельскохозяйственных, промышленных и муниципальных систем, расположенных в зоне функционирования гидрофизической системы.

ARD	Оценка достоверности официальных данных, заносимых в архив.
RIDD	Приведение разнородной информации к единому стандарту.
CCB	Контроль согласованности входов и выходов блоков и их связей с базой данных.
CWQ	Контроль выполнения критериев качества воды.
OID	Документирование оперативной информации о качестве водной среды.
RWQ	Учет лабораторных анализов качества водной среды.
CAWQ	Комплексная оценка качества водной среды.
CMB	Контроль функционирования блоков информационно-моделирующей системы.
PIUO	Процедура преодоления информационной неопределенности.
FMGC	Формирование рядов метеорологических и геофизических характеристик.
CDM	Выбор процедуры принятия решения и ее реализация [17].
СП	Расчет индикаторов нестабильности и биологической сложности гидрофизической системы.

ГИС-технология рекомендует в случае организации исследований на территориях с неоднородными структурами формировать ряды картограмм различной детальности. Для любого уровня пространственного разрешения $\Delta\varphi \times \Delta\lambda$ по широте и долготе в базе данных формируется информационный слой из наборов идентификаторов, отождествляющих элементы гидрофизической системы с географическими координатами (φ , λ) и контроль которых осуществляется управляющим блоком, и данные из которых воспринимаются соответствующими функциями-блоками МФАИМС. По существу здесь реализуется широко используемая в ГИС схема картографического моделирования.

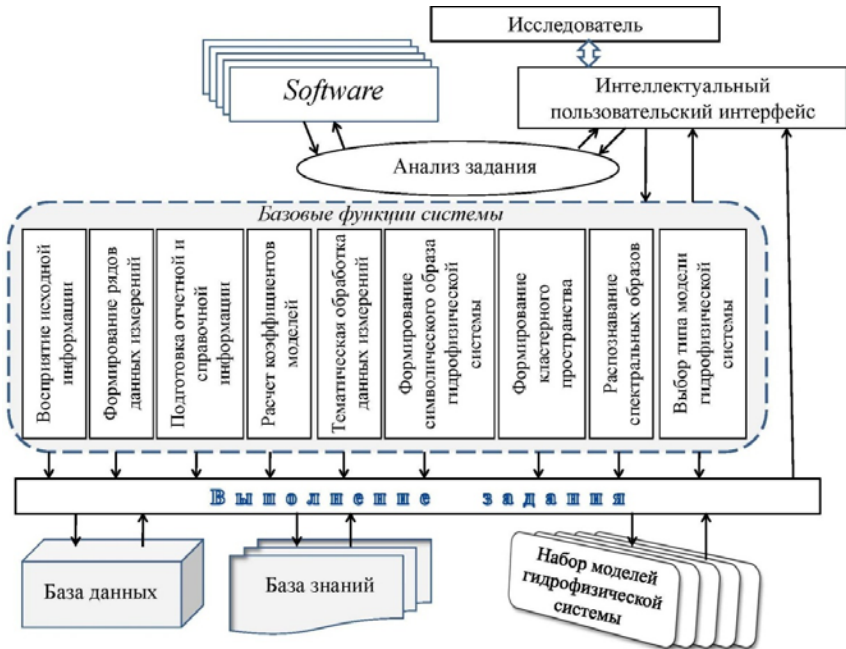


Рис. 6. Схема диалогового режима использования функций МФАИМС.

Функционирование МФАИМС обеспечивается двухуровневой процедурой управления гидрофизическим экспериментом в соответствии с иерархической схемой выполнения промежуточных операций различными ее блоками согласно схеме рис. 6. Основные функциональные возможности системы состоят в осуществлении следующих операций:

- запрос данных о любом идентификаторе (массиве) и производство коррекции любого его фрагмента;
- запрос оценки всех или части параметров имитационных блоков и их корректировка;
- выделение набора параметров и идентификаторов для более оперативного доступа к ним в режиме анализа состояния гидрофизической системы на заданной территории;
- синтез символической карто-схемы распределения оценок набора характеристик окружающей среды;
- прогноз состояния гидрофизической системы на заданную глубину по времени или до выполнения заданного критерия качества водной среды (например, превышение ПДК, переход в критическое состояние).

Одной из базовых функций МФАИМС является интегрирование информации из различных источников. Эта процедура включает следующие операции:

- приведение в единую систему пространственных данных от различных источников, таких как географические карты, спутниковые фотографии, дистанционные микроволновые измерения, наземные наблюдения и т.п.;
- создание геометрического описания земной поверхности внутри совместимых топологических структур;
- формирование набора моделей и software для преобразований между векторными и развернутыми данными, т.е. между картами и образцами;
- обеспечение согласования рядов гидрофизических и гидрохимических характеристик на каждом уровне пространственной шкалы системы.

Одной из достаточно сложных задач гидрофизических исследований является необходимость преодоления неустраняемой информационной неопределенности, возникающей при наличии зон недоступности для осуществления гидрофизических измерений или из-за наличия высокой нестационарности в рядах данных. Заложённая в блок PIUO эволюционная технология моделирования позволяет решать эту задачу. Основная идея эволюционного моделирования состоит в выборе адекватных моделей, достоверность которых проверяется либо на предыстории, либо на косвенной доступной информации о динамике фрагмента изучаемой гидрофизической системы.

Процедура эволюционного отбора моделей обеспечивает практически неограниченное во времени функционирование МФАИМС в условиях неустраняемой информационной неопределенности. При этом кроме некоторой предыстории, не удовлетворяющей требованиям статистической однородности, на входе системы по ряду гидрофизических процессов не имеется другой информации. Многообразие возможных ситуаций с информационной неопределенностью охватывает и антропогенные компоненты гидрофизических исследований. В этом случае блоки UIVM и ARD с помощью эволюционной процедуры блока PIUO отслеживают динамику официальных данных о потоках загрязняющих веществ.

МФАИМС неоднократно применялась для решения прикладных задач в области гидрофизического мониторинга на территориях России, Вьетнама и Болгарии [2]. Очевидно, что при определенных обстоятельствах ее функции легко мо-

гут быть ориентированы на решение задач диагностики питьевой 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 принятия решения при распознавании спектральных образов не зависит от внешних условий ее применения, если соответствующие технические средства функционируют.

Рассмотренная выше технология диагностики водной среды применялась при изучении качества водных ресурсов в некоторых регионах России и Южного Вьетнама. Положительные примеры практического применения МФАИМС связаны с результатами гидрохимических исследований на территории Южного Вьетнама. На рис. 7 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 соленость и своевременно обнаруживать нефтяное загрязнение. Из рис. 7 видно, что спектральные образы нефтяных и соляных пятен на поверхности воды резко отличаются.

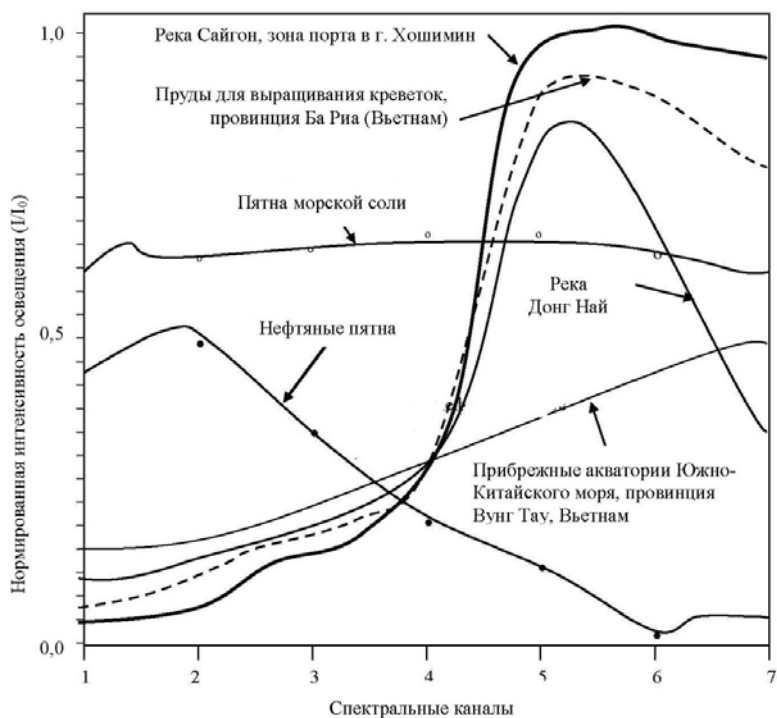


Рис. 7. Спектральные характеристики некоторых резервуаров Южного Вьетнама. Спектральные диапазоны, по которым осуществлялось усреднение результатов измерений: 1 (380-420 нм), 2 (420-440 нм), 3 (440-500 нм), 4 (500-540 нм), 5 (540-600 нм), 6 (600-660 нм), 7 (660-800 нм).

Опыт многолетних гидрофизических экспериментов показал, что применение МФАИМС в различных ее модификациях позволяет экономить время и другие ресурсы при получении исчерпывающих оценок качества различных водоемов. Самое главное, проведя обучение МФАИМС путем наполнения базы спектральных эталонов различных образцов водных объектов, мы исключаем во время гидрохимических исследований этап взятия образцов воды и их изучения в химической или биофизической лаборатории. Тем более вопрос усложняется при космическом полете, так как при космическом полете невозможно такое изучение из-за отсутствия соответствующим образом ориентированной лаборатории.

Система диагностики и идентификации качества жидкостей, описанная в данной работе, может быть реализована в виде компактного устройства небольших габаритов и веса. Вопрос о возможном ее использовании в неземных условиях, несомненно, требует проведения ряда дополнительных исследований, включая:

- реализация измерений спектров жидкостей в ограниченном объеме на Международной космической станции (МКС) с целью выяснения изменений в спектрах одинаковых растворов, полученных на Земле и в условиях невесомости, и поиска закономерностей в этих изменениях.
- модернизация МФАИМС с учетом полученных результатов сопоставления спектров одинаковых растворов, изученных на Земле и МКС.

Цитированная литература

7. *Бородин Л.Ф., Валендик Э.Н., Миронов А.С.* СВЧ-радиометрические методы и проблема лесных и торфяных пожаров // Радиотехника и электроника. 1978. Т. XXIII. № 10. С. 2120-2131.

17. *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.

63. *Крапивин В.Ф., Кондратьев К.Я.* Глобальные изменения окружающей среды: экоинформатика. – Санкт-Петербург: Изд-во Санкт-Петербургского государственного университета. 2002. 724 с.

64. *Крапивин В.Ф., Мкртчян Ф.А., Потанов И.И., Туyet Dao Van.* Радиофизической и оптической мониторинг окружающей среды на территории Вьетнама // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 2016, №4, с.3-18.

65. *Крапивин В.Ф., Мкртчян Ф.А., Шутко А.М.* ГИМС-технология и мобильные исследовательские платформы дистанционного зондирования // Экологические системы и приборы. 2015. № 1. С. 10-17.

78. *Крапивин В.Ф., Шутко А.М.* Исследования в области микроволнового мониторинга земных покровов // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 2002. № 4. С. 44-53.

104. *Солдатов В.Ю.* Многофункциональная информационно-моделирующая система для гидрофизических исследований // Кандидатская диссертация. - Москва: ИРЭ РАН. 2011. 150 с.

131. *Baker V.R.* Water and Martian landscape // Nature. 2001. Vol.412. P. 228-236.

132. *Baker V.R.* Water cycling on Mars // Nature, 2007. Vol.446. P. 150-151.

155. *Dohm J.M., Anderson R.C., Baker V.R., Barlow N.G., Miyamoto H., Davies A.G., Taylor J., Boynton W.V., Keller J., Kerry K., Janes D., Fairén A.G., Schulze-Makuch D., Glamoclija L.M., Marinangeli L., Ori G., Strom R.G., Williams P., Ferris J.C., Rodríguez J.A.P., de Pablo M.A., and Karunatillake S.* Recent geological and hydrological activity on Mars: the Tharsis/Elysium corridor // Planetary and Space Science. 2008. Vol.56. P. 985–1013.

171. *Heldmann J.L., Toon O.B., Pollard W.H., Mellon J.P., McKay C.P., and An D.T.* Formation of Martian gullies by the action of liquid water flowing // *Journal of Geophysical Research*. 2005. Vol.110. P. 1-9.
194. *Krapivin V.F. and Shutko A.M.* Information technologies for remote monitoring of the environment. - Chichester U.K.: Springer/Praxis. 2012. 498 pp.
201. *Krapivin V.F., Nitu C., and Mkrtchyan F.A.* Algorithms for the solution of spectroellipsometry inverse task // *The Scientific Bulletin of Electrical Engineering Faculty*, 2014. Vol. 26. No. 2. P. 21-26
202. *Krapivin V.F., Nitu C., and Soldatov V.Yu.* Synthesis of geocological information-modeling systems // *The Scientific Bulletin of Electrical Engineering Faculty, Valahia University of Targoviste, Romania*. 2010. Vol. 12, No. 1. P. 102-105.
205. *Krapivin V.F., Varotsos C.A., and Christodoulakis J.* Mission to Mars: Adaptive identifier for the solution of inverse optical metrology tasks // *An International Journal of Solar System Science: Earth, Moon, and Planets*, 2016. V.4. P. 1-14.
206. *Krapivin V.F., Varotsos C.A., and Soldatov V.Yu.* Mission to Mars. Reliable method for liquid solutions diagnostics // *Frontiers in Environmental Science: Environmental Informatics*. Sci. 2014. Vol. 21. No. 2. doi: 10.3389/fenvs.2014.00021
207. *Krapivin V.F., Varotsos C.A., and Soldatov V.Yu.* New ecoinformatics tools in environmental science: Applications and decision-making. - London: Springer. 2015. 903 pp.
222. *Mahaney W.C. and Dohm J.* Life on Mars? Microbes in Mars-like Antarctic Environments // *Journal of Cosmology*. 2010. Vol.5. P. 951-958.
243. *Nitu C., Krapivin V.F., and Soldatov V.Yu.* Information-modeling technology for environmental investigations. - Bucharest, Romania: Matrix Rom. 2013. 621 pp.