

ТЕХНОЛОГИЯ ДИАГНОСТИКИ КАЧЕСТВА ЖИДКИХ РАСТВОРОВ

*доктор физ.-мат наук, профессор Ф.А. Мкртчян, канд. техн. наук И.И. Потопов²,
канд. физ.-мат. наук В.Ю. Солдатов¹*

¹Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,
Фрязинский филиал, город Фрязино,

²Всероссийский институт научной и технической информации РАН
(ipotapov37@mail.ru)

В данной статье излагается новая технология диагностики жидкостей с применением инструментальных средств оптики и микроволновой радиометрии. Марсианская миссия связана с решением многих задач оперативной диагностики жидкостей (включая питьевую воду), медицинских растворов и жидкого топлива. Эта статья предлагает новый метод решения этих задач, как в процессе космического полета, так и на Марсе. Предлагаемый метод состоит в создании базы данных спектральных эталонов жидких растворов, полученных с помощью многоканального спектроэллипсометра или радиометрического комплекса, и используемых для адаптивного распознавания спектральных образов. Описаны алгоритмы идентификации спектральных образов жидких растворов с демонстрацией примеров их применения. Алгоритмы основаны на решении обратных задач спектроэллипсометрии и микроволновой радиометрии. Эти алгоритмы сравнены между собой на основе соответствующих экспериментальных измерений. Указаны задачи, решение которых необходимо реализовать для адаптации предложенной технологии к космическим условиям. Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований по гранту № 19-07-00443_а.

Ключевые слова: Марсианская миссия, питьевая вода, жидкое топливо, диагностика, жидкий раствор, спектроэллипсометр, спектральный образ, распознавание, микроволновая радиометрия

DIAGNOSTICS TECHNOLOGY FOR LIQUID SOLUTIONS

F.A. Mkrтчyan, I.I. Potapov, V.Yu. Soldatov

This paper describes new technology for the diagnostics of liquids with the use of optical tools and microwave radiometry. Manned mission to Mars aims at solving many problems associated with operational diagnostics of liquid solutions (including drinking water), medical issues, and liquid fuels. This paper proposes a new method to solve these problems both during the flight and the stay on the surface of the planet. The proposed method consists of a database development of spectral images of liquid solutions supplied by a multiple-channel spectroellipsometer or microwave radiometers and the diagnostics of liquid solutions using this database. In addition, the process of learning and the expert system for adaptive recognition of liquid solutions is described. Finally, the test of the expert system is demonstrated for a series of liquid solutions. Identification algorithms are described for spectral images of liquid solutions with the demonstration of

their applications. Algorithms are based on the solution of inverse tasks in the spectroellipsometry and microwave radiometry. These algorithms are tested on the base of corresponding experimental measurements. The tasks are shown a solution of which is needed for the adaptation to the cosmic conditions.

Key words: Mars mission, drinking water, liquid fuel, diagnostics, liquid solution, spectroellipsometer, spectral image, recognition, microwave radiometry.

1. Введение

Некоторое время назад Космические агентства России, Европы и Китая, а также НАСА США объявили полёт на Марс своей целью в отдалённой перспективе. Ещё 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 перекаливаются 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 [1-22]. Безусловно, одной из важных задач является обеспечение безопасности космонавтов. Сюда входят первоочередные 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 замерзшем состоянии в виде лед-

ников на полюсах и под поверхностью. Многие эксперты полагают, что добывать воду можно будет двумя способами: либо выкапывать ее из-под поверхности, а затем вытапливать 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 технологию, основанную на использовании оптических и микроволновых характеристик жидкости.

2. Новая информационно-инструментальная технология диагностики качества жидких растворов

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 [3, 9-15]. 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%) [20].

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 [1,2,12]. 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 радиометрических 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.

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 вид ее модификаций представлены на рис.1-7, а характеристики указаны в табл. 1.



Рис. 1. Концептуальная структурная схема многофункциональной адаптивной информационно-моделирующей системы для гидрофизических исследований (МФАИМС), ориентированная на оценку физико-химических характеристик водных объектов и других жидкостей.

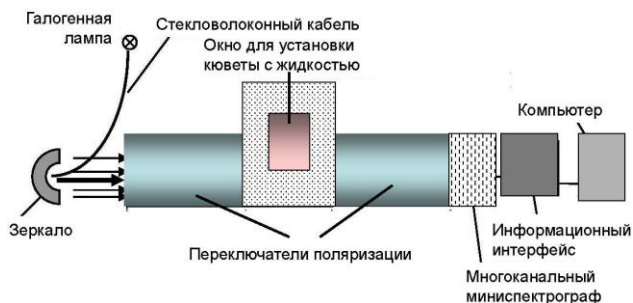


Рис. 2. Принципиальная схема оптической системы, основанной на 128-канальном спектроэллисометре с бинарной модуляцией поляризации, и характеристики которой указаны в табл. 1. Реальный образец МФАИМС-128 представлен на рис. 3.



Рис. 3. Информационно-моделирующая система МФАИМС-128, основанная на 128-канальном спектроэллисометре и ориентированная на диагностику жидкостей при взятии их образцов [1].

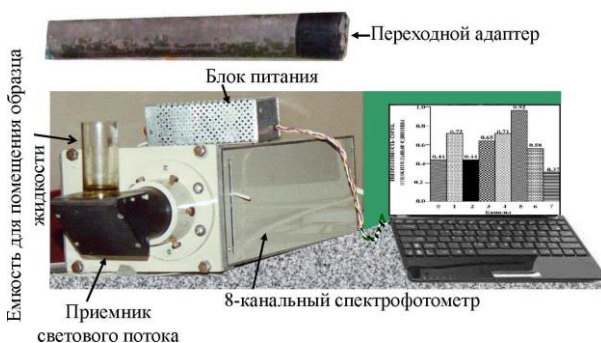


Рис. 4. Адаптивный идентификатор-спектрофотометр и фрагмент его интерфейса для изучения характеристик водной среды в лабораторных и полевых условиях в реальном времени [1].

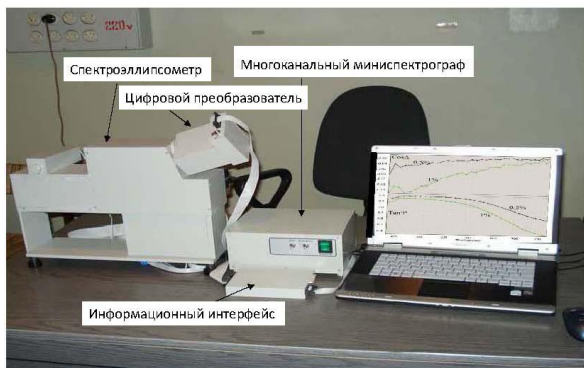


Рис. 5. Общий вид 35-канальной МФАИМС [1].

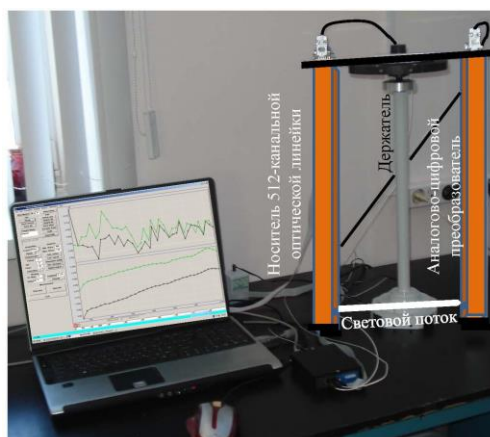


Рис. 6. Общий вид 512-канальной МФАИМС [1].

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.

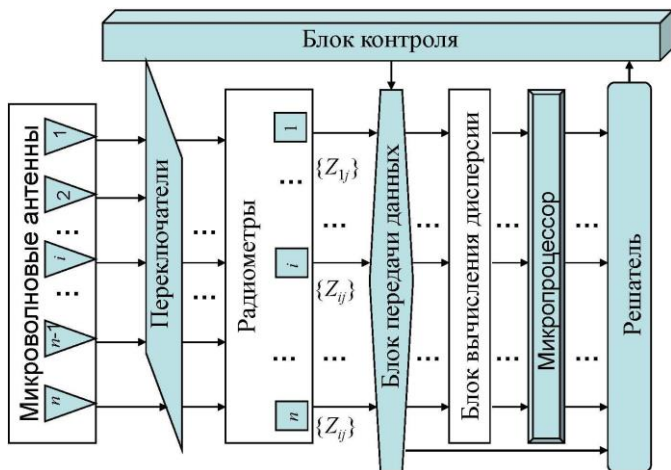


Рис. 7. Общая схема многоканального микроволнового устройства для измерения спектральных характеристик объектов дистанционного зондирования [19]. Обозначение: Z_{ij} – радиояркостная температура объекта, поставляемая i -м каналом в j -ый момент времени. Реальные версии МФАИМС используют радиометрические 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.

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.

Одно из перспективных направлений анализа растворов - жидкостная хроматография с прецизионными поляризметрическими 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 ПЗС 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 обработки 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 [1-10].

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, определения степени загрязнения атмосферного воздуха и оценки состояния других объектов окружающей среды, спектральные образы которых в видимом диапазоне могут изменяться.

3. Структура и функции МФАИМС

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 диагностику 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. На схеме рис. 1 представлена концепция такой системы.

Реализация схемы рис. 1 обеспечивается за счет сбалансированного использования технических, модельных и алгоритмических средств. Такой баланс гарантируется ГИС-технологией [1,7], 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. 8 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. 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 ко-

ординатами (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.

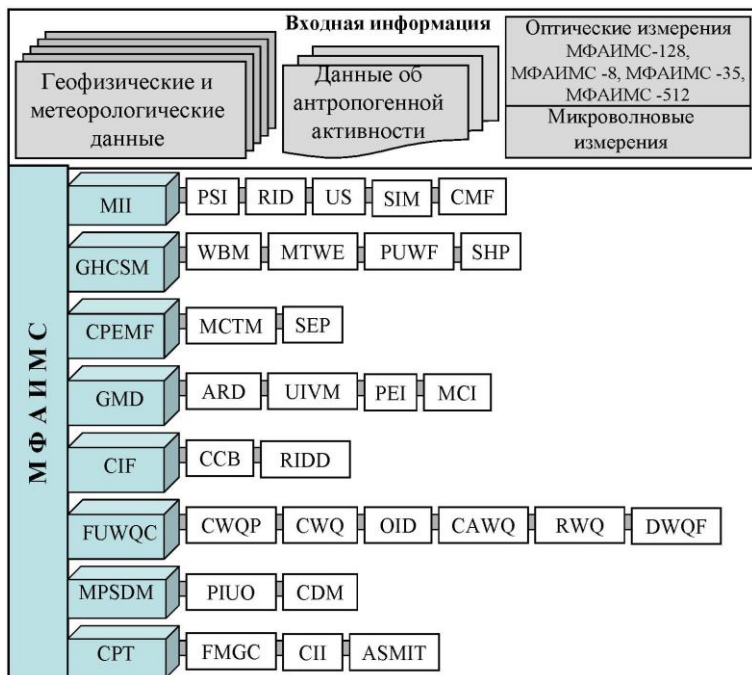


Рис. 8. Функциональная структура блоков МФАИМС, описание которой представлено в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Блоки первого уровня МФАИМС

Блок	Функции блока
МII	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

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 [15].
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, 15].
CWQP	Расчет показателей качества воды.
MCTM	Моделирование механизмов трансформации химических элементов в воде [8].
SEP	Имитация обменных процессов на границе гидрофизических систем, включая приливно-отливные процессы, взаимодействие с атмосферой [18].
ASMIT	Алгоритмы решения обратных задач микроволновой радиометрии [1, 12].
ASSIT	Алгоритмы решения обратных задач спектрофотометрии и спектроэллипсометрии [11, 17].
IIVM	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 [15].
CII	Расчет индикаторов нестабильности и биологической сложности гидрофизической системы.

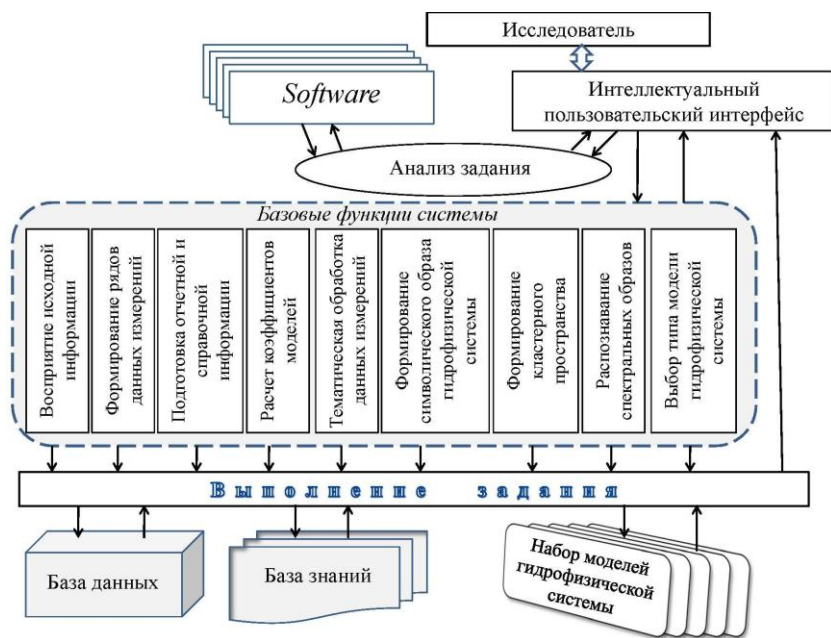


Рис. 9. Схема диалогового режима использования функций МФАИМС.

Функционирование МФАИМС обеспечивается двухуровневой процедурой управления гидрофизическим экспериментом в соответствии с иерархической схемой выполнения промежуточных операций различными ее блоками согласно схеме рис. 9. Основные функциональные возможности системы состоят в осуществлении следующих операций:

- запрос данных о любом идентификаторе (массиве) и произведение 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 совместных топологических структур;
- формирование набора моделей и software для преобразований между векторными и развернутыми данными, т.е. между картами и образами;
- обеспечение согласования рядов гидрофизических и гидрохимических характеристик на каждом уровне пространственной шкалы системы.

Одной из достаточно сложных задач гидрофизических исследований является необходимость преодоления неустранимой информационной неопределенности, возникающей при наличии зон недоступности для осуществления гидрофизических измерений или из-за наличия высокой нестационарности в рядах данных. Заложенная в блок РІУО эволюционная технология моделирования [1,4,7] 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 неустранимой 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 РІУО 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 [4]. Очевидно, что при определенных обстоятельствах ее функции легко могут 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.

4. Методика распознавания спектральных образов

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 [10]. В земных и марсианских условиях эти обстоятельства, безусловно, 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.

Ряд блоков МФАИМС выполняют роль экспертной системы по адаптивной идентификации жидких растворов (ЭСАИЖР), в структуру которой можно включить компактный многоканальный спектроэллисометр (КМС), информационный интерфейс с компьютером (ИИК), стандартный набор software (CHS) и расширяемую базу данных (РБД). CHS включает набор алгоритмов обработки многоканальных потоков данных измерений, поступающих от КМС, их визуализацию и формирование в РБД многомерного векторного пространства индикаторов качества жидкости. В частности, в CHS входит набор алгоритмов идентификации спектральных образов. Принципиальная схема такого алгоритма представлена на рис. 10. Интенсивность светового потока ξ_j^i , зарегистрированная в момент t_i на канале λ_j ,

воспринимается алгоритмом Φ , который решает задачу различения двух гипотез H_0 (жидкость соответствует стандарту) и H_1 (жидкость не соответствует стандарту). Здесь могут быть использованы несколько статистических процедур различения двух гипотез. Безусловно, для марсианских условий должны быть тщательно отработаны инструкции действия оператора по выбору этих процедур, заданию ошибок первого (гипотеза H_0 отвергнута ошибочно) и второго рода (гипотеза H_0 неверно принята), а также определены другие регламенты по проведению измерений.

Процедура обучения МФАИМС и настраивания характеристик ЭСАИЖР в земных условиях ее эксплуатации и применения в марсианских условиях, безусловно, имеет особенности. В земных условиях оператор системы имеет широкий набор возможностей изменения параметров системы вплоть до расширения набора блоков с включением дополнительных функций диагностики жидкости. В марсианских условиях изменение режимов работы системы должно быть максимально автоматизировано с полным исключением ситуаций неопределенности. Примерная схема функционирования ЭСАИЖР в земных условиях представлена на рис. 11.

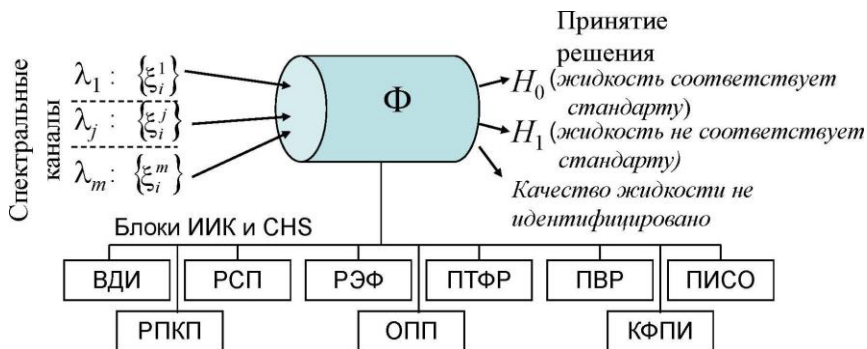


Рис. 10. Концептуальная блок-схема процедуры идентификации качества жидкости. Обозначения даны в табл. 4.

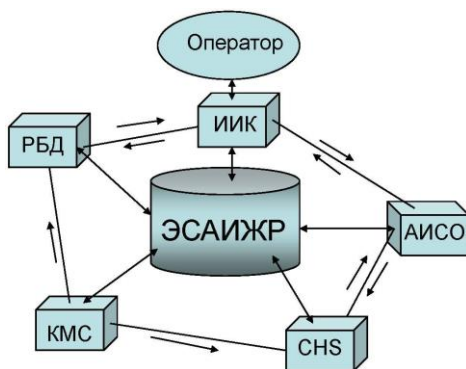


Рис. 11. Модель функционирования ЭСАИЖР системы.

Таблица 4

Описание блоков ИИК и СНС системы ЭСАИЖР

Блок	Функции блока
ВДИ	Визуализация данных измерения (спектры, статистические параметры, эмпирические и теоретические функции распределения).
РПКП	Расчет параметров для классической процедуры принятия решений по критерию Неймана-Пирсона.
РСР	Расчет статистических параметров и других характеристик формирования векторного пространства индексов качества жидкости.
ОПП	Оценка параметров последовательного анализа Вальда.
РЭФ	Реконструкция эмпирических функций распределения.
КФПИ	Контроль функций пользовательского интерфейса.
ПТФР	Построение теоретических функций распределения.
ПИСО	Процедура идентификации спектрального образа
ПВР	Процедура визуализации результатов диагностики жидкости.

Знание спектров, полученных на выходе КМС, позволяет, используя набор алгоритмов распознавания этих спектров, фактически принять три простых решения:

- гипотеза H_0 верна – жидкость соответствует принятому стандарту качества;
- гипотеза H_1 верна – жидкость не соответствует принятому стандарту качества; и
- определить качество жидкости не удалось.

Алгоритмические и функциональные возможности МФАИМС, как видно из рис. 8, значительно шире. Имеется множество алгоритмов, которые обеспечивают оценку концентрации химических элементов в жидком растворе. Здесь возможны две ситуации:

- однокомпонентный раствор легко может быть описан широким набором спектров, распознавание которых осуществляется при прямом расчете концентрации химического вещества в нем, например, с помощью интерполяции между ближайшими спектрами;

• многокомпонентный раствор при большом числе химических веществ в нем потребует огромного количества обучающих измерений, если ориентироваться на сравнение спектральных образов, что приводит к необходимости поиска других алгоритмов идентификации таких растворов.

Рассмотрим два алгоритма, обеспечивающих покрытие обеих ситуаций. Первый алгоритм идентификацию спектрального образа испытуемого раствора осуществляет путем сопоставления его индикатора-образа Ξ с набором эталонных векторов в базе данных. Эта процедура реализуется блоком ПИСО. В зависимости от используемого измерительного прибора спектральный образ представлен одним вектором для спектрофотометра и двумя векторами для спектроэллипсометра. В последнем случае при измерениях для каждого раствора определяются два вектора: один Ξ_{Δ} для интенсивности света на фотодетекторе $\{\text{Cos}\Delta(\lambda)\}$, другой Ξ_{Ψ} для тангенса относительного сдвига фаз двух ортогональных поляризованных компонент $\{\text{Tan}\Psi_i\}$ [9]. Идентификация образца осуществляется путем поиска в базе эталонов образцов, имеющих минимальное удаление от полученных спектров. Расстояние между векторами рассчитывается по среднему значению:

$$\delta = \min_s \rho \left\{ \left| \Xi_{\Delta}^s - \Xi_{\Delta}^x \right| + \left| \Xi_{\Psi}^s - \Xi_{\Psi}^y \right| \right\} =$$

$$= \frac{1}{4n} \min_i \left[\sum_{j=1}^n |X_j - A_j^{\Delta,i}| + \sqrt{\sum_{j=1}^n (X_j - A_j^{\Delta,i})^2} + \sum_{j=1}^n |Y_j - A_j^{\Psi,i}| + \sqrt{\sum_{j=1}^n (Y_j - A_j^{\Psi,i})^2} \right] \quad (1)$$

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

Формирование векторного образа спектра может быть реализовано многими способами, например, компоненты вектора $\Xi \{A_1, \dots, A_9\}$ имеют следующий смысл:

- A_1 площадь под спектральной кривой.
- A_2 и A_3 максимальная и минимальная величина ординаты спектральной кривой соответственно;
- A_4 максимальное расстояние между абсциссами максимального и минимального значения ординаты спектральной кривой;
- A_5 и A_6 максимальное значение первой и второй производных спектральной кривой соответственно;
- A_7 число максимумов спектральной кривой;
- A_8 и A_9 значения ординат спектральной кривой при длинах волн $\lambda = \lambda^*$ и $\lambda = \lambda^{**}$, соответственно.

При обучении все вектора $\Xi \{A_1, \dots, A_n\}$, $\Xi_{\Delta}(A_1, \dots, A_n)$ и $\Xi_{\Psi}(A_1, \dots, A_n)$ накапливаются в РБД, чтобы потом из них могли формироваться кластеры или другие структуры, предусмотренные алгоритмами распознавания неизвестных образов $\Xi \{X_1, \dots, X_n\}$, $\Xi_{\Delta}(X_1, \dots, X_n)$ и $\Xi_{\Psi}(X_1, \dots, X_n)$. Среди этих алгоритмов в системе ЭСАИЖР реализованы:

- *Кластерный анализ.* Формирование кластеров при обучении зависит от типа исходных спектров. Кластеры формируются по показателю концентрации химического вещества в растворе.

• *Алгоритм оценки расстояния между спектрами с применением линейной интерполяции.* В этом случае находятся два спектра, минимально удаленных от испытуемого, и между их ординатами осуществляется линейная интерполяция, на основе средней характеристики которой рассчитывается концентрация химического вещества в растворе.

• *Алгоритм оценки расстояния в векторном пространстве.* В случае применения спектроэллипсометрических измерений рассчитывается среднее значение величины δ .

Диагностика многокомпонентных растворов требует применения более совершенных алгоритмов. Один такой алгоритм основан на предположении, что оптические характеристики многокомпонентного раствора, измеряемые спектроэллипсометром с фиксированным набором спектральных диапазонов с длинами волн λ_j ($j=1, \dots, n$), линейно зависят от концентрации химических элементов. Как результат, при i -м измерении на выходе каждого канала регистрируются величины Z_{ij} ($i=1, \dots, M$), где $Z_{ij}=T_j+\xi_{ij}$, T_j – реальное значение яркостной величины на канале λ_j , ξ_{ij} – шум за счет различных причин технического характера и помех из окружающей среды (имеющих дисперсионную характеристику σ_j^2). Предполагая, что формирование оптического спектра осуществляется линейно в зависимости от концентрации x_s s -го компонента раствора ($s=1, \dots, m$), как результат, после регистрации спектральных показателей на всех n каналах можно записать следующую переопределенную или недоопределенную систему линейных алгебраических уравнений:

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + \dots + a_{1m}x_m &= T_1 + \xi_1 \\ \dots & \dots \\ a_{n1}x_1 + \dots + a_{nm}x_m &= T_n + \xi_n \end{aligned}$$

где неизвестные коэффициенты a_{ij} определяются в процессе обучения ЭСАИЖР.

На рис. 12 и 13 приведены примеры спектров двух жидких растворов. В табл. 5-9 даны результаты решения задачи идентификации спектральных образов ряда жидких растворов.

Таблица 5

Векторные идентификаторы ряда жидких растворов

Жидкий раствор	Вектора идентификаторы для $\lambda^*=400$ нм и $\lambda^{**}=800$ нм										
CuSO ₄ (10%)	Ξ_{Δ}	21,6	0,17	0,1	143	0,67	0,12	2	0,16	0,21	
	Ξ_{Ψ}	43,1	0,89	0,04	201	0,59	0,09	3	0,65	0,01	
Formalin (5%)	Ξ_{Δ}	32,5	0,16	0,007	334	1,09	0,31	2	0,16	0,007	
	Ξ_{Ψ}	356,2	0,87	0,84	185	0,07	0,73	5	0,85	0,85	
ZnSO ₄ (1%)	Ξ_{Δ}	0,609	0,01	0,0002	196	0,13	0,08	4	0,004	0,0003	
	Ξ_{Ψ}	334,7	0,98	0,97	329	0,03	0,12	2	0,97	0,97	

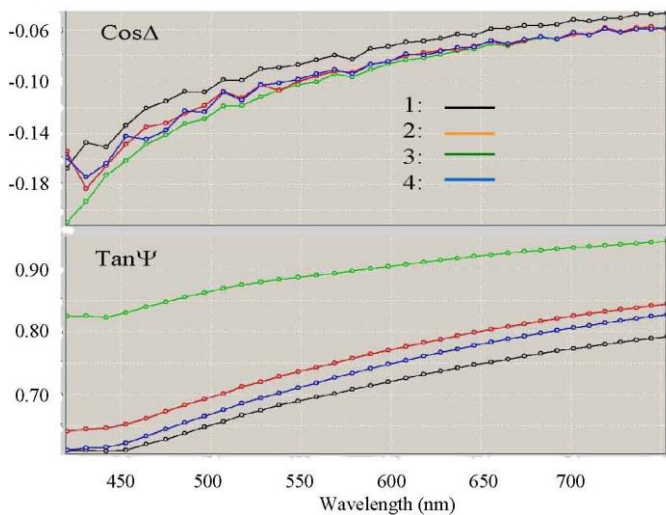


Рис. 12. Спектры различных концентраций водного раствора 5 доз *bifidumbacterium* в 50 мл (1), 100 мл (2), 150 мл (3) и 200 мл (4) воды.

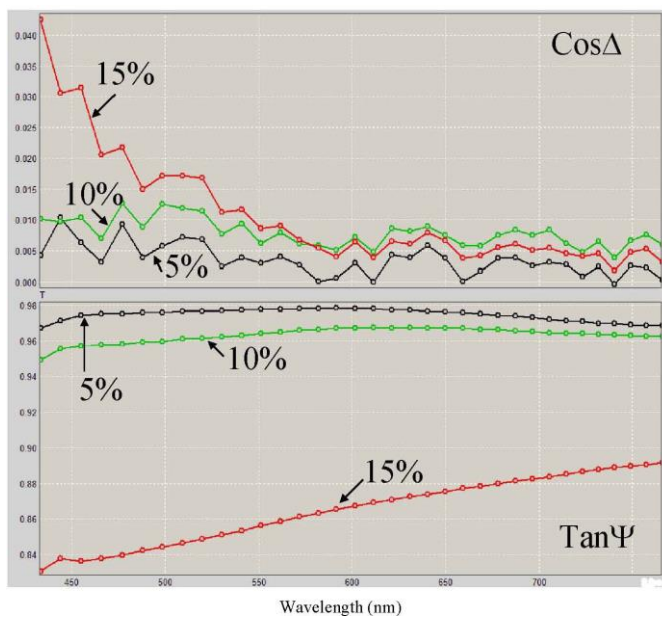


Рис. 13. Спектры раствора сульфата цинка ($ZnSO_4$) в воде. Концентрации раствора указаны на кривых.

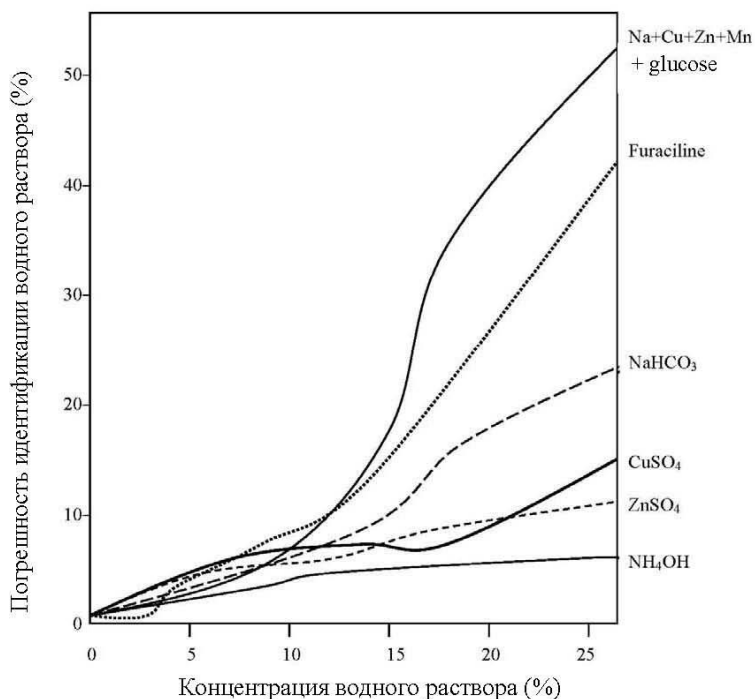


Рис. 14. Зависимость ошибки идентификации водного раствора от его концентрации.

Таблица 6

Сравнительная оценка алгоритмов идентификации спектральных образов водных растворов

Раствор малой концентрации	Алгоритм идентификации и его погрешность (%)		
	Кластерный анализ	Расхождение между спектрами	Расхождение между векторными эталонами по формуле (1)
CuSO ₄	15	12	8
NaCl	17	11	7
NaHCO ₃	16	10	5
NH ₄ OH	21	13	9
ZnSO ₄	22	12	8
Potassium + iodine	13	10	6
Na+Cu+Zn+Mn+glucose	18	9	9
Furaciline	23	11	5
Bifidumbacterium	14	10	4

Таблица 7

**Погрешности диагностики однокомпонентных водных растворов
с помощью МФАИМС**

Водный раствор	Версия МФАИМС и ее ошибка (%)			
	МФАИМС-128	МФАИМС-8	МФАИМС-35	МФАИМС-512
CuSO ₄	7,1	12,0	8,2	4,3
NaCl	6,5	9,1	7,3	2,7
CaCl ₂	4,4	6,7	5,3	1,9
AlCl ₃	4,6	6,8	6,1	1,8
NaHCO ₃	5,4	8,7	7,2	2,3
NH ₄ OH	5,3	7,9	6,6	2,1
ZnSO ₄	4,9	8,1	5,1	1,9
Furaciline	4,4	6,3	4,6	1,7
Bifidumbacterium	3,7	9,3	4,1	2,1
Potassium iodine	5,2	8,8	3,9	1,8
Nitrofurals	5,1	8,7	5,4	1,8
Al(NO ₃) ₃	4,5	8,6	5,5	1,9
MgF ₂	6,7	11,3	7,1	3,1
Na ₃ PO ₄	3,3	10,2	3,9	2,7
BaSO ₄	6,2	7,8	6,6	1,8
HgC ₂ O ₄	5,6	8,5	6,3	1,3
CaSO ₄	4,5	9,5	5,2	1,1
Propolis	3,8	4,9	5,0	0,9

Таблица 8

**Точность различных версий МФАИМС при диагностике
многокомпонентных растворов**

Водный раствор	Версия МФАИМС и ее погрешность (%)			
	МФАИМС-128	МФАИМС-8	МФАИМС-35	МФАИМС-512
HNO ₃ +C ₆ H ₅ OH+H ₂ S	12,9	14,1	14,2	8,9
Na+Cu+Zn+Mn+glucose	14,3	15,2	14,4	9,3
H ₂ S ₂ O ₃ +SCL ₂ +H ₂ SO ₄	13,1	14,9	13,8	7,6
P ₂ H ₄ +H ₃ PO ₂ +PCl ₃	14,4	15,5	12,9	8,3
P ₄ O ₁₀ +HNO ₃ +H ₃ PO ₄	12,6	13,7	13,1	7,7

Таблица 9

**Сравнительные результаты химических анализов и измерений
с применением МФАИМС качества воды в устье лагуны Ньюк Нгот во время
сухого сезона и в период отлива**

Химическая компонента	Лабораторный анализ, ppm	МФАИМС-8, ppm	Ошибка, %	МФАИМС-35, ppm	Ошибка, %
CaCO ₃	110,01	121,45	10,4	103,74	5,7
PO ₄ ⁻³	0,01	0,01,15	15,2	0,0108	8,1
HCO ₃ ⁻	134,23	121,08	9,8	140,4	4,6
SO ₄ ⁻²	1818,83	1675,14	7,9	1738,8	4,4
NH ₄ ⁺	0,009	0,0103	14,6	0,0097	7,8
Mg ⁺²	534,86	578,18	8,1	507,58	5,1
Ca ⁺²	190,38	172,87	9,2	199,71	4,9

Табл. 6 характеризует точность упомянутых выше трех алгоритмов идентификации спектральных образов ряда водных растворов. Видно, что наибольшей точностью обладает использование векторных представлений спектральных образов. Именно в этой форме заложены широкие возможности повышения точности идентификации спектральных образов. Здесь ясно, что точность идентификации напрямую зависит от количества заложенных в базу данных МФАИМС спектральных эталонов и концентрации раствора. Рис. 14 показывает зависимость точности идентификации раствора от его концентрации при одинаковом наполнении базы спектральных эталонов.

5. Заключение

Рассмотренная выше технология диагностики водной среды применялась при изучении качества водных ресурсов в некоторых регионах России и Южного Вьетнама [1,4]. 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 наземных условиях, несомненно, требует проведения ряда дополнительных исследований:

- определение жидких растворов, которые будут использованы на борту космического корабля и в дальнейшем на Марсе и для диагностики которых будет использована изложенная здесь технология;
- реализация процедур обучения распознаванию спектральных образов этих жидкостей в земных условиях путем формирования базы спектральных эталонов, обеспечивающей надежный уровень диагностики.
- 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;
- проведение испытаний одной из версий МФАИМС непосредственно в марсианских условиях при одном из подготовительных полетов.

Литература

1. *Потапов П.П., Крапивин В.Ф., Мкртчян Ф.А., Солдатов В.Ю.* Диагностика жидкостей в условиях космической экспедиции на Марс. // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, 2015. №10. С. 3-25.

2. Шутко А.М., Крапивин В.Ф. Оперативная диагностика, оценка масштабов и уменьшение последствий стрессовых природных процессов. София: Академическое издательство им. Проф. Марина Дринова.- 2011.- 287 с.
3. Aseyev G.G. Electrolytes: Methods for calculation of the physicochemical parameters of multicomponent system. -New York: Begell House, 2001. -368 pp.
4. Baker V.R. Water and Martian landscape. -Nature, 2001. -V.412. P. 228-236.
5. Baker V.R. Water cycling on Mars. - Nature, 2007. - V.446.- P. 150-151.
6. 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., Rodriguez J.A.P., de Pablo M.A., Karunatillake S. Recent geological and hydrological activity on Mars: the Tharsis/Elysium corridor. -Planetary and Space Science, 2008.- V.56.- P. 985–1013.
7. 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. - V.110.-. P. 1-9.
8. Kondratyev K.Ya., Krapivin V.F., and Phillips G.W. Global environmental change. -Chichester, U.K: Springer/Praxis, 2002.- 316 pp.
9. Krapivin V.F., Mkrtchyan F.A., Klimov V.V., and Soldatov V.Yu. Adaptive spectroellipsometric technology for aquatic environment diagnostics. Proceedings of the International Symposium Engineering Ecology-2013, VII, 3-5 December 2013, Moscow. Institute of Ecoinformatics, RANS, Moscow, 2013, 26-33.
10. Krapivin V.F., Mkrtchyan F.A., Kovalev V.I., and Klimov V.V. An adaptive system to identify the spots of pollutants on the water surface. Proceedings of the Eighth International Symposium “Ecoinformatics Problems”, 16-17 December 2008, Moscow. The Moscow Sciences Engineering A.S. Popov Society for Radio, Electronics and Communication, Moscow, 2008, pp. 35-46.
11. Krapivin V.F., Nitu C., Mkrtchyan F.A. Algorithms for the solution of spectroellipsometry inverse task. -The Scientific Bulletin of Electrical Engineering Faculty, 2014.- V.26.- No.2.- P. 21-26,
12. Krapivin V.F. and Shutko A.M. Information Technologies for Remote Monitoring of the Environment. -Chichester U.K.: Springer/Praxis, 2012.- 498 pp.
13. Krapivin V.F., Shutko A.M., and Nitu C. The GIMS-based research remote sensing platforms.- Bulletin AGIR (Bucharest, Romania), 2012.- V.XVII. – No.2.- P.1224-1228.
14. 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, 2014.- V.21.-No.2. – P.1-8.
15. Krapivin V.F., Varotsos C.A., Soldatov V.Yu. New Ecoinformatics Tools in Environmental Science: Applications and Decision-making. -London, U.K.: Springer, 2015. - 903 pp.
16. Mabaney W.C. and Dohm J. Life on Mars? Microbes in Mars-like Antarctic Environments. - Journal of Cosmology, 2010.- V.5. - P. 951-958.
17. Mkrtchyan F.A., Krapivin V.F., Klimov V.V., Kovalev V.I. Hardware-software system of the water environment monitoring with use of microwave radiometry and spectroellipsometry means. Proceedings of the 28-th International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice. 17-21 February 2013.Mombetsu, Hokkaido, Japan. The Okhotsk Sea & Cold Ocean Research Association, Mombetsu, Hokkaido, Japan, 2013, pp. 104-109.
18. Nitu C., Krapivin V.F., Soldatov V.Yu. Information-Modeling Technology for Environmental Investigations. Bucharest, Romania:Matrix Rom, 2013. - 621 pp.

19. *Nitu C., Krapivin V.F., Soldatov V.Yu., Anda Dobrescu.* A device to measure the geophysical and hydrophysical parameters. Proceedings of the 19th International Conference on Control Systems and Computer Science - CSCS19, 29-31 May 2013, Bucharest, Romania, pp. 281-284.

20. *Perov P.I., Kovalev V.I., Rukovishnikov A.I., Rossukanyi N.M., and Johnson W.H.* New high precision and high speed automatic ellipsometer with polarization switching for in situ control in semiconductor device technologies. -International Journal of Electronics, 1994. -V.76. – No.5.- P. 797 – 803.

21. *Schulze-Makuch D., Fairén A.G., and Davila A.F.* The case for life on Mars. International -Journal of Astrobiology, 2008. - No.7. - P. 117-141.

22. *Sun R., Wang Z.Z., Chen L., and Wang W.W.* Assessment of surface water quality at large watershed scale: land-use, anthropogenic, and administrative impacts. - JAWRA Journal of the American Water Resources Assessment, 2013. - V.49. – No.4.- P. 741-752.

References

1. *Potapov I.I., Krapivin V.F., Mkertchan F.A., Soldatov V.Yu.* Diagnostics of liquids under conditions of the Mars expedition // Problems of the Environment and Natural Resources, 2015. Nr. 10. P. 3-25.

2. *Shutko A.M., Krapivin V.F.* Operative diagnostics, estimation of the scale of damage and aftermath reduction of stressful natural processes. Sofia: Prof. Marina Drinov Academic Press, 2011. 287 pp.

3. *Aseyev G.G.* Electrolites: Methods for calculation of the physicochemical parameters of multicomponent system. -New York: Begell House, 2001. -368 pp.

4. *Baker V.R.* Water and Martian landscape. -Nature, 2001. –V.412. P. 228-236.

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

6. *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., Rodriguez J.A.P., de Pablo M.A., Karunatillake S.* Recent geological and hydrological activity on Mars: the Tharsis/Elysium corridor. -Planetary and Space Science, 2008.- V.56.- P. 985–1013.

7. *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. - V.110.-. P. 1-9.

8. *Kondratyev K.Ya., Krapivin V.F., and Phillips G.W.* Global environmental change. -Chichester, U.K: Springer/Praxis, 2002.- 316 pp.

9. *Krapivin V.F., Mkertchyan F.A., Klimov V.V., and Soldatov V.Yu.* Adaptive spectroellipsometric technology for aquatic environment diagnostics. Proceedings of the International Symposium Engineering Ecology-2013, VII, 3-5 December 2013, Moscow. Institute of Ecoinformatics, RANS, Moscow, 2013, 26-33.

10. *Krapivin V.F., Mkertchyan F.A., Kovalev V.I., and Klimov V.V.* An adaptive system to identify the spots of pollutants on the water surface. Proceedings of the Eighth International Symposium “Ecoinformatics Problems”, 16-17 December 2008, Moscow. The Moscow Sciences Engineering A.S. Popov Society for Radio, Electronics and Communication, Moscow, 2008, pp. 35-46.

11. *Krapivin V.F., Nitu C., Mkertchyan F.A.* Algorithms for the solution of spectroellipsometry inverse task. -The Scientific Bulletin of Electrical Engineering Faculty, 2014.- V.26.- No.2.- P. 21-26,

12. *Krapivin V.F. and Shutko A.M.* Information Technologies for Remote Monitoring of the Environment. -Chichester U.K.: Springer/Praxis, 2012.- 498 pp.

13. *Krapivin V.F., Shutko A.M., and Nitu C.* The GIMS-based research remote sensing platforms.- Bulletin AGIR (Bucharest, Romania), 2012.- V.XVII. – No.2.- P.1224-1228.
14. *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*, 2014.- V.21.-No.2. – P.1-8.
15. *Krapivin V.F., Varotsos C.A., Soldatov V.Yu.* New Ecoinformatics Tools in Environmental Science: Applications and Decision-making. -London, U.K.: Springer, 2015. - 903 pp.
16. *Mahaney W.C. and Dohm J.* Life on Mars? Microbes in Mars-like Antarctic Environments. - *Journal of Cosmology*, 2010.- V.5. - P. 951-958.
17. *Mkertchyan F.A., Krapivin V.F., Klimov V.V., Kovalev V.I.* Hardware-software system of the water environment monitoring with use of microwave radiometry and spectroellipsometry means. Proceedings of the 28-th International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice. 17-21 February 2013.Mombetsu, Hokkaido, Japan. The Okhotsk Sea & Cold Ocean Research Association, Mombetsu, Hokkaido, Japan, 2013, pp. 104-109.
18. *Nitu C., Krapivin V.F., Soldatov V.Yu.* Information-Modeling Technology for Environmental Investigations. Bucharest, Romania:Matrix Rom, 2013. - 621 pp.
19. *Nitu C., Krapivin V.F., Soldatov V.Yu., Anda Dobrescu.* A device to measure the geophysical and hydrophysical parameters. Proceedings of the 19th International Conference on Control Systems and Computer Science - CSCS19, 29-31 May 2013, Bucharest, Romania, pp. 281-284.
20. *Perov P.I., Kovalev V.I., Rukovichnikov A.I., Rossukanyi N.M., and Johnson W.H.* New high precision and high speed automatic ellipsometer with polarization switching for in situ control in semiconductor device technologies. -*International Journal of Electronics*, 1994. -V.76. – No.5.- P. 797 – 803.
21. *Schulze-Makuch D., Fairén A.G., and Davila A.F.* The case for life on Mars. *International Journal of Astrobiology*, 2008. - No.7. - P. 117-141.
22. *Sun R., Wang Z.Z., Chen L., and Wang W.W.* Assessment of surface water quality at large watershed scale: land-use, anthropogenic, and administrative impacts. - *JAWRA Journal of the American Water Resources Assessment*, 2013. - V.49. – No.4.- P. 741-752.