

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБЛАСТИ ОХРАНЫ ВОД

СЛИПЧЕНКО И.А.

Дан анализ совокупности информационных технологий, представляющих интерес для водоохранной деятельности. Показаны сложные взаимосвязи между возникающими водоохранными задачами и различными информационными технологиями, перспективные направления их развития.

Рассматривая круг задач, возникающих при реализации водоохранной деятельности, можно выделить следующие три группы:

- синтез структуры и параметров системы мониторинга, выполнение самого процесса слежения, анализ результатов мониторинга, включая экспертизу достоверности данных;

- расчет величин предельно-допустимых сбросов (ПДС) веществ и прогноз качества вод;

- разработка водоохранных комплексов промышленных объектов и крупных природно-технических систем, долгосрочных программ и перспективных планов их достижения, экспертиза проектов.

Значительная сложность этих задач, большие массивы информации и высокие требования к обоснованности решений требуют широкого применения математического моделирования и ЭВМ на всех этапах принятия решений — от обработки данных системы мониторинга до оптимизации долгосрочных программ охраны вод. Совокупность информационных технологий, представляющих ин-

терес для водоохранной деятельности, показана на рисунке.

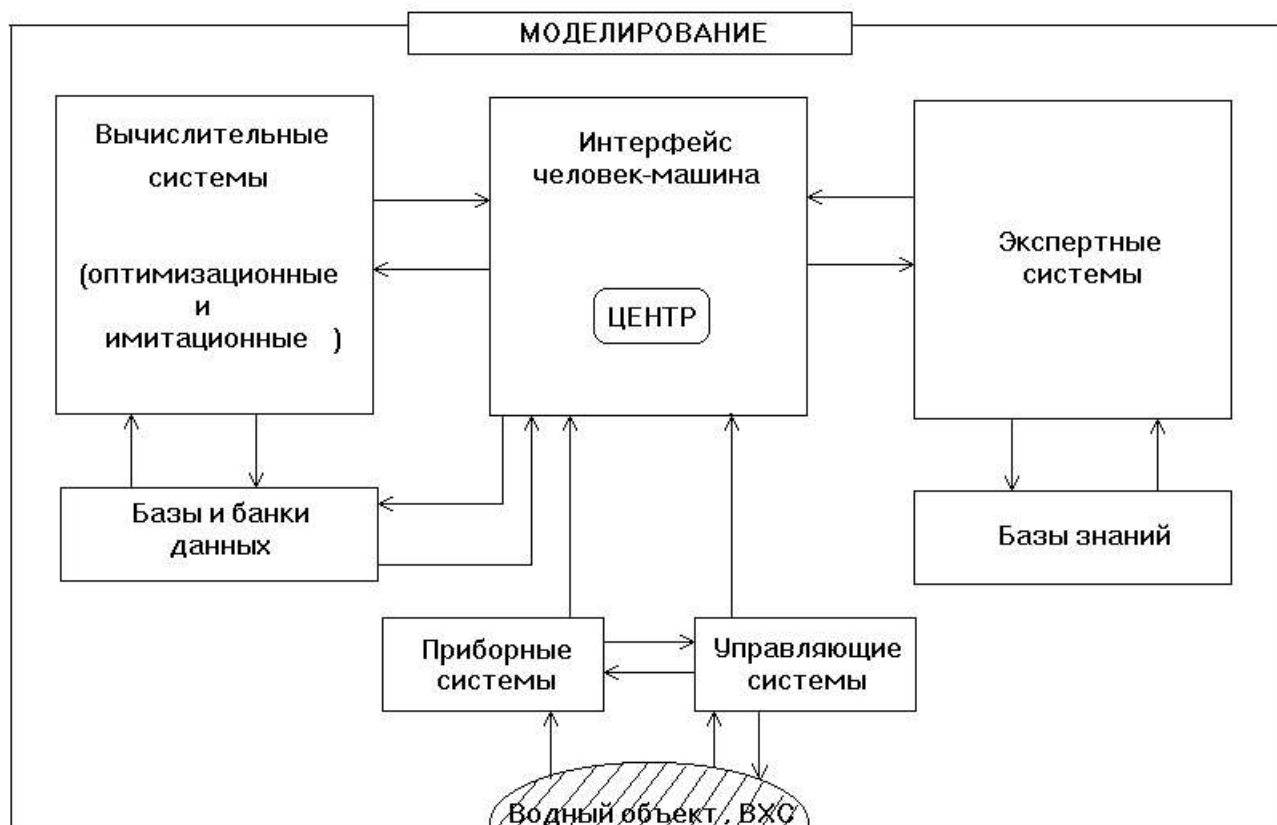
Центр представляет собой организацию, осуществляющую контроль за состоянием водного объекта. Это может быть как региональное отделение госэкоинспекции Украины, так и само предприятие-водопользователь, другие контролирующие органы.

Системы баз данных являются стержнем информационной системы центра, регистрирующей всю водоохранную деятельность в определенном порядке и при необходимости предоставляющей обработанную информацию.

Приборы и системы контроля качества вод могут быть также отнесены к классу информационных систем и в зависимости от характера получаемой информации бывают измерительными (каждый раз определяется, обрабатывается и передается потребителю текущее значение контролируемого показателя) и сигнальными (потребителю передается только сигнал о превышении контролируемым показателем заданного уровня).

Управляющие системы являются эффективным средством создания, развития и эксплуатации современных крупных водохозяйственных систем и водоохранных комплексов.

Вычислительные системы выполняют классические задачи манипулирования числами под управлением алгоритмов, которые при современном программном обеспечении обладают высокой степенью точности. Составной частью вычислительных систем являются модели. Необходимо отметить, что моделирование, как процесс, может быть выделено в самостоятельную информационную технологию, используемую в качестве вспомогательного средства для принятия решений.



Информационные технологии, используемые в области охраны вод

Две другие информационные технологии также больше относятся к вспомогательным средствам, используемым для принятия водоохранных решений. Базы знаний в подобных технологиях отличаются от баз данных тем, что содержат правила вывода, а не факты. Правила могут быть эвристическими по природе, генерирующими скорее правдоподобный совет, чем твердые факты.

Экспертные системы являются средством, которое позволяет приложить базу знаний к решению частной задачи, и находятся в том же отношении к базе знаний, как обычные вычисления к базе данных. Такие системы могут быть полезны на различных уровнях водоохранной деятельности, включая оценку информации, проектирование, диагностику аварийных ситуаций и др.

Источником первичной экологической информации является территориально-распределительная сеть специализированных пунктов контроля за состоянием водных объектов (режимом, качеством и использованием вод), а также предприятия-водопользователи [1]. В связи с недостаточной оснащённостью гидрохимических лабораторий аналитическими приборами большая часть анализов проводится традиционными лабораторными методами. До недавнего времени доля химических анализов, выполняемых с помощью автоматических приборов, составляла около 10% от общего числа [2]. Развитие микроэлектронных средств позволило создавать приборы автоматического контроля качества вод на основе встроенных микропроцессоров, совмещающих функции обработки и программного управления исполнительными механизмами [3]. Развитие приборных систем должно и дальше идти по пути уменьшения количества людей, определяющих состояние водного объекта, и увеличения достоверности получаемой информации. Современные технические средства для контроля состава природных и сточных вод приведены в [4].

Оперативный контроль загрязнения водного объекта возможен только в случае применения комплекса технических средств, обеспечивающих оперативное получение максимально достоверной информации. В условиях значительной протяженности водных объектов и высокой скорости распространения загрязнений этим требованиям в наибольшей степени удовлетворяют дистанционные средства контроля [5] и локальные автоматизированные системы контроля (ЛАСК), располагаемые в непосредственной близости к потенциальному источнику загрязнения [6].

Определённые прогрессивные результаты могут быть получены при внедрении в процесс контроля за состоянием водного объекта технологии искусственного интеллекта. Это возможно прежде всего при интерпретации данных, снятых с датчика, и применении её результатов для выполнения каких-либо действий, выдаче инструкций, штрафных санкций и т.д. Таким образом, основные проблемы в области приборных систем контроля качества вод могут быть разделены на два класса: проблемы, связанные с аппаратной реализацией, и проблемы, связанные с программным обеспечением.

С 1979 г. в Украине началось внедрение в водоохранную практику методов и средств автоматизированного управления водоохранными комплексами (АСУ ВК). На первом этапе создания АСУ ВК

решались исключительно водоохранные задачи на небольшом участке реки (АСУ ВК на р. Сев. Донец). Затем, после накопления определенного положительного опыта работы АСУ ВК стало возможным перейти к дальнейшему ее развитию путем охвата большей территории и включением в число решаемых задач не только водоохранных, но и водохозяйственных, поскольку управления водораспределением и качеством воды тесно связаны между собой [7]. Создание, развитие и эксплуатация современных крупных водохозяйственных систем (ВХС) порождают задачи их проектирования, оптимального планирования и управления режимами работы. Для решения этих задач стали создаваться автоматизированные системы получения, хранения и обработки водохозяйственной информации (АСУ ВХС). Примером такой системы является АСУБ — Днепр [8,9].

Получаемая в результате наблюдений за природными процессами информация обладает такими характеристиками, как стохастичность, неопределенность, зашумленность и т.д. Это, в свою очередь, предъявляет соответствующие требования к математическому программному обеспечению АСУ ВХС. В [8] дан обзор методов обработки данных и многокритериальной оптимизации для АСУ ВХС (для водохозяйственных расчетов), включая апробированные комплексы компьютерных программ. Основой АСУ ВХС бассейнов рек являются информационно-поисковые системы и пакеты прикладных программ для обработки данных системы мониторинга и решения задач планирования и управления. Для ускорения проектирования АСУ конкретной ВХС требуется набор достаточно универсальных и гибких типовых алгоритмов и программных комплексов, из которых можно было бы по блочному принципу конструировать математическое и программное обеспечение АСУ.

Комплексные водоохранные мероприятия, их планирование и реализация связаны со значительными капиталовложениями и трудозатратами, большим объемом прогнозных и вариантных расчетов, количественных обоснований и экспертиз, которые, как правило, выполняются с помощью математического моделирования. В [10] кратко описано состояние математического моделирования в практической деятельности по охране водных ресурсов стран Западной Европы и США, состав моделей, их характер и статус. У нас в стране, несмотря на значительное количество организаций и наличие специалистов, разрабатывающих и использующих не без успеха в своей деятельности математические модели, последние не реализованы в виде методической и программной продукции.

Применение математических методов и ЭВМ в решении природоохранных задач, несомненно, принесло пользу, вместе с тем, были выявлены некоторые существенные трудности, среди них:

- неудовлетворительное информационное обеспечение (неполнота, недостоверность, неточность информации, отображающей природный объект с его реалиями);
- качество моделирования (не всегда существует возможность создания адекватной модели).

Эти причины могут привести к неадекватному отображению материальной сферы (водного объекта или ВХС) информационной сферой и создать одну из самых серьезных проблем эффективности применения математических методов и ЭВМ. Одним из

актуальных направлений, позволяющих преодолеть некоторые трудности классического моделирования, является формализация неформальных экспертных процедур и учет неформальных факторов.

Задача моделирования экспертных приемов принятия решений в рассматриваемой области может быть решена с применением нечетких множеств, лингвистических переменных, сценариев, систем продукций, теории возможностей. Благодаря интенсивному развитию теории искусственного интеллекта, в последнее время широко распространилась новая методология моделирования и формализации задач (представление знаний), которая ориентирована на компьютерную обработку плохо формализуемых задач. В рамках этой методологии методу решения определенной вычислительной модели при традиционной обработке информации соответствует технология вывода (получения решения) для конкретного способа представления знаний. Таким образом, функция решения задачи осуществляется с помощью логических выводов, проводимых на основе знаний, хранящихся в базе знаний, и реализуется автономным механизмом логического вывода. В связи с этим будет справедливо еще раз подчеркнуть важность для дальнейшего развития информационных технологий в области охраны вод моделирования неформальных процедур принятия решений, как средства извлечения экспертных знаний для дальнейшей организации их в предметно-ориентированные базы знаний.

В большинстве случаев в основе принятия решений в области охраны вод лежит сочетание строгого научного подхода и эвристических приемов, выработанных многолетним опытом. Таким образом, становится очевидной необходимость развития интегрированного подхода к моделированию, основанного на сочетании вычислительных алгоритмов (модели оптимизации и др.) и логико-лингвистических процедур принятия решений, используемых для формализации неформальных методов принятия решений и устранения нечеткости информации.

Сложность задач принятия природоохранных решений определяет необходимость дальнейшего развития всех информационных технологий в области охраны вод и поиска новых технологий обработки информации [11, 12]. Учитывая это, ведутся работы по созданию и исследованию таких информационных систем как базы и банки данных, оптимизационные, имитационные, экспертные системы и системы, основанные на достижениях в области синтеза разнотипных технологий.

Развитие **первого направления** было связано с созданием в бывшем СССР Автоматизированной информационной системы Государственного водного кадастра (АИС ГВК), в рамках которой функционировали несколько самостоятельных подсистем, представляющих собой предметно-ориентированные информационно-поисковые системы со своими банками данных, например, АИС ГУИВ, АИС “Гидрохимия” и другие. Главные недостатки таких систем заключались не в их конструктивных особенностях, а в неточности и искаженном характере исходных данных, закладываемых в них. Одна из главных причин этого — несовершенство технической базы и организационной основы системы контроля сточных и качества поверхностных вод. Информация от таких

систем часто не может быть использована без существенной доработки экспертом, глубоко знающим особенности состава сточных вод различных предприятий и особенности качества природных вод.

**Второе направление** связано с созданием систем оптимизации водоохранных мероприятий. Как правило, ставится задача определения комплекса технических водоохранных мероприятий в бассейне реки (система очистки сточных вод, оборотные системы, новые технологии производства). Такой комплекс должен обеспечивать достижение нормы качества вод в заданных контрольных створах. Другая постановка задачи связана с определением водоохранный комплекса, обеспечивающего наилучшие приближения к заданным нормам качества вод либо заданным величинам предельно допустимых сбросов (ПДС) веществ при ограниченных ресурсах, выделяемых на развитие. В обоих случаях формируется задача математического программирования (линейного или нелинейного), решение которой и является основой для определения плана и программы развития водоохранный комплекса.

Следует отметить, что для решения задачи оптимизации необходима совокупность исходных данных, которые должны поступать из информационной системы, упомянутой выше, а также от других систем, содержащих, например, данные о технико-экономических характеристиках водоохранных мероприятий. Ясно, что неточность в таких исходных данных может свести на нет результаты решения оптимизационной задачи. И даже если это не так, то результат решения оптимизационной задачи, как правило, не может быть автоматически превращен в программу или план развития водоохранный комплекса, так как сама модель не учитывает множества плохо формализуемых факторов. В этом случае прибегают к помощи лица, принимающего решение, т.е. эксперта (или коллектива экспертов), который на основе своих знаний “доводит” результаты решений до конечного результата — плана программы.

Таким образом, на этапах подготовки исходной информации и интерпретации результатов оптимизационных расчетов необходимо обязательное звено, которое обладает знаниями в дополнение к информации, заложенной в базы данных, и на их основе может формулировать новые суждения об объекте.

Указанные выше недостатки информационных и оптимизационных (имитационных) систем пытаются в настоящее время преодолеть путем создания диалоговых систем с развитым интерфейсом. Такие системы получили название систем поддержки принятия решений (СППР).

Наряду с указанными двумя направлениями в последнее десятилетие формируется **третье направление**, в рамках которого создаются и развиваются экспертные системы. В них используются принципы искусственного интеллекта и воплощается идея прямого усвоения знаний человека-эксперта путем создания базы знаний и формально-логической системы вывода (результата).

В [13] описывается предварительная версия экспертной системы QualAid, разработанной с помощью индуктивного генератора правил RuleMaster. Система QualAid предназначена для взаимосогласованных рекомендаций при выборе аналитических методик и оценке необходимой точности измерений при анали-

зах, связанных с контролем окружающей среды. Демонстрационный модуль обеспечивает выработку решений, относящихся только к анализу летучих и полуплетучих соединений в воде. Это система традиционного типа, в которую заложены количественные и качественные знания о типе и объеме контроля и достоверности анализов различных используемых методик контроля загрязнений окружающей среды.

В [14] рассмотрены общие вопросы создания методики формализации экологической оценки состояния водных экосистем и качества воды, а также разработки автоматизированной информационно-экспертной системы для гидроэкологической оценки. Система оценивает антропогенную нагрузку на водный объект по следующим основным группам показателей: минерализация и ионный состав, гидрофизические, гидрохимические, гидробиологические, бактериологические показатели, биоиндикация сапробности. Экологическая классификация качества воды в водоеме проводится сначала отдельно по каждой из перечисленных групп показателей, а затем делается общий вывод о состоянии воды в водном объекте.

Экспертная система HYDRO помогает гидрологу использовать HSPF — программу имитационного моделирования физических процессов, посредством которых осадки распределяются по водосборной площади. Система помогает выразить характеристики водосборной площади в виде числовых параметров, используемых в HSPF. По архитектуре HYDRO похожа на PROSPECTOR. В ней для представления знаний использовано сочетание формализмов правил и семантических сетей, а механизм вывода основан на применении коэффициентов уверенности и распределении вероятностей, связанных с данными. Система реализована на языке Интерлисп, доведена до уровня исследовательского прототипа [15].

Несмотря на имеющиеся положительные результаты по созданию и внедрению экспертных систем в области охраны вод, нужно отметить, что эти работы носят, как правило, экспериментальный характер и их нельзя назвать соответствующими современным требованиям и положению в экологии. Более того, там, где требуется существенный объем вычислительной работы, например, при формировании водоохранных программ, экспертные системы могут играть лишь вспомогательную роль. В этом отношении для охраны вод весьма ценен опыт, накопленный при создании гибридных экспертных систем, обладающих способностью аккумулировать декларативные, процедурные и алгоритмические знания. Они являются тем средством, которое может предоставить достаточно широкие возможности интеллектуальной, расчетно-логической и информационно-справочной поддержки принятия водоохранных решений.

Сопоставляя работу информационных, оптимизационных и экспертных систем, ряд исследователей пришли к выводу, что для получения адекватной автоматизированной поддержки водоохранных решений необходимо создание систем, сочетающих в себе гибридные экспертные системы со средствами вычислительного моделирования, базами данных, средствами связи и, если это необходимо, инструментальными средствами. Очевидно, что их усовершенствование возможно при непосредственной эксплуатации, анализе и пополнении баз знаний.

**Выводы.** В работе показаны сложные взаимосвязи между организацией водоохранной деятельности и раз-

личными информационными технологиями. Отмеченные перспективные направления развития последних определяются их спецификой, современным состоянием и предъявляемыми требованиями. Вместе с тем, необходимо подчеркнуть актуальность применения технологии искусственного интеллекта для развития всех информационных технологий в охране вод в классе задач, связанных с программной поддержкой приборных и управляющих систем, баз и банков данных.

Системы поддержки водоохранных решений представляют особые проблемы для технологии искусственного интеллекта, поскольку водохозяйственная система характеризуется довольно сложной структурой с наличием природной компоненты и нуждается в информационных системах, сочетающих средства экспертных систем и технику моделирования. Однако соответствующие информационные технологии и знания находятся сегодня на такой стадии развития, когда могут быть определены теоретические основы такого синтеза и созданы практические системы.

**Литература:** 1. *Единая система экологического мониторинга:* Сов. экологическая инициатива. М., 1989. 10 с. 2. *Мусакин А.П., Рачинский Ю.Ф., Суглобова К.Д.* Оборудование химических лабораторий: Справочник. Л.: Химия, 1978. 300 с. 3. *Аппаратура и методы физико-химических измерений:* Сборник статей. К.: ВНИИАП, 1984. С. 99-104. 4. *Технические средства* для контроля состава природных и сточных вод: Каталог. 1-я ред. М., 1987. 220 с. 5. *Донец В.М., Иванов Н.И.* Дистанционные комплексы оперативного контроля в системе управления охраной вод // Основы управления охраной вод. Харьков: ВНИИВО, 1990. С. 139-144. 6. *Донец В.М.* Особенности построения локальных автоматизированных систем контроля в водоохроне // Основы управления охраной вод. Харьков: ВНИИВО, 1990. С. 134-138. 7. *Лозанский В.Р., Мухомад В.И.* Развитие системы управления водоохранным комплексом на Сев. Донце // Водоохранные комплексы речных бассейнов. Харьков: ВНИИВО, 1985. С. 26-32. 8. *Справочник по водным ресурсам* / Под ред. Б.И. Стрельца. К.: Урожай, 1987. 176 с. 9. *Бончковский Н.Ф., Тулупчук Ю.М., Хилук Л.Ф.* Автоматизированная система управления бассейном Днепра // Управление водохозяйственными системами. Минск: ЦНИИКИВР, 1981. С. 8-17. 10. *Львов В.А., Уберман В.И.* Организация и средства математического моделирования в охране вод: зарубежный опыт // Комплексные водоохранные мероприятия. Харьков: ВНИИВО, 1991. С. 25-36. 11. *Жолнарский А.А., Литвинов Е.Н.* Решение задачи экологического мониторинга окружающей среды с позиций новой информационной технологии // Докл. АН УССР. 1991. №7. С. 169-172. 12. *Сухоруков Г.А., Слипченко И.А., Алесинский А.И.* Основы новой технологии принятия природоохранных решений // Математическое моделирование в проблемах рационального природопользования. Тез. докл. Ростов-на-Дону: РГУ, 1989. С. 82-83. 13. *Искусственный интеллект: применение в химии* / Под ред. Т. Пирса. М.: Мир, 1988. 430с. 14. *Лаврик В.И., Никифорович Н.А.* Методические основы разработки информационно-экспертной системы для автоматизированной оценки состояния водных экосистем. К.: (Препр., АН Украины, Ин-т гидробиологии). 1993. 37с. 15. *Уотермен Д.* Руководство по экспертным системам. М.: Мир, 1989. 388с.

Поступила в редколлегию 14.05.98

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Терзиян В.Я.

**Слипченко Ирина Александровна**, научный сотрудник кафедры ПО ЭВМ ХТУРЭ. Научные интересы: применение технологии искусственного интеллекта в системах принятия водоохранных решений. Адрес: 310726, Украина, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 40-93-00.