

Глава 9. Информационное обеспечение технологии экологического контроля пресных вод России и сопредельных стран

Создание компьютерных информационно-аналитических систем становится насущной потребностью современной экологической науки. Формирование банков экологических данных, их статистическая обработка, построение прогностических моделей для последствий различных воздействий на экосистемы невозможно без высокоэффективного программного обеспечения. Примером подобной технологии может служить радиоэкологическая информационно-прогностическая система «ЭКОРАД» (Мамихин, 2000), разработанная в рамках информационного обеспечения исследований последствий аварии на Чернобыльской АЭС, и интегрирующая информационные текстовые и графические материалы, базы радиоэкологических данных и банк моделей поведения радионуклидов в растительности и почве наземных экосистем.

При биотической индикации состояния экосистем, экологической диагностике и нормировании факторов среды приходится иметь дело с многолетними и многомерными массивами биологических и физико-химических данных, включающих десятки тысяч наблюдений за несколькими десятками показателей. Для того чтобы упорядочить и систематизировать исходные данные, эффективно ими управлять, проводить необходимые расчеты (как для всего массива в целом, так и для отдельных выборок), необходимы современные компьютерные методы хранения и обработки подобной информации.

Начиная с середины 1970-х гг. в бывшем СССР, а затем и в России функционирует сеть наблюдений Госкомгидромета (Роскомгидромета), где по единым методикам для десятков водных бассейнов, сотен водных объектов и тысяч створов в течение десятилетий собираются количественные данные о сотнях видов водных орга-

низмов, принадлежащих ко всем основным группам гидробионтов, о нескольких десятках абиотических показателей (концентрации загрязняющих веществ, БПК₅, ХПК, содержание растворенного кислорода, рН, температура и расходы воды). Перенос с бумажных носителей, объединение и систематизация перечисленных данных в электронной информационной системе (ИС) "Экология пресных вод России и сопредельных стран" стало первым шагом на пути создания экспертно-аналитической компьютерной системы, предназначенной для осуществления полноэтапного регионального экологического контроля пресноводных объектов на всей территории бывшего СССР.

9.1. Структура информационной системы

ИС включает в себя набор баз данных, систему управления данными, инструкции пользователю, картографические материалы по гидрографическим районам бывшего СССР с указанием створов отбора проб, информацию о методиках отбора проб и о методах получения оценок качества пресных вод, информацию о программах химического, токсикологического, гидрологического и биологического мониторинга в речных бассейнах, об индивидуальных сапробностях гидробионтов (Булгаков, 2001а, 2002б; Булгаков и др., 2002).

Базы данных разбиты на три основных блока:

- 1) Физико-химические характеристики водной среды (гидрохимические показатели, концентрации загрязняющих веществ, гидрологические параметры).
- 2) Качество пресных вод по гидробиологическим показателям.
- 3) Первичные гидробиологические данные.

Все три указанные группы включают в себя обязательный набор полей — гидрографический район, бассейн, подбассейн, водный объект (река, озеро, водохранилище, канал), координаты створа, створ, год отбора пробы, месяц отбора пробы, день отбора пробы, время отбора пробы.

Физико-химическая информация (Ежегодники качества поверхностных вод..., 1984-1991; Ежегодные данные..., 1990; Ежеквартальные бюллетени..., 1975-1983) обобщает сведения, относящиеся к 9 гидрографическим районам России (Балтийский, Баренцевский, Азовский, Черноморский, Каспийский, Восточно-Сибирский, Карский,

Тихоокеанский, Среднеазиатский), к 17 бассейнам (реки Северная Двина, Неман, Днепр, Днестр, Дунай, Волга, Дон, реки Приазовья, Урал, Терек, Кубань, Енисей, Амур, Уссури, Лена, реки Приморья, Сырдарья), к 350 водным объектам и к 670 створам наблюдения за 1976-1992 гг. База физико-химических данных содержит более 16000 записей (наблюдений) и имеет поля, перечисленные в табл. 9.1

Таблица 9.1. Поля физико-химической базы данных

Категория переменных	Названия полей
1) Гидрологические характеристики	Скорость течения, расход воды, уровень воды, прозрачность
2) Гидрохимические показатели	Содержание растворенного кислорода, БПК ₅ , ХПК, рН, окисляемость, жесткость воды, сумма ионов, минерализация
3) Концентрации загрязняющих веществ	Азот аммонийный, азот нитратный, азот нитритный, азот органический, алюминий, ванадий, взвешенные вещества, висмут, гексахлоран, α-гексахлорциклогексан, γ-гексахлорциклогексан, ДДД, ДДТ, ДДЭ, железо, кадмий, калий, кальций, карбофос, кобальт, кремний, ксантогенаты, лигнин, лигносульфонат, линдан, магний, марганец, медь, метанол, метафос, метилмеркаптан, молибден, мочеви́на, мышьяк, натрий, нефтепродукты, никель, НСО, олово, пестициды, роданиды, ртуть, свинец, серебро, сероводород, синтетические поверхностно-активные вещества, смолистые вещества, сульфаты, титан, углеводороды, фенолы, формальдегид, фосфамид, фосфор минеральный, фосфор общий, фосфор органический, фтор, фториды, хлориды, хлорофос, хром, цианиды, цинк

База данных о качестве пресных вод включает сведения по 9 перечисленным выше гидрографическим районам России за 1978—1996 гг. (около 17000 записей по 100 бассейнам и подбассейнам, 800 водным объектам и 3500 створам наблюдений) в следующих полях:

индекс сапробности для фитопланктона,
индекс сапробности для зоопланктона,
индекс сапробности для перифитона,
микробиологический индекс для бактериопланктона,
олигохетный индекс для зообентоса,
биотический индекс для зообентоса,
класс качества вод для фитопланктона,
класс качества вод для зоопланктона,
класс качества вод для перифитона,
класс качества вод для бактериопланктона,
класс качества вод для зообентоса.

База первичных гидробиологических данных (Ежегодники состояния..., 1981-1991) делится на подбазы данных по фитопланктону, зоопланктону, бактериопланктону, перифитону, зообентосу, макрофитам для Азовского (1978—1987, 1991 и 1994 гг.), Каспийского (1976, 1979—1982, 1988—1989, 1992 и 1995 гг.) и Карского (1995 и 1996 гг.) гидрографических районов России, что составляет около 65000 записей, относящихся к 1273 видам гидробионтов из 10 бассейнов и подбассейнов, 46 водных объектов и 250 створов наблюдения. Информация распределена по полям, представленным в табл. 9.2.

Таблица 9.2. Поля гидробиологической базы данных

Категория переменных	Названия полей
1) Место и дата	Гидрографический район Бассейн Подбассейн Водный объект Створ Год Месяц Число Время суток
2) Экологические группировки гидробионтов	Экологическая группировка организмов
3) Условия отбора проб	Вертикаль, доля ширины реки от левого берега Глубина, м

	<p>Температура воды, градусы Цельсия (для фитопланктона и зоопланктона)</p> <p>Характер субстрата (для перифитона)</p> <p>Тип грунта (для зообентоса)</p> <p>Тип растительности (для зообентоса)</p> <p>Прозрачность воды (для фитопланктона)</p>
4) Таксономическая принадлежность для фитопланктона	<p>Отдел</p> <p>Род</p> <p>Вид</p>
5) Таксономическая принадлежность для зоопланктона	<p>Систематическая группа организмов (отряд, семейство)</p> <p>Род</p> <p>Вид</p>
6) Таксономическая принадлежность для перифитона	<p>Род</p> <p>Вид</p>
7) таксономическая принадлежность для зообентоса	<p>Систематическая группа организмов (тип, класс)</p> <p>Род</p> <p>Вид</p>
8) Количественные показатели для сообщества фитопланктона	<p>Число видов</p> <p>Численность, 10^3 кл/мл</p> <p>Биомасса, мг/л</p>
9) Количественные показатели для отделов фитопланктона	<p>Число видов</p> <p>Численность, 10^3 кл/мл</p> <p>Биомасса, мг/л</p>
10) Количественные показатели для видов фитопланктона	<p>Численность, %</p> <p>Частота встречаемости, баллы</p> <p>Линейные размеры, мкм</p> <p>Объем, мкм³</p>
11) Количественные показатели для сообщества зоопланктона	<p>Число видов</p> <p>Численность, тыс. экз/м³</p> <p>Биомасса, мг/м³</p>
12) Количественные показатели отрядов/семейств зоопланктона	<p>Число видов</p> <p>Численность, тыс. экз/м³</p> <p>Биомасса, мг/м³</p>
13) Количественные показатели видов зоопланк-	<p>Возрастная стадия</p>

тона	Относительная численность, % Индивидуальный вес, мг/тыс. экз
14) Количественные показатели для сообщества бактериопланктона донных отложений	Численность сапрофитов, млн. клеток/мл Нефтеокисляющие бактерии (титр)
15) Количественные показатели для сообщества бактериопланктона поверхностных вод	Общее количество бактерий, млн. кл./мл Численность сапрофитных бактерий, млн. кл./мл Отношение общего количества бактерий к количеству сапрофитных бактерий Время удвоения сапрофитных бактерий, час Время удвоения бактерий в целом, час Количество спорозоносных бактерий, млн. кл./мл Нефтеокисляющие бактерии (титр)
16) Количественные показатели сообщества перифитона	Число видов Частота встречаемости, баллы Индивидуальная сапробность
17) Количественные показатели полного сообщества зообентоса на грунте	Число видов Численность, экз./м ² Биомасса, г/м ²
18) Количественные показатели полного сообщества зообентоса на растительности	Число видов
19) Количественные показатели типов/классов зообентоса на грунте	Число видов Численность, экз./м ² Биомасса, г/м ²
20) Количественные показатели типов/классов зообентоса на растительности	Число видов
21) Количественные показатели видов зообентоса на грунте	Относительная численность, %

9.2. Программная реализация информационной системы

Информационная система реализована в двух формах:

1) Программа Eсograde, разработанная для работы в приложении Microsoft Access 97. Эта программа позволяет работать с информационными картографическими материалами, со списками водных объектов, измеряемых переменных, таксонов

гидробионтов; позволяет вводить и редактировать данные, вести их обработку. Для программы Ecograde созданы разделы "Описание информационной системы" (разделы: "Общая информация", "Об индексах и классах качества вод", "О методиках получения гидробиологических данных", "Справочник индивидуальных сапробностей видов фитопланктона, зоопланктона и зообентоса", "Краткое описание возможностей Access") и "Инструкции пользователю" (разделы: "Просмотр", "Поиск", "Ввод и редактирование", "Выборка", "Сортировка", "Резервирование, сжатие и восстановление").

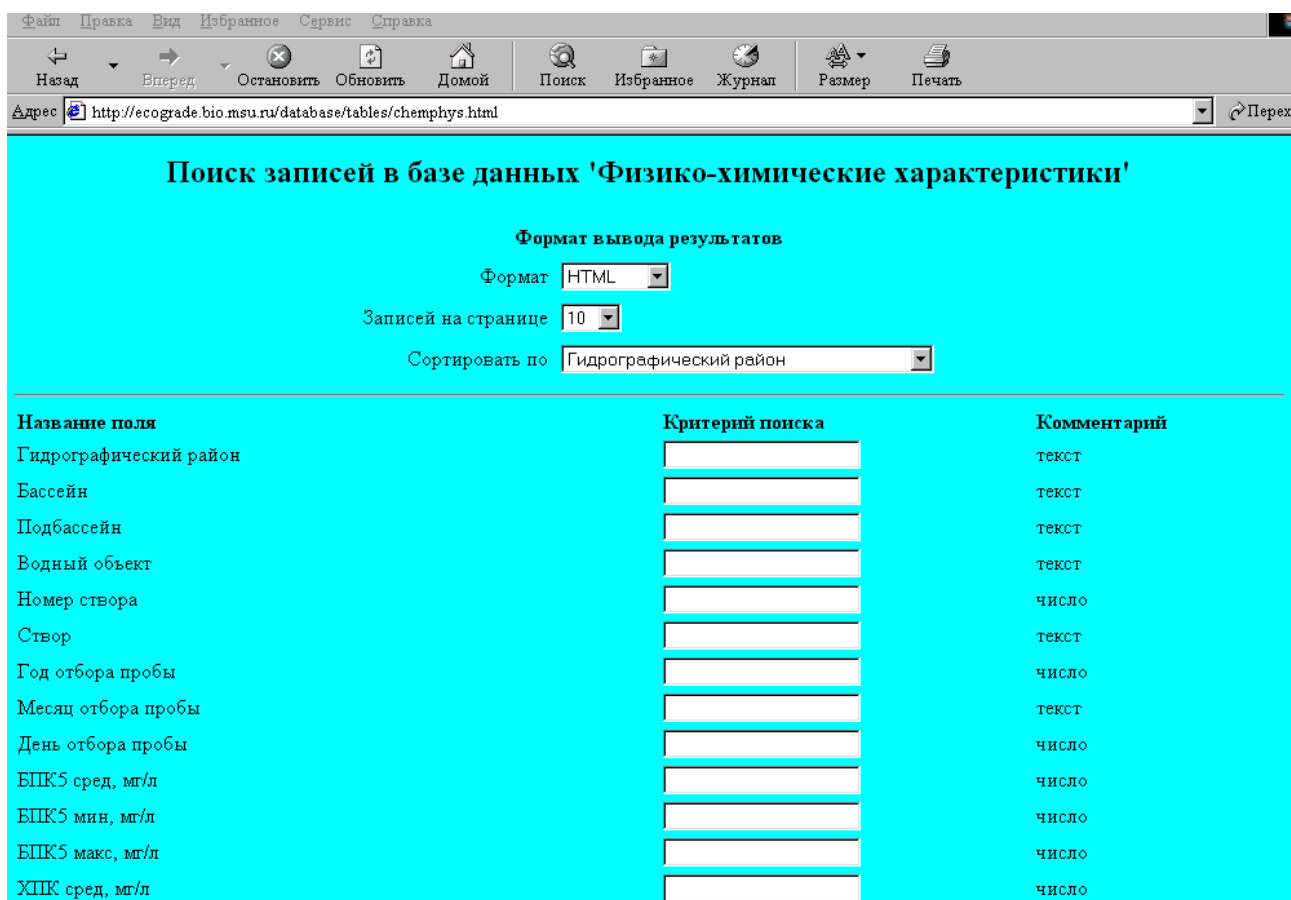


Рисунок 9.1. Интерфейс поисковой системы для генерирования запросов к базам данных информационной системы

2) Прямой доступ через сеть Internet с использованием MySQL-сервера (сетевые адреса: <http://ecograde.bio.msu.ru>, <http://ecograde.belozersky.msu.ru>). В сетевой версии представлены все перечисленные выше картографические и справочные материалы, разделы "Описания информационной системы". Для запросов к базе используется удобный пользовательский интерфейс — для любой базы данных предлагается список включенных в нее полей (рис. 9.1). Указав в окошке напротив текстовых полей

искомое слово или его часть, а напротив числовых полей — искомые диапазоны значений, пользователь получает требуемую выборку записей. Отбор при этом идет по всем помеченным полям одновременно. Например, можно сделать выборку наблюдений в Азовском гидрографическом районе за все годы, притом что биомасса сине-зеленых водорослей была выше 1 мг/л. Поисковая система находит 106 записей, удовлетворяющих данному запросу. Для физико-химической базы данных возможен, например, такой запрос: отобрать наблюдения в бассейне р. Волги за все годы, где значение рН было не меньше 7 и не больше 8, а содержание кислорода было менее 7 мг/л. Соответствующее число записей равно 244.

9.3. Использование информационной системы для задач экологического контроля природной среды

Создаваемая информационная система рассматривается как часть будущей экспертно-аналитической системы (ЭС), позволяющей проводить биоиндикацию экологического состояния, диагностику и нормирование нарушающих экологическое благополучие воздействий, а также поиск путей восстановления нарушенных экосистем для включенных в базы данных водных объектов. Алгоритмы планируемой ЭС основаны на оценке экологического состояния по показателям сапробности вод, по параметрам ранговых распределений и т.д. и дальнейшем исследовании сопряженностей между полученными оценками и уровнями абиотических факторов посредством детерминационного анализа. ЭС позволит рассчитывать ЭДУ значимых факторов окружающей среды для любой отобранной пользователем выборки наблюдений, где одновременно присутствуют биологические и физико-химические данные. Наблюдения внутри выборки могут группироваться по географическому (река, бассейн, гидрографический район), временному или любому другому выбранному признаку.