

УДК 574.472:581.55

ЭЛЕКТРОННЫЕ БАЗЫ ФИТОИНДИКАЦИОННЫХ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ И ВЕДЕНИЯ КАДАСТРОВ БИОРАЗНООБРАЗИЯ

Т.В. Рогова, В.Е. Прохоров, Г.А. Шайхутдинова, Б.Р. Шагиев

Аннотация

Статья посвящена анализу возможностей применения компьютерных баз данных в изучении и охране биоразнообразия. Описана структура разработанной для целей мониторинга регионального фиторазнообразия информационной системы «Флора». Обсуждается опыт применения разработанной информационной системы для решения теоретических и практических задач изучения флоры, растительности, распределения видов и разработки научно-организационных основ ведения регионального кадастра фиторазнообразия.

Ключевые слова: базы данных, биоразнообразие, ГИС, флора, растительность, моделирование.

Введение

Современные концепции устойчивого развития и оптимизации природопользования предполагают мониторинг, детальный учет и накопление информации о биологических ресурсах. Сбор информации по факторам, связанным с трансформацией, сохранением и восстановлением биологического разнообразия, как флористического, так и фитоценотического, целесообразно, ввиду большого объема информации, вести в рамках геоинформационных систем (ГИС). Изучение закономерностей пространственной структуры популяционного, видового и ценотического разнообразия природных комплексов регионального уровня требует применения современных методов исследования, включая и электронное картографирование. Такой подход дает возможность осуществлять точную координатную привязку геоботанических описаний и местонахождений отдельных видов, обеспечивает проведение картографического анализа зависимости биохорологического разнообразия от тех или иных факторов, на основе фактических локальных данных дает возможность создавать информационные модели, в том числе и прогнозные. В соответствии с тенденциями мировой практики актуальными становятся задачи разработки методических подходов территориального компьютерного анализа состояния и динамики фиторазнообразия и природных комплексов в целом, разработки структуры электронных баз фитоиндикационных данных и алгоритмов ведения региональных кадастров биологического разнообразия.

1. Компьютерные базы данных в изучении биологического разнообразия

Компьютерные базы данных могут быть использованы практически на всех этапах исследования биологического разнообразия – от определения видов на этапе инвентаризации до построения прогнозных моделей на этапе разработки практических рекомендаций оптимизации природопользования.

На начальном этапе накопления данных возникают задачи по идентификации видов, организации хранения и учета первичных материалов – коллекционных (гербарных) сборов и геоботанических описаний. Компьютерные *идентификационные* системы имеют существенные преимущества – в отличие от «бумажных» определителей они, как правило, являются многоходовыми (начинать определение возможно с любого признака) и политомическими (каждый признак включает три и более состояния, в отличие от традиционных дихотомических ключей), что значительно ускоряет процесс определения и делает возможным использование фрагментов идентифицируемых объектов. Недостатком же таких систем является большая трудоемкость их создания и, как следствие, отсутствие в настоящее время достаточно полных определителей по крупным таксономическим группам. В последнее время наиболее перспективным является создание определителей и ключей на базе мощного и доступного пакета «Lysandra» [1]. Кроме того, в настоящее время активно развивается открытый проект «Плантариум» (<http://www.plantarium.ru>), обеспечивающий онлайн определение растений непрофессионалами и имеющий большую коллекцию фотоизображений.

Использование информационных систем в ведении гербарных коллекций следует признать уже не столько желательным, сколько необходимым. Их применение обеспечивает не только быстрый поиск и обработку необходимой информации, но и сохранность коллекции. Многие крупные гербарии сейчас обеспечивают свободный доступ к своим данным через Интернет, включая просмотр отсканированных типовых образцов.

Наиболее известной *фитоценотической* базой данных признана система «Turboveg» [2], широко используемая как за рубежом, так и в России, и позволяющая автоматизировать выполнение ряда задач, в первую очередь классификацию растительности. Из отечественных разработок следует отметить систему А.А. Зверева «IBIS» [3], отличающуюся продуманной структурой и широкими возможностями обработки данных.

На этапе инвентаризации биологического разнообразия (и флоры в частности) важнейшее значение имеют *таксономические* и *номенклатурные* базы данных, которые в настоящее время хорошо развиты. Наиболее известными номенклатурными базами данных, доступными в Интернете, являются БД IPNI (International Plant Name Index, <http://www.ipni.org>), совместный продукт Королевского ботанического сада Кью (Великобритания), гербария Гарвардского университета (США) и Австралийского национального гербария (Австралия), содержащая номенклатурные комбинации таксонов различного ранга, авторов таксонов и публикации, и TROPICOS (<http://www.tropicos.org>), разработанная Ботаническим садом Миссури и содержащая более миллиона названий растений и около 3.5 млн. гербарных образцов. Кроме того, существуют проекты

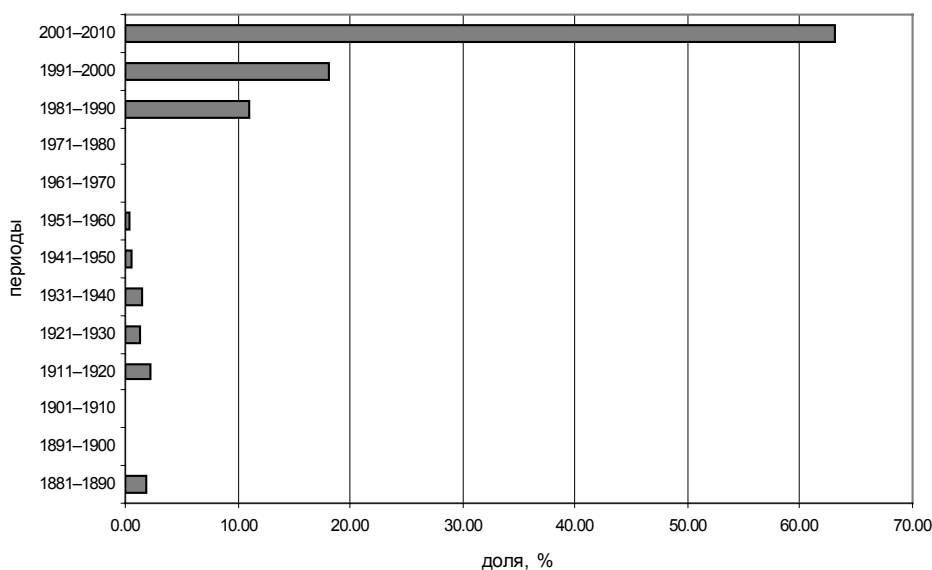


Рис. 1. Распределение геоботанических описаний по периодам времени

по инвентаризации биоразнообразия в глобальном масштабе, наибольшую известность из которых имеют Species2000 (<http://www.sp2000.org>) [4] и GBIF (Global Biodiversity Information Facility, <http://www.gbif.org>) [5], являющиеся, по сути, метакаталогами, хранящими данные о крупных таксономических БД и ссылки на них.

2. Основные характеристики информационной системы «Флора»

Информационную систему «Флора», созданную на кафедре общей экологии Казанского государственного университета, отличает интеграция с региональной ГИС, что делает возможным проведение пространственного анализа и моделирования [6, 7]. Автоматизированная информационная система «Флора» представляет собой систему баз данных, содержащих информацию о видовом составе растительного покрова и эколого-ландшафтную характеристику той или иной территории, а также различную справочную информацию о видах.

Система функционирует под управлением СУБД FoxPro 2.5 расширенной версии, картографический блок, осуществляющий географическую привязку информации о распространении растений, поддерживается в среде MapInfo 6.0.

В качестве источников информации используются данные натурных наблюдений (авторские описания растительного покрова и авторские сообщения о находках видов), геоботанические описания, опубликованные в литературе, гербарные сборы, а также сведения об отдельных флористических находках, опубликованные в литературе. В настоящее время в базе данных содержатся сведения о более чем 200 000 местонахождений видов растений на территории Республики Татарстан (РТ) за период с 1883 по 2009 гг. Распределение количества геоботанических описаний по временным периодам представлено на рис. 1.

Информационная система «Флора» состоит из четырех крупных разделов, иерархические отношения которых представлены на рис. 2.

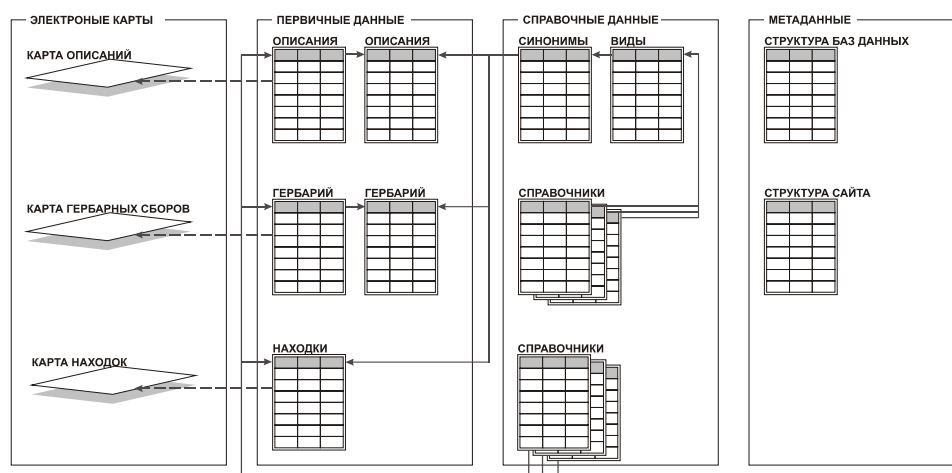


Рис. 2. Структура баз данных ИС «Флора»

Первичные данные. В разделе хранится оригинальная информация о местонахождениях видов сосудистых растений на территории РТ. Она расположена в трех блоках: описания, гербарий и находки. В каждом блоке содержится определенный набор общей информации: описание местоположения (в том числе и неформализуемое), тип растительной формации, ландшафтная характеристика местонахождения (природный район и топологический элемент ландшафта), тип источника информации, автор первоначальной информации, дата сбора информации, степень достоверности определения вида (достоверно, сомнительно, с точностью до рода).

Блок описаний выполнен в виде двух таблиц. В первой содержится информация о местоположении, источнике, авторе и дате описания, а также характеристики местообитания. Во второй – информация о содержании описания: список видов, положение вида в сообществе (ярус и обилие) и степень точности определения.

Блок гербария функционально также состоит из двух взаимосвязанных таблиц. Первичные данные находятся в основной таблице. Здесь содержится только информация о местообитании, имя коллектора и дата сбора. В этой таблице фиксируется количество дуплетов и количество листов в экземпляре, оригинальный (авторский) код образца, а также ссылка на флористическое описание, если экземпляр цитируется в описании. Таким образом, в ней не содержится название вида, так как гербарный экземпляр может переопределяться другими авторами при полном сохранении авторского текста этикетки. Для хранения определений служит дополнительная таблица, куда заносятся код вида, к которому отнесли данный экземпляр, примечания, фамилия автора и дата определения. Таким образом, реализован механизм, позволяющий хранить множественные определения одного гербарного образца.

В блоке находок содержатся сведения об отдельных находках видов, опубликованные в литературе либо полученные из других источников, включая устное сообщение, и не подтвержденные гербарным образцом. К информативным сведениям отнесены: название вида, имя автора и дата, описание местонахождения и его характеристики, ссылка на источник информации.

Справочные данные. Справочник видов включает более 2000 таксонов (видов, подвидов и гибридогенных таксонов), выявленных на исследуемой территории в ходе последней инвентаризации флоры [8]; названия видов даны согласно сводке С.К. Черепанова [9]. Справочник содержит информацию по эколого-ценотическим группам видов, типам их ареалов и жизненных форм, категориям охраняемости по Красной книге РТ и Красной книге России, которая описана с помощью дескрипторов. Дескрипторы расшифровываются соответствующими таблицами.

Система поддерживает синонимику видовых названий, что реализовано с помощью справочной базы синонимов. Это также позволяет сохранить оригинальный авторский текст описаний и гербарных этикеток, что является важным.

В базе формализованы типы растительных формаций и топологические элементы ландшафта, определяемые из авторских материалов. Информация о принадлежности к тому или иному природному району заносится с соответствующего слоя электронной карты. В описаниях и находках фиксируется источник информации – авторские данные / публикация. В последнем случае хранится ссылка на литературный источник.

Электронные карты. Каждый блок первичных данных связан со слоем электронной карты, содержащей точечные объекты. Все места описаний, гербарных сборов и флористических находок наносятся на электронную карту масштаба 1:200 000 в виде трех соответствующих слоев. При этом указывается точность привязки, так как полнота данных о местоположении бывает различной. Это необходимо для анализа и построения карт на различном пространственном уровне. Принята пятибалльная оценка точности привязки: 1 – уровень района (административного/ландшафтного); 2 – уровень населенного пункта, когда указан (например, на гербарной этикетке) населенный пункт и точка привязывается к ближайшему к нему подходящему местообитанию; 3 – уровень квартала лесничества; 4 – «точная», в том случае, если имеется подробное описание местоположения точки или же сам автор привязывает ее, ориентируясь по рельефу, гидросети, растительному покрову и другим свойствам местности; 5 – «GPS», при автоматической привязке точки по координатам систем геопозиционирования (спутниковой навигации). Привязка осуществлена в проекции Гаусса-Крюгера (Пулково, 1942 – 9 зона).

Метаданные. Этот раздел содержит описание таблиц, полей, их типов и значений и служит для хранения информации о структуре информационной системы. К метаданным относится и база, хранящая структуру генерируемого системой сайта на языке HTML. Всего в систему входит 19 связанных таблиц, включая слои электронной карты.

Наполнение первичной базы данных «Флора» ведется с 1998 г., и она с успехом используется для выполнения самого широкого круга задач, начиная с анализа флоры территориальных единиц регионального и локального уровней масштабной иерархии и заканчивая моделированием потенциальных местообитаний видов, классификацией растительности, включая и разработку основ ведения регионального кадастра фиторазнообразия.

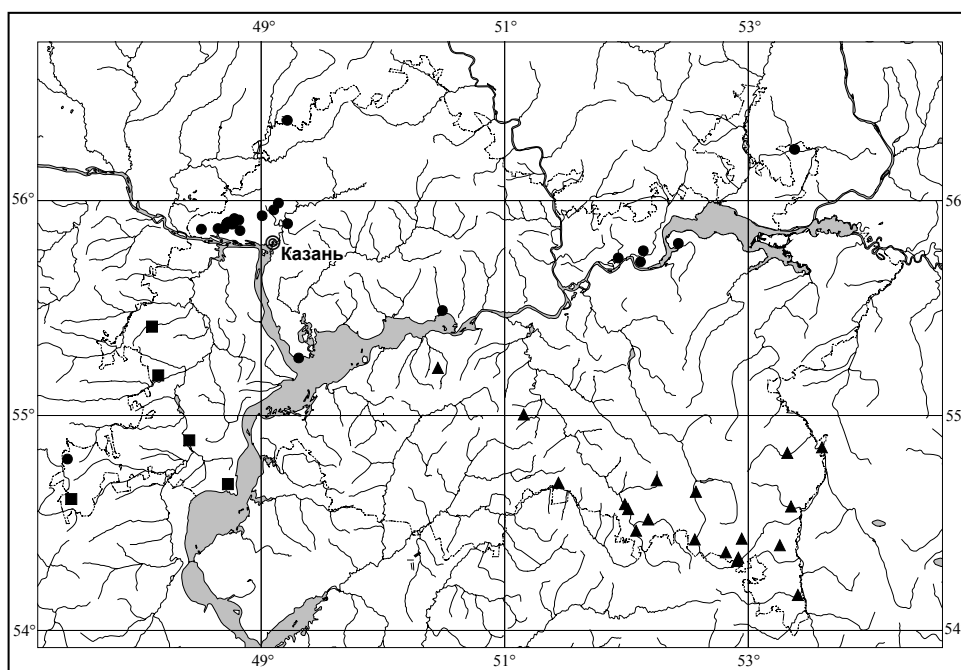


Рис. 3. Карта распространения видов растений: ● – *Lycopodium clavatum*, ▲ – *Hedysarum grandiflorum*, ■ – *Fraxinus excelsior*

3. Решение теоретических и практических задач изучения фиторазнообразия с использованием системы «Флора»

Региональный анализ и хорология флоры. Выявление связей между флорами различных ландшафтов традиционно проводится методами сравнительной флористики. Средствами информационной системы «Флора» в автоматическом режиме можно легко осуществлять флористический анализ выбранных данных, включающий в себя анализ систематической структуры, экологический анализ, биоморфологический анализ, ареалогический анализ и анализ по группам охраняемости; расчет встречаемости видов в определенной выборке; расчет коэффициентов сходства; анализ хорологии определенного вида; построение карт распространения вида (рис. 3); составление аннотированного списка видов для определенной выборки и др.

Для территории Татарстана при помощи средств информационной системы был проведен сравнительный анализ флор 23 ландшафтных районов республики. Полученные значения коэффициента Чекановского оказались очень высокими, что говорит о сильной антропогенной конвергенции флор ландшафтов республики. Для выявления природных закономерностей распространения видов растений из списков были исключены виды, встречающиеся по всей исследуемой территории (716 видов, что составляет около 79% флоры Татарстана, большая часть этих видов принадлежит к рудеральным и луговым). По полученным результатам был проведен кластерный анализ флор (был применен метод Уорда), показавший природно-ландшафтные связи между изученными флорами (рис. 4).

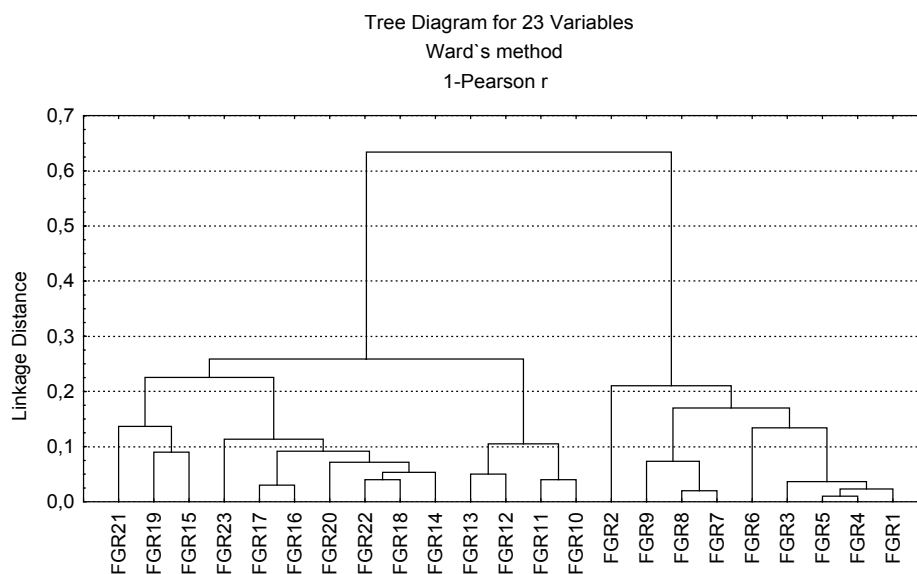


Рис. 4. Дендрограмма сходства флор природных районов РТ

Помимо решения задач сравнительной флористики результаты флористического анализа широко применяются в практике индикационных оценок состояния природно-территориальных комплексов и при проведении региональных оценок воздействия на окружающую среду (ОВОС) с использованием фитоиндикационных шкал, расчетов спектров жизненных форм, биоморф, эколого-ценотических групп и т. п.

Региональные экологические шкалы. Для разработки экологических шкал, позволяющих строить представления о реализованной нише каждого вида и фундаментальной нише в границах рассматриваемого территориального выдела, необходим большой спектр флористических данных, охватывающих различные типы местообитаний. Система «Флора», включающая большое количество описаний растительности, отвечает этим требованиям и с успехом применяется для разработки региональных экологических шкал. К примеру, с использованием подходов, разработанных Б. Зольоми [10] и впервые примененных М. Диекман [11], проведена калибровка и адаптация индикаторных значений Элленберга под климатические условия Татарстана. Основой метода является подсчет взвешенного среднего для всех площадок в наборе данных (описаний в базе данных) и дальнейшее определение экологической реакции вида путем подсчета постоянства вида на площадках с различными взвешенными средними [12]. Возможно также применение более сложного метода, предложенного М.О. Хиллом и др. [13], для калибровки и оценки индикаторных значений с помощью алгоритма, включающего в себя применение двухфакторного взвешенного среднего и локальной регрессии.

Вероятностное моделирование и прогнозы пространственного распределения биоразнообразия. Вероятностные модели, формализующие современные экологические представления о пуле видов – *species pool* [14, 15], позволяют

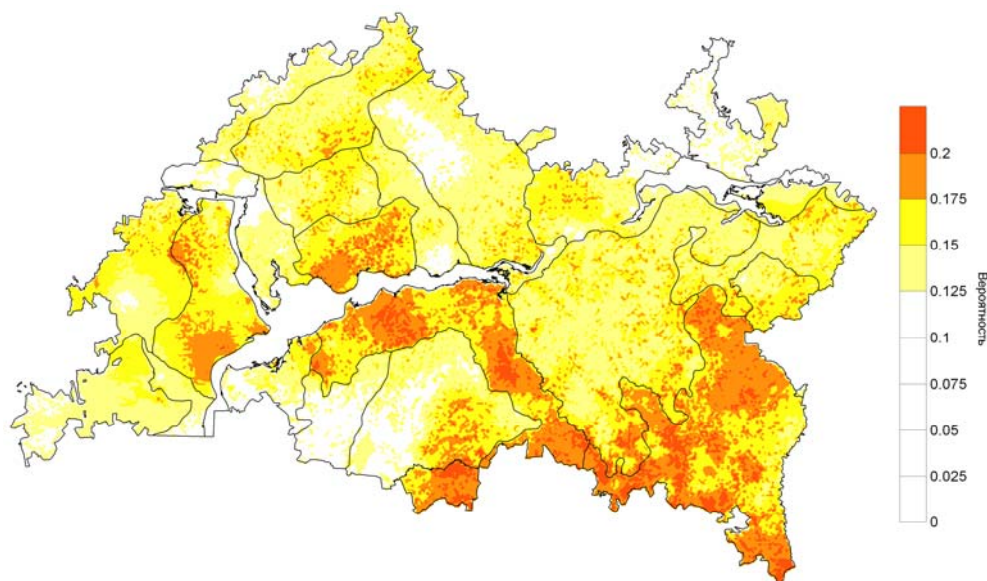


Рис. 5. Карта-гипотеза потенциальных местообитаний *Stipa pennata* на территории РТ, построенная с учетом эколого-ландшафтных особенностей распространения вида

количественно соотносить присутствие и сочетание видов с экологическими факторами среды [16]. Реально наблюдаемое в конкретном местообитании флористическое разнообразие должно быть дополнено видами, отмечаемыми на смежных территориях в схожих экологических условиях. Таким образом, любое конкретное описание, зафиксированное в БД, представляет собой актуальный пул видов и может рассматриваться как выборка из генеральной совокупности всех возможных сочетаний видов локального пула [17, 18], распределение вероятностей которых определено сочетанием экологических факторов. Источниками информации о факторах среды (предикторах пространственного распределения биоразнообразия) могут быть информационные слои ГИС, характеризующие как прямые, так и не прямые градиенты факторов. Значения факторов среды для местообитания также могут быть оценены на основе списка присутствующих в данном экотопе видов путем косвенных расчетов, основанных на использовании экологических шкал. В таком случае предиктором присутствия одних видов становится набор других видов.

Использование вероятностных списков видов («статистических суррогатов», отражающих состав локального пула видов) позволяет аппроксимировать континуальное распределение биоразнообразия и проводить моделирование потенциальных местообитаний видов или их совокупностей (сообществ) на разных уровнях иерархии фитогеографических единиц [19–22].

Практический интерес представляет моделирование потенциальных местообитаний редких и охраняемых видов растений на региональном уровне. На рис. 5 представлен один из результатов моделирования потенциальных местообитаний 500 редких видов с учетом их экологической, ландшафтной и фитоценотической приуроченности. Для построения модели использовались экологические шкалы Цыганова, слои ландшафтной и фитоценотической электронных карт.

Ведение региональных кадастров биоразнообразия. Системы непрерывного мониторинга состояния природных объектов подразумевают регистрацию наблюдений, кадастровый учет качественных и количественных показателей свойств объекта, инвентаризационные и прогнозные оценки его состояния с возможностью дальнейшего управления состоянием. Поддержание и непрерывное наполнение электронных баз данных – основа разработки и ведения кадастров. Координатно привязанные первичные данные геоботанических описаний и флористических находок, справочные базы разработанной информационной системы «Флора» составляют основу регионального кадастра фиторазнообразия Татарстана и позволяют оперативно получать информацию для принятия управленческих решений в ходе реализации тех или иных территориальных проектов. Актуальными являются как региональные кадастры, так и кадастры редких и охраняемых видов растений и животных заповедных территорий.

Совместимость данных системы с тематическими картами из состава региональной ГИС не только расширяет возможности анализа и кадастровых оценок флоры и растительности, но и позволяет использовать имеющийся комплекс первичных и пространственных данных для решения таких практически значимых задач, как классификация растительности и разработка геоботанических карт. При этом имеющиеся в базе данные в равной степени успешно могут быть использованы для целей классификации на основе как флористического подхода [23], так и доминантно-детерминантного подхода [24, 25]. Каталоги и иерархические отношения таксонов обеих классификаций, возможность регистрации результатов хорологических исследований в виде карт регионального и топологического масштаба являются одной из важных составляющих не только ведения регионального кадастра фиторазнообразия, но и возможности включения данных в системные базы биоразнообразия территорий более высокого ранга.

Заключение

Современные компьютерные технологии накопления и хранения данных позволяют аккумулировать сведения о биологическом разнообразии природно-территориальных комплексов различной размерности в информационных базах и успешно применять их для решения теоретических и практических задач. Разработанная информационная система «Флора», совместимая с базами данных региональной ГИС, обеспечивает координатную привязку данных и позволяет выполнять пространственно-экологический анализ состояния и динамики фиторазнообразия по составу флоры и растительности. Непрерывный мониторинг, ведение кадастра регионального фиторазнообразия и использование фитоиндикационных признаков являются надежным инструментом оценки изменения экологического состояния природно-территориальных комплексов и средством для создания прогнозных моделей распространения видов растений и их комплексов в эколого-географическом пространстве. В качестве ближайших перспектив можно рассматривать также перевод информационной системы на современную платформу с использованием веб-технологий, внесение в БД всех образцов гербария Казанского университета (KAZ), содержащего около 100 000 листов, и размещение информационной системы «Флора» на сервере Казанского университета.

Работа выполнена при финансовой поддержке Казанского государственного университета (ДЗН № 09-48).

Summary

T.V. Rogova, V.E. Prokhorov, G.A. Shaykhtudinova, B.R. Shagiev. Electronic Phytoindicative Databases Application in Environmental Assessment Systems and Maintenance of Phytodiversity Cadastre.

This article presents an applicability analysis of computer databases in biodiversity conservation and research. A structural description is presented for the information system «FLORA» that was designed for regional phytoindication monitoring objectives. The article discusses the experience of information system application for theoretical and practical tasks of flora, vegetation and species distribution investigations and development of scientific tenets and management principles of regional phytodiversity cadastre maintenance.

Key words: data bases, biodiversity, GIS, flora, vegetation, modelling.

Литература

1. *Довгайло К.Е.* Опыт создания каталогов-определителей на базе пакета программ «Lysandra» // Информационные системы по биоразнообразию видов и экосистем. – СПб.: ЗИН РАН, 2003. – С. 51–52.
2. *Hennekens S.M., Schaminee J.H.J.* Turboveg, a comprehensive database management system for vegetation data // J. Veg. Sci. – 2001. – V. 12, No 2. – P. 589–591.
3. *Зверев А.А.* Программно-информационное обеспечение исследований растительного покрова: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Томск, 2007. – 24 с.
4. *Бисби Ф.А., Росков Ю.Р.* Европейский проект «Species 2000 Еурога» и каталог видов Земного шара // Информационные системы по биоразнообразию видов и экосистем. – СПб.: ЗИН РАН, 2003. – С. 84–85.
5. *Lane M.A.* Building a biodiversity information infrastructure to serve science, society and a sustainable future // Информационные системы по биоразнообразию видов и экосистем. – СПб.: ЗИН РАН, 2003. – С. 3–4.
6. *Рогова Т.В., Прохоров В.Е., Яцык М.В.* Флористическая база данных в геоинформационных системах многоцелевого значения // Компьютерные базы данных в ботанических исследованиях. – СПб.: БИН РАН, 1997. – С. 85.
7. *Рогова Т.В., Прохоров В.Е., Мухарамова С.С.* Формирование и ведение кадастра флористического разнообразия в составе региональной ГИС // Информационно-поисковые системы в зоологии и ботанике. – СПб.: ЗИН РАН, 1999. – С. 92–93.
8. *Бакин О.В., Рогова Т.В., Ситников А.П.* Сосудистые растения Татарстана. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2000. – 496 с.
9. *Czerepanov S.K.* Vascular plants of Russia and adjacent states (the former USSR). – Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1995. – 516 p.
10. *Zolyomi B.* Indirekte Methode zur Feststellung des ökologischen Optimums und der ökologischen Amplitude von Pflanzenarten // Flora. – 1989. – V. 183. – P. 349–357.
11. *Diekmann M.* Use and improvement of Ellenberg's indicator values in deciduous forests of the Boreo-nemoral zone in Sweden // Ecology. – 1995. – No 18. – P. 178–189.
12. *Diekmann M.* Species indicator values as an important tool in applied plant ecology – a review // Basic Appl. Ecol. – 2003. – No 4. – P. 493–506.
13. *Hill M.O., Roy D.B., Mountford J.O., Bunce R.G.H.* Extending Ellenberg's indicator values to a new area: an algorithmic approach // J. Appl. Ecol. – 2000. – No 37. – P. 3–15.

14. *Abbott I.* Species richness, turnover and equilibrium in insular floras near Perth, Western Australia // *Austr. J. Ecol.* – 1977. – No 1. – P. 275–280.
15. *Abbott I., Black R.* Changes in species composition of floras on islets near Perth, Western Australia // *J. Biogeogr.* – 1980. – No 7. – P. 399–410.
16. *Рогова Т.В., Савельев А.А., Шайхутдинова Г.А.* Методологические основы пространственно-экологического анализа и моделирования биоразнообразия // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2008. – Т. 150, кн. 4. – С. 167–191.
17. *Van der Maarel E.* Biodiversity: from Babel to biosphere management. – Uppsala: Opubus Press, 1997. – 60 p.
18. *Ewald J.* A probabilistic approach to estimating species pools from large compositional matrices // *J. Veg. Sci.* – 2002. – V. 13, No 2. – P. 191–198.
19. *Савельев А.А.* Моделирование пространственной структуры растительного покрова (геоинформационный подход). – Казань: Казан. гос. ун-т, 2004. – 244 с.
20. *Рогова Т.В., Савельев А.А., Мухарамова С.С.* Вероятностная модель формирования флористического состава растительного покрова // *Бот. журн.* – 2005. – Т. 90, №3. – С. 450–460.
21. *Рогова Т.В., Савельев А.А., Прохоров В.Е.* Построение пространственной модели потенциальных местообитаний редких и охраняемых видов регионального разнообразия // Университетская география: Материалы юбилейной науч. конф., посв. 250-летию МГУ. – М.: Географ. фак., 2005. – С. 209–213.
22. *Rogova T.V., Chizhikova N.A., Lyubina O.E., Saveliev A.A., Mukharamova S.S., Zuur A.F., Ieno E.N., Smith G.M.* Spatial modelling of forest community features in the Volzhsko-Kamsky reserve // *Zuur A.F., Ieno E.N., Smith G.M. Analysing ecological data.* – Springer-Verlag, 2007. – P. 633–648.
23. *Любина О.Е., Рогова Т.В.* Оценка биоразнообразия растительного покрова Раифского участка ВКГПБЗ с позиций концепции пула видов // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2008. – Т. 150, кн. 3. – С. 203–218.
24. *Рогова Т.В., Шайхутдинова Г.А.* Картографирование растительного покрова Республики Татарстан на ландшафтно-экологической основе // *Вестн. Татарст. отд-ния Рос. эколог. акад.* – Казань: Экоцентр, 2002. – № 3–4 (13–14). – С. 11–23.
25. *Рогова Т.В., Шайхутдинова Г.А.* Растительность [Карта] / Атлас Республики Татарстан. – М.: ПКО «Картография», 2005. – С. 102–105.

Поступила в редакцию
22.12.09

Рогова Татьяна Владимировна – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой общей экологии Казанского государственного университета.

E-mail: Tatiana.Rogova@ksu.ru

Прохоров Вадим Евгеньевич – кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры общей экологии Казанского государственного университета.

E-mail: vadim.prokhorov@gmail.com

Шайхутдинова Галия Адхатовна – кандидат биологических наук, доцент кафедры общей экологии Казанского государственного университета.

E-mail: shga@ksu.ru

Шагиев Булат Ринатович – аспирант кафедры общей экологии Казанского государственного университета.

E-mail: bulat_shagiev@mail.ru