Зверев Андрей Анатольевич

ПРОГРАММНО–ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА

03.00.05 - ботаника

АВТОРЕФЕРАТ диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук

Работа выполнена на кафедре ботаники Томского государственного университета.

Научный руководитель: доктор биологических наук, профессор

Ревушкин Александр Сергеевич

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, профессор

Пименов Михаил Георгиевич доктор биологических наук, с.н.с. Тимошок Елена Евгеньевна

Ведущая организация: Центральный Сибирский ботанический

сад СО РАН

Защита состоится 20 апреля 2007 года в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.267.09 при Томском государственном университете по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36. Факс: (3822) 529853, 529601

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Томского государственного университета.

Автореферат разослан 16 марта 2007 года.

Ученый секретарь диссертационного совета, доктор биологических наук

Maripusa

В.П. Середина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Распространение персональных компьютеров приобщило к использованию информационных методов широкие ряды ботаников, не имеющих специальной прикладной математической или программистской подготовки. Именно эта категория исследователей нуждается в интенсификации своих исследований, в едином информационном "пространстве", которое позволяет интегрировать разноформатные данные для обобщающих совместных и сравнительных работ, широкого привлечения статистических компьютерных программ для их обработки.

Возникла насущная потребность в специализированном интегрированном программном обеспечении, которое позволило бы пользователям-ботаникам самостоятельно применять компьютерные методы обработки своих материалов, комбинируя различные готовые программы для достижения желаемых результатов.

Несмотря на наличие достаточно большого количества зарубежных и отечественных продуктов на данный момент отсутствует интегрированный программный пакет, который в полной мере удовлетворяет потребности специалистов—флористов и геоботаников в обработке данных.

Настоящая работа посвящена рассмотрению воплощения технологий обработки флористических и геоботанических данных от стадии сбора исходного материала, его формализации и ввода в компьютер до получения интерпретируемого ботанического результата.

Цель и задачи исследования. Цель работы - на базе традиционных методик исследований в областях флористики и геоботаники разработать архитектуру интегрированной компьютерной программы для организации и обработки данных по растительному покрову, а также апробировать компьютерные варианты методов обработки данных на различном по типологии ботаническом материале. Для выполнения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- провести обзор существующих программных продуктов, позволяющих проводить обработку флористических и геоботанических данных, оценить их функциональные возможности;
- дать формализованное описание логики и методики флористических и геоботанических исследований как основы для разработки авторских компьютерных программ;
- выполнить разработку данных программ, описать их структурные компоненты, технологию функционирования и возможности по обмену данными с другими программами;
- апробировать программы на различных данных (флористических и геоботанических) и провести анализ полученных результатов.

Положения, выносимые на защиту:

1. Разработанная с учетом специфики компьютерной обработки интегрированная структура данных для комплексной характеристики растительного покрова способствует лучшему описанию фактов и моделированию процессов в ботанической предметной области.

- 2. Реализованная информационная система для комплексной обработки ботанических данных позволяет ботаникам без специальной подготовки многократно интенсифицировать исследовательский процесс, упрощает использование вычислительно сложных технологий и позволяет полнее использовать современный инструментарий обработки данных.
- Предложенные новые методы анализа данных (сопряженный анализ типологических, систематических структур и кластерных классификаций, флорогенетический анализ с привлечением логического моделирования филогенеза. использование взвенниваемых пользовательских типологических и градиентных фактор-множеств) расширяют возможности по выявлению связей, зависимостей закономерностей между описываемыми ботаническими объектами и их характеристиками. способствуя получению более содержательных выводов.

Теоретическое и практическое значение работы. Традиционные и новые методики обработки ботанических данных в компьютерном варианте расширяют представления о возможностях интерпретации и установления закономерностей в растительном мире, а также многократно повышают производительность научного труда исследователей-ботаников.

Программное обеспечение для поддержки ботанических исследований, разработанное автором, установлено более чем в 20 организациях ботанического профиля и было использовано при подготовке 8 докторских и 20 кандидатских диссертаций по ботаническим специальностям. Авторские программы послужили основой для создания фитоценотеки описаний пойменной растительности объемом 1950 описаний, использованной для разработки многоаспектной доминантнодетерминантной эколого-морфологической классификаций растительных сообществ (Прокопьев, 2001).

При участии автора создан и поддерживается ряд баз ботанических данных, в том числе сеть долговременного мониторинга биоразнообразия на уровне локальных флор для Азиатской Арктики (БИН РАН, Санкт-Петербург), базы биоразноорбазия болотных экосистем Томской области и эндемичных растений Алтайской горной страны в рамках международных проектов фонда "Darwin Initiative" (Великобритания).

Полученные материалы были использованы в разработке лекционных курсов "Информационные технологии в естественных науках" и "Методы компьютерной обработки ботанических данных" (программа магистерской подготовки, Томский государственный университет).

Материалы и методы. Работа выполнена на базе кафедры ботаники Томского государственного университета. В 1987–2005 гг. автор принимал участие в научных экспедициях кафедры ботаники, Гербария им. П.Н. Крылова ТГУ и лаборатории биогеоценологии НИИ биологии и биофизики при ТГУ на территории Томской, Новосибирской и Кемеровской областей, Алтайского края, Республики Алтай, а также Монголии и Казахстана. Часть собранных ботанических материалов была использована в иллюстративных целях в данной работе.

Обработка материала осуществлялась самостоятельно, программные средства, описанные в работе, разработаны непосредственно автором. Методики

основываются применении авторского программного продукта на (интегрированной ботанической информационной системы) в качестве базового инструмента привлечением других оригинальных программ: IRIX (фитоидикационный анализ), BIOSTAT (сравнительно-флористический анализ), SYNAP (флорогенетический анализ). Дополнительно для обработки данных использовались следующие программные средства: ДЛЯ подготовки трансформации наборов данных - MS Excel, QEdit Advanced (The Semware..., 1995), dBASE Viewer & Editor (Царенко, 1992), для статистической обработки, построения классификационных схем - NTSYS (Rohlf, 1987, 2000) и Statistica for Windows (StatSoft, Inc. 2006; Hill & Lewicki, 2006).

Кроме личных сборов автор использовал ботанические данные, полученные другими исследователями. Часть материалов была получена автором из открытых источников (опубликованы или использованы в диссертационных работах, с соответствующими ссылками по тексту данной работы). Неопубликованные материалы переданы автору их владельцами (данные по сети мониторинга Азиатской Арктики на уровне локальных флор (Лаборатория растительности Крайнего Севера БИН РАН), флористические материалы А.И. Пяка по юговостоку Западной Сибири, О.В. Ребристой по п-ову Ямал, О.В. Хитун по Гыданскому и Тазовскому полуостровам, Т.М. Королевой по Анюйскому нагорью, Керетскому архипелагу. И.Б. Кучерова по геоботанические Е.П. Прокопьева по пойменной растительности Иртыша, Е.Д. Лапшиной по болотной растительности Томской области, М.М. Черосова по синантропной растительности Якутии, данные А.Л. Борисенко по бриофлоре юго-востока Томской области и Н.В. Щеголевой по роду Ranunculus в Алтае-Саянской флористической провинции), получено разрешение на их использование. Все материалы введены в базы данных и обработаны с помощью авторской информационной системы IBIS.

Апробация работы. Основные материалы, вошедшие в диссертацию были представлены на заседаниях Томского отделения Русского ботанического общества, международной конференции "Проблемы экологии Томской области" (Томск, 1992), на чтениях памяти Ю.А. Львова (Томск, 1995, 1998), на совещаниях "Компьютерные базы данных в ботанических исследованиях" (Санкт-Петербург, 1997), на совещаниях по сравнительной флористике (Березинский заповедник, 1993; Сыктывкар, 2003), на конференциях "Фундаментальные и прикладные проблемы охраны окружающей среды" (Томск, 1995), "Проблемы изучения растительного покрова Сибири" (Томск, 1995, 2000, 2005), "Состояние и перспективы развития гербариев Сибири" (Томск. 1997). промышленной ботаники индустриально-развитых регионов" (Кемерово, 2006). "Биоразнообразие растительного покрова Крайнего Севера: инвентаризация. мониторинг, охрана" (Сыктывкар, 2006), на региональном совещании "Проблемы создания ботанических баз данных" (Новосибирск, 2000), на международном симпозиуме "Информационно-поисковые системы в зоологии и ботанике" (Санкт-Петербург, 1999), на международных конференциях "Природные условия, история и культура Западной Монголии и сопредельных регионов" (Ховд, 1997, 2003; Томск, 1999; Кызыл, 2005), на международных научных семинарах фонда "Darwin Initiative" (Coventry, 1997; Томск, 2002; Pitlochry, 2002; Ховд, 2004; Риддер, 2005; Кызыл, 2005), на других региональных, Всероссийских и международных

ботанических конференциях (Пущино, 1991, Томск, 1992, 1997, 2006; Барнаул, 1995; Красноярск, 1997, 2006; Кемерово, 1997; Владивосток, 2000; Барнаул, 2005).

<u>Публикации.</u> По теме диссертации опубликовано 46 работ, в том числе 3 статьи в рецензируемых журналах из списка ВАК РФ.

<u>Структура и объем работы.</u> Диссертация состоит из введения, 3 основных глав, заключения, списка литературы и 13 приложений. Работа изложена на 268 страницах машинописного текста, содержит 22 таблицы и 72 рисунка, 37 страниц занимают приложения. В списке цитируемой литературы 528 наименований, в том числе 251 — на иностранных языках.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Применение компьютерных технологий в ботанике

1.1. Основные термины и понятия теории баз данных

В работе мы сознательно свели к минимуму использование терминологии из области информатики. Поскольку рассматриваются вопросы применения технологии компьютерных баз данных в области ботаники и экологии приведено определение базовых понятий из этой области: база данных (БД), системы управления базами данных, информационная система (ИС) и т.д.

1.2. Обзор прикладных ботанических программ

Не пытаясь охватить всего многообразия программ, созданных для применения в ботанике, мы сконцентрировали внимание на рассмотрении специализированных информационных программных продуктов системах ДЛЯ поддержки ботанических исследований в области общей и сравнительной флористики, географии, фитоценологии и экологии растений. рассмотрены функциональные возможности следующих пакетов: TurboVEG (Hennekens, Schaminée, 2001), JUICE (Tichý, Holt, 2006), SORT (Durka, Ackermann, 1998), VEGROW (Fresco, 1991), VESPAN (Malloch, 1999), FenBASE (Wheeler, 2003), VMD (Gunn, 1994), DECODA (Minchin, 1999), ECOPHYTO (Hemaraes, 1997), ECODAT (Боряков и др., 2005). Конспективно рассмотрены ИС из смежных областей ботаники, ориентированные на работу с коллекциями гербариев и коллекциями, таксономические БД. системы компьютерной живыми идентификации и фито-экологические модели, которые служат основой для всех ботанических ИС, имеющих дело с теми или иными списками таксонов растений и их характеристиками.

В отдельное приложение вынесен обзор 27 специализированных программ, разработанных для целей классификации и ординации растительных сообществ, оптимизации табличной обработки по методике Браун-Бланке, специальной статистической обработки, ориентированной на ботанические данные, которая недоступна в пакетах общей статистики (NTSYS, CANOCO, SYN-TAX, TWINSPAN, PAST, MVSP, MULVA, SYNTAXON, GRAPHS, TAXAL II и др.). Их использование значительно расширяет возможности ботанических ИС, обслуживающих базы первичных данных о растительном покрове.

Глава 2. Интегрированная ботаническая информационная система IBIS

Работа над интегрированной ботанической информационной системой IBIS (далее "система IBIS") была начата автором как инициативный проект в 1991 году.

К настоящему времени создана 5 версия программы с вариантами русскоязычного и англоязычного пользовательского интерфейса.

2.1. Краткая функциональная характеристика системы IBIS

Система IBIS является специализированным программным пакетом для поддержки ботанических исследований, связанных с обработкой "полевых" данных о растительном покрове (флористика, геоботаника, фитоценология, экология растений и т.д.). Программа предназначена для использования на IBM-совместимых персональных компьютерах.

В основу системы IBIS положена компьютерная интерпретация традиционных технологий работы с ботаническим материалом, логическая структура БД следует метафоре ботанической картотеки (или фитоценотеки): основная манипулятивная БД – это описание таксономической. топологической функциональной части растительного покрова. т.е. она представляет собой в зависимости от набора регистрируемых атрибутов весь спектр вариантов от простого видового списка до полного геоботанического описания. Для каждого вида, если есть информация, регистрируются ярус, обилие или покрытие, высота, фенофаза и др. атрибуты. Каждый список видов сопровождается дескриптором набором полей для характеристики местообитания или иных параметров, имеющих равное отношение ко всему списку видов. Единичные описания могут быть объединены в сводные путем недублирующего слияния с автоматическим расчетом для видов параметра встречаемости (таким образом можно получать флоры разного ранга и уровня). Фактически под термином "описание" в системе IBIS понимается любой список видов со своими частными и общими атрибутами.

Основа регистрации видов в описаниях — пополняемая видовая библиотека. Существует синтаксический контроль за вводом названий видов, поддерживается также библиотека синонимов. Система содержит информацию о 523 семействах водорослей, грибов, лишайников, печеночников, листостебельных мхов и сосудистых растений, отмеченных на территории бывшего СССР.

Отличительная возможность программы – свободное пополнение характеристик видов принадлежностью к классам создаваемых исследователями типологических классификаций - фактор-множеств (Юрцев, Семкин, 1980).

Пользовательский интерфейс реализован через систему иерархических меню, включает в себя модуль контекстно-чувствительной помощи и службу контроля и индикации типовых ошибок пользователя.

2.2. Проблема информационной неопределенности в ботанических данных

Под информационной неопределенностью мы понимаем неполноту данных, неоднозначность их интерпретации, наличие пропущенных данных или их элементов. Причем, как и в прочих научных дисциплинах, включающих в свою технологическую цепочку два этапа работы - полевой и камеральный, в ботанике информационная неопределенность в целом уменьшается по мере обработки собранного материала - определения видов, проведения анализов собранных образцов. В системе IBIS такая технология реализована в возможности многократного редактирования, дополнения и трансформации введенных описаний. Есть также возможность дублирования описаний и групп описаний, что позволяет провести альтернативную или пробную обработку данных без опасности потерять оригинальный материал.

Есть некоторая доля информационной неопределенности, которая присутствует до самого конца цикла работ, причем, в практической исследовательской работе

это является нормальной ситуацией. Система IBIS позволяет регистрировать в описаниях неопределенные виды, обозначения в форме *Genus sp.*, поддерживаются версии видов, которые в зависимости от ситуации могут означать виды, определенные только до рода и присутствующие в одном описании, или внетаксономические категории - географические расы, экологические и жизненные формы таксона, возрастные состояния одного и того же вида.

Последовательным соблюдением в системе IBIS принципа допустимости информационной неопределенности также является отсутствие требования обязательного заполнения всех позиций дескриптора описания и всех предусмотренных атрибутов при регистрации видов. Пропуск того или иного атрибута означает лишь снижение возможности последующих селекции и группировки описаний, а не принципиальную неполноценность таких описаний.

2.3. Интегрированность ботанических программ

"Интегрированность" любой программы относительна. Основная идея интегрированности заключается в объединении нескольких функций под одной оболочкой.

Автор согласен с утверждениями А.В. Галанина (2000), что "...объектом исследования наук ботанического цикла является растительный покров", а флора и растительность представляют его таксономический и функциональный аспекты (или характеристики) соответственно. С этих позиций можно по-новому взглянуть на понятие интегрированности ботанических программ и определить его как возможность поддерживать исследования и флоры (как совокупностей видов, включая их таксономические характеристики) и растительности (как систем ценоэлементов на топологическом и географическом уровнях) для определенных территорий.

Интегрированность системы IBIS подразумевает возможность оперативного получения справочной информации об объектах исследования, например о видах (их таксономическая характеристика, диагноз, оптимумы и амплитуды на градиенте экологических шкал, принадлежность к типологическим элементам и т.д.), а также возможность динамического редактирования такой информации. Внешний аспект интегрированности — степень и качество взаимодействия со внешним программным окружением, открытость к обмену первичными и производными данными.

2.4. Комплексность ботанических данных

Ботаника, как преимущественно описательная наука, сталкивается со сбором и обработкой очень больших объемов исходных данных, причем эти данные комплексны и многомерны по своей природе (описываемые объекты обычно характеризуется множеством разнородных атрибутов). При разработке системы IBIS решалась задача упорядочения и структуризации больших наборов данных для повышения эффективности исследовательской работы.

Лимиты на максимальные значения и размерности в системе IBIS: до 4000 видов в одном списке единичного или сводного описания, 64 тыс. описаний в одной БД. Эталонная библиотека может включать до 64 тыс. таксонов. Сводные таблицы могут объединять до 4 тыс. описаний или флор различного ранга. Поддерживается работа с программами—архиваторами данных.

Учет комплексного характера ботанических данных реализован через гибкую структуру данных для регистрации атрибутов списка в дескрипторе описания: кроме традиционных фиксированных полей она включает набор настраиваемых

пользовательских комментариев и авторских полей. Доступно создание произвольных шкал обилия/покрытия, словарей текстовых шаблонов для оперативного доступа при внесении данных. Описания могут объединяться в логические группы по произвольному принципу.

2.5. Способы организации и преобразование данных

В системе IBIS данные о растительном покрове могут быть представлены в двух основных формах - в виде описаний (единичных или сводных) и в виде сводных двумерных таблиц, со списком видов по вертикали и визуализизацией некоторой величины, характеризующая качество и степень участия вида в каждом описании или флоре (покрытие, обилие, социабилитет, всречаемость или активность).

Реализован эффективный поиск и селекция описаний по комплексным критериям, основанным на атрибутах дескриптора и параметрах регистраций видов. Возможен нечеткий поиск, поиск с выделением флористических ядер. Для видовых списков описаний и таблиц предусмотрена многоуровневая автоматическая сортировка. Таблицы могут быть упорядочены по двум направлениям вручную и использованием ординационных алгоритмов TWINSPAN и DECORANA (Hill, 1994), есть возможность делить и дополнять таблицы, работать с блоками, сохранять и восстанавливать состояния таблицы.

2.6. Анализ данных

В разделе сделана попытка систематического изложения технологической цепочки анализа данных — от группировки и селекции первичных данных до получения результатов в табличной и графической форме. В соответствие каждому этапу поставлен конкретный набор инструментов и алгоритмов в составе системы IBIS. Подробно (с указанием наиболее важных литературных источников) рассмотрены следующие виды анализа:

- классический таксономический анализ: вычисление основных таксономических пропорций;
- анализ сложности систематической структуры с помощью информационных индексов (*H*-функция, см. Шмидт, 1984);
- анализ автономности флор (тенденций аллохтонности/автохтонности, см. Малышев, 1969);
 - анализ соотношения богатства ведущих таксонов;
- анализ таксономической структуры (через составление таксономических спектров);
 - типологический анализ (через пользовательские фактор-множества);
- сравнительный анализ: иерархический кластерный анализ с использованием первичных данных (используются меры сходства, различия и включения видовых списков система IBIS поддерживает расчет 39 бинарных индексов, которые подробно рассмотрены с отдельном приложении) и вторичных данных (таксономических, типологических и градиентных спектров с возможностью их взвешивания количественными параметрами видов), построение корреляционных колец, дендрограмм сходства и дендритов доступно как в специализированных программах статистического анализа, так и в нашей программе BIOSTAT v.1.1.;
- экологический анализ с использованием градиентных шкал (поддерживаются три типа шкал *оптимумные*, *амплитудные* и *амплитудно-оптимумные*): составление градиентных спектров, фитоиндикационный анализ с расчетом статусов экологических описаний и индексов экологического консенсуса

(построение экологических профилей описаний в графике доступно в другой разработанной нами программе IRIX 3.2g).

Впервые реализован алгоритм сопряженного анализа типологических структур (Галанин, 1987), расширенный нами в четырех направлениях: (1) возможно выполнение сопряженного анализа типологической и таксономической структуры, (2) доступно взвешивание типологических и таксономических классов, (3) оценка статистической значимости критерия χ^2 возможна для больших чисел степеней свободы (вплоть до 10 тыс.), (4) вычисляется пять индексов сопряженности.

2.7. Обмен данными и их зашита

Проблема адекватного обмена данными - одна из самых актуальных в современной науке, и ботаника не является исключением. При разработке системы IBIS учтены три аспекта обмена данными: (1) обмен первичными данными между комплектами IBIS; (2) обмен первичными данными между системой IBIS и другими программами, в том числе базами ботанических данных; (3) экспорт производных данных из IBIS во внешние пакеты обработки данных. Поддерживается ряд распространенных (ASCII, CSV, Cornell Condensed Format) и специализированных форматов данных.

В последнее время быстро возрастает доля ботанической информации, представленной в электронной форме (базы ботанических данных, электронные каталоги, Интернет-публикации, on-line журналы). Вопросы, связанные с охраной авторских прав на научные произведения, в том числе представленные в электронной форме, регулируются соответствующими законодательными актами Российской Федерации. Система IBIS включает несколько инструментов, позволяющих регулировать доступ к данным в зависимости от порядка использования конкретного комплекта IBIS. В случае коллективной эксплуатации назначается Администратор системы и включается система авторизации, защиты и контроля над правами доступа.

Глава 3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ IBIS ДЛЯ ОБРАБОТКИ БОТАНИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Объем работы не позволил нам проиллюстрировать примерами весь спектр доступного в системе IBIS аналитического инструментария. Мы рассмотрим более подробно те методы, которые не нашли адекватного воплощения в других программных средствах, предназначенных для обработки ботанических данных.

3.1. Материалы

Общий объем ботанических данных, использованных для иллюстрации методов обработки, для разработки и тестирования программного обеспечения, составил 13 280 геоботанических и флористических описаний, 1 870 сводных списков видов и флор различного ранга, 735 сводных и генерализованных таблиц. Суммарное число регистраций видов в базах данных, использованных автором непосредственно в этой работе — 252 790. Проведенный опрос большинства пользователей системы IBIS дает следующую приблизительную оценку накопленного в электронной форме ботанического материала в формате IBIS: более 100 тыс. описаний, около 5000 флор, более 1.2 млн. регистраций видов. Материалы характеризуются по мере включения в анализ.

3.2. Таксономический анализ

Таксономический, или систематический, анализ является базовым элементом при выполнении любых флористических исследований, он также является важным компонентов при анализе парциальных флор, ценофлор в геоботанических

исследованиях. Мы использовали данные сети мониторинга биоразнообразия Азиатской Арктики на уровне локальных (ЛФ), полученные в ходе многолетних (1955-2002) полевых исследований сотрудниками лаборатории растительности Крайнего Севера Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН. Объем, включенный в анализ – 135 ЛФ.

Таблица 1. Параметры родо-видовой и семейственно-видовой структуры флор 6 полпровинций Азиатской Арктики

Таксономические показатели и	НЦИИ АЗИАТСКОИ АРКТИКИ Объединенные флоры подпровинций					
пропорции	YA TA CC CW CS CB					
Общее число в ПП	17	1.7	- 00		- 00	0.5
видов	464	547	803	453	783	815
	167	146	197	112	214	187
родов семейств	52	54	60	34	62	55
	-	-		-	72	101
Число дифференциальных видов	76	63	69	42		12.39
Доля дифференциальных видов, %	16.38	11.52	8.59	9.27	9.20	
Среднее число видов в роде	2.78 96	3.75 65	4.08 85	4.05 51	3.66 104	4.36 82
Число одновидовых родов	57.49	44.52	43.15	45.54	48.60	6∠ 43.85
Доля одновидовых родов, %		-				
Число дифференциальных родов	14 8.38	1	7 3.55	0	12	9 4.81
Доля дифференциальных родов, %		0.68		0.00	5.61	
Среднее число видов в семействе	8.92	10.13	13.38	13.32	12.63	14.82
Среднее число родов в семействе	3.21	2.70	3.28	3.29	3.45	3.40
Число одновидовых семейств	18	18	18	5	16	10
Доля одновидовых семейств, %	34.62	33.33	30.00	14.71	25.81	18.18
Число однородовых семейств	30	33	30	14	31	27
Доля однородовых семейств, %	57.69	61.11	50.00	41.18	50.00	49.09
Максимальное число	0.4	00	50	0.5		
видов в одном роде	34	30	56	25	55	51
видов в одном семействе	61	89	108	70	97	102
родов в одном семействе	20	18	23	20	24	24
Доля видов, %	00 70	0= 00			0.4.00	
в 10 ведущих родах	32.76	37.29	32.88	43.49	31.93	34.60
в 35 ведущих родах	61.64	68.19	63.01	76.16	60.15	65.15
в 100 ведущих родах	85.56	91.59	86.43	97.35	84.16	88.71
H-функция SG (виды/роды)						
абсолютное значение	6.596	6.334	6.646	5.911	6.772	6.548
отношение к максимуму	0.893	0.881	0.872	0.868	0.875	0.868
дисперсия	0.015	0.017	0.015	0.022	0.014	0.015
Доля видов, %	00.40	= 0.00	20 - 1	=0.04	07.40	=0.00
в 10 ведущих семействах	68.10	70.02	69.74	79.91	67.43	70.92
в 20 ведущих семействах	87.50	89.40	87.55	94.92	85.19	87.12
H-функция SF (виды/семейства)	4.500	4.500	4.504	4.007	4.740	4.505
абсолютное значение	4.599	4.506	4.594	4.087	4.713	4.585
отношение к максимуму	0.807	0.783	0.778	0.803	0.792	0.793
дисперсия	0.045	0.048	0.044	0.055	0.041	0.045
Доля видов, %	0.00	0.40	4.07	4 55	0.45	0.40
сосудистых споровых	3.23	2.19	1.87	1.55	3.45	3.19
голосеменных	0.43	0.37	0.37	0.00	0.26	0.00
цветковых	96.34	97.44	97.76	98.45	96.30	96.81
однодольных среди цветковых	29.08	29.83	28.66	26.01	28.12	26.62
двудольных среди цветковых	70.92	70.17	71.34	73.99	71.88	73.38
Отношение (по видам)	0.705	0.404	0.700	0.74	0.740	0.040
Asteraceae/Poaceae	0.705	0.461	0.796	0.714	0.742	0.843
Rosaceae/Cyperaceae	0.455	0.628	0.618	1.054	0.743	0.929
Ranunculaceae/Brassicaceae	0.774	0.569	0.759	0.511	0.851	0.600

Система флористического деления Арктики на провинции и подпровинции (ПП) дана по работе Б.А. Юрцева (Yurtsev, 1994). Использованы следующие обозначения: YA – Ямало-Гыданская ПП Западно-Евразиатской провинции; ТА –

Таймырская ПП Восточносибирской провинции; Чукотская провинция с подпровинциями: СС – Континетально-Чукотская, СW – Врангелевская, СS – Южно-Чукотская, СВ – Берингийско-Чукотская. Часть результатов, базирующихся на выполненной автором обработке 96 ЛФ, ранее доложена в работах Б.А. Юрцева с соавторами (2001, 2002, 2004) и Т.М. Королевой с соавторами (2006а, 2006б).

Анализ показал, что объединенная флора всех ЛФ составляет 1348 видов растений, относящихся к 256 родам и 65 семействам. Получены списки видов объединенных флор ПП. Для них построены и проранжированы полные таксономические спектры: семейственно-родовой, семейственно-видового и родовидовой. Рассчитаны абсолютные индексы автономности флор по 8 моделям, предложенным Л.И. Малышевым (2000), а также относительные индексы автономности по линейной и параболической регрессионным моделям. Вычислены информационные индексы сложности систематической структуры на двух уровнях (виды/семейства и виды/роды), индексы отношения по видовому богатству для пар ведущих семейств. В табл. 1 приведены некоторые параметры родо-видовой и семейственно-видовой структур объединенных флор 6 подпровинций, в табл. 2 — показатели удельного пространственного видового разнообразия. Дополнительно построены графики распределения индивидуальных ЛФ по наиболее важным таксономическим показателям, позволяющие наглядно оценить различия по подпровинциям.

Таблица 2. Показатели удельного пространственного видового разнообразия покальных флор 6 подпровинций Азиатской Арктики

локальных флор о подпровинции Азиатской Арктики						
Таксономические показатели и	Объединенные флоры подпровинций					
пропорции	YA	TA	CC	CW	cs	СВ
Число ЛФ в подпровинции	24	26	30	12	14	29
Общее число видов в подпровинции	464	547	803	453	783	815
Среднее ВР	171.21	181.50	279.17	252.67	348.86	305.66
Минимальное ВР	75	46	121	141	260	187
Максимальное ВР	249	315	405	333	435	460
Ошибка среднего ВР	7.63	14.00	10.77	17.16	11.53	10.74
Средняя ДВР	36.90	33.18	34.77	55.78	44.55	37.50
Минимальная ДВР	16.16	8.41	15.07	31.13	33.21	22.94
Максимальная ДВР	53.66	57.59	50.44	73.51	55.56	56.44
Ошибка средней ДВР	1.64	2.56	1.34	3.79	1.47	1.32
Среднее сходство ЛФ в ПП	0.6245	0.5736	0.6015	0.7311	0.6545	0.6303
Ошибка среднего сходства ЛФ в ПП	0.0077	0.0076	0.0053	0.0097	0.0091	0.0035
Число редких видов (1 встреча в ПП)	89	122	133	70	142	125
Доля редких видов (1 встреча в ПП), %	19.18	22.30	16.56	15.45	18.14	15.34
Число редких видов (2-4 встречи в ПП)	103	124	179	98	222	160
Доля редких видов (2-4 встречи в ПП), %	22.20	22.67	22.29	21.63	28.35	19.63
Число видов со 100% встречаемостью	24	11	15	87	72	39
Доля видов со 100% встречаемостью, %	5.17	2.01	1.87	19.21	9.20	4.79

Примечание. ВР — видовое разнообразие (число видов в одной ЛФ); ДВР — доля видового разнообразия (число видов в ЛФ, отнесенное к числу видов объединения всех флор подпровинции), %; среднее сходство — качественный коэффициент Съеренсена-Чекановского, усредненный для всех пар ЛФ в подпровинции.

Среди общих долготных трендов можно отметить закономерное повышение на восток общего таксономического богатства на всех таксономических уровнях, среднего числа видов в роде и семействе, некоторое увеличение доли двудольных среди цветковых растений. Характер этих трендов из обобщающей таблицы не столь очевиден в силу разной представленности широтных зон растительности по подпровинциям, а также их условного ранжирование в долготном направлении в

пределах Чукотской провинции, где особенно выделяются своим обособленным географическим положением островные ЛФ Врангелевской Чукотки (CW)

3.3. Типологический анализ

Для целей выявления различных аспектов типологического строения арктических флор было создано 21 фактор-множество, одни из которых применимы для анализа ЛФ всего региона, тогда как другие валидны только для конкретных флористических провинций. В данной работе мы ограничились примером генерализации сводной таблицы 12 ЛФ Врангелевской Чукотки по хорологическому фактор-множеству "Широтные (зональные) элементы Чукотки". Так как число классов в типологических спектрах обычно меньше, чем в таксономических, их удобно представлять не только в табличной форме, но и в виде составных гистограмм, приведенных к 100 %, давая наглядное графическое представление о композиции флор по выбранной типологии. Такое представление позволяет в компактной и наглядной форме показать различия "типологических портретов" флористических списков и может использоваться в сравнительном флористическом анализе для совмещенной презентации вместе с дендрограммами сходства, полученными в результате иерархической кластеризации

3.4. Сравнительный анализ

Для иллюстрации различных приемов сравнительно-флористического анализа мы использовали материалы А.И. Пяка (1992, 1998) по 10 ЛФ юго-востока Томской области, дополненные двумя ЛФ горно-лесного пояса Южной Сибири (рис. 1). Эти данные уже использовались нами для уточнения границ Алтае-Саянской флористической провинции (Пяк, Зверев, 1995) и выяснения влияния мощности головной части таксономических спектров на сходство ЛФ (Пяк, Зверев, 1997). Основные таксономические параметры объединенной флоры 12 ЛФ: число видов — 771, родов — 359, семейств — 94; доля сосудистых споровых — 3.37%, голосеменных — 0.78 %, цветковых — 95.85 %; отношение однодольных к двудольным по числу видов — 0.374.

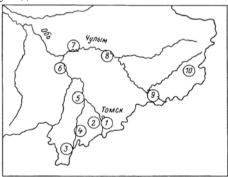
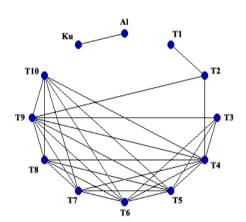


Рис. 1. Географическое положение 10 локальных флор юго-востока Томской области (по Пяк, Зверев (1997)) Обозначения ЛФ: 1 – " Т1 Басандайка", 2 – "Т2 Кисловка", 3 – " Т3 Уртам", 4 – "Т4 Киреевск", 5 – "Т5 Малобрагино", 6 – "Т6 Кривошеино", 7 – "Т7 Суйга", 8 – "Т8 Минаевка", 9 – "Т9 Кия", 10 – "Т10 Четь"; не показаны две ЛФ за пределами Томской области: "Ки Берикуль" (Кузнецкий Алатау, Кемеровская область), "АІ Артыбаш" (Прителецкий Алтай, Республика Алтай).

Для презентации результатов сравнительного анализа используют как табличную форму (матрицы видового пересечения, матрицы мер сходства.

матрицы мер включения), так и графические построения, визуализирующие между сравниваемыми объектами. Наиболее распространены слелующие формы: ориентированные графы и корреляционные кольца с отображением надпороговых связей между объектами: ленлрограммы флорограммы. выявляющие иерархию отношения объектов: Чекановского; дендриты, в том числе деревья максимального корреляционного пути. Одна из целей построения графических схем - выделение корреляционных плеял – групп наиболее сходных между собой объектов.

В программе IBIS последовательно были подготовлены: сводная таблица 12 ЛФ, матрица видового пересечения, матрица сходства видового состава (рассчитаны меры сходства Съеренсена-Чекановского и Осніаі II, последняя учитывает взаимное отсутствие видов фо флорах), несимметричная матрица включения видового состава, две матрицы сходства, симметризованные по Симпсону и Кульчинскому (Семкин, 1987). На их основе построены корреляционное кольцо (рис. 2), позволивший определить основные плеяды флор (явно отделяются две горно-таежные ЛФ и наиболее богатые томские) и ориентированный граф включения (рис. 3), детализирующий отношения между флорами, особенно разновеликими.



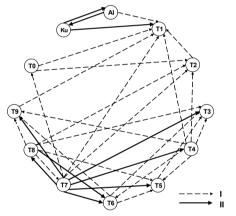


Рис. 2. Выделение плеяд на корреляционном кольце для 12 ЛФ юго-востока Западной Сибири при пороговом значении KSCz=0.80, использована мера сходства Съеренсена-Чекановского в программе BIOSTAT.

Рис. 3. Ориентированный граф включения 12 ЛФ юго-востока Западной Сибири. I – включение > 88 %, II – > 92 %; ЛФ "Т10 Четь" здесь обозначена как "Т0".

Мы провели иерархический кластерный анализ (связывание по методу WPGMA) по видовым спискам (использовались полные списки и наборы видов, представленные от 2 до $11~\rm J\Phi$) и всем типам таксономических спектров (полным и для таксонов высшего ранга со 100% представленностью) и получили ряд дендрограмм сходства $\rm J\Phi$ с применением разным индексов близости флор. Приводим лишь некоторые из них.

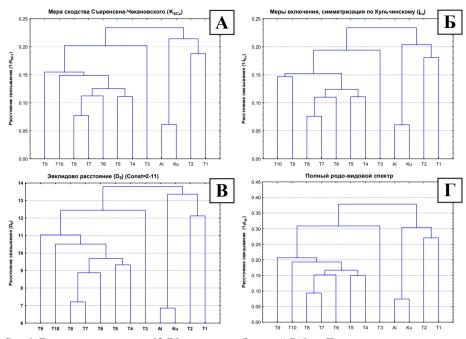


Рис. 4. Дендрограммы сходства 12 ЛФ юго-востока Западной Сибири Пояснения в тексте.

Наибольшую согласованность в результатах (топология и пропорции) показали дендрограммы, полученные по полным видовым спискам (мера сходства Съеренсена-Чекановского (рис. 4: А), мера включения, симметризованная по Кульчинскому (рис. 4: Б)), эвклидово расстояние в пространстве 380 видов с константностью 2-11 ЛФ (рис. 4: В), а также по родо-видовому таксономическому спектру (рис. 4: Г). В основном они показали обособление групп ЛФ, которое также прослеживалось и на кольцевых построениях. Учет взаимного отсутствия видов в ЛФ (мера сходства Ochiai II) и эвклидово расстояние в пространстве всех видов (771), дали дендрограммы одинаковой, но отличной от предыдущих построений, топологии, причем присоединение ЛФ идет скорее по мере убывания видового богатства. Интерпретация же классификационных схем по головным таксономических спектрам вызвала наибольшие затруднения силу относительной географической близости, изученных ЛФ.

Дендриты максимального корреляционного пути — очень наглядная форма представления линейных отношений между сравниваемыми флорами. Дендриты не имеют пересечений и абсолютизируют только некоторое подмножество связей между флорами. Мы построили два дендрита по матрице мер сходства Съеренсена—Чекановского (рис. 5) и Ochiai II (рис. 6). Явного противоречия в двух построениях нет: на обоих дендритах выделяются сходные плеяды: (Al Ku), (Т4 Т5) и (Т6 Т7 Т8 Т9 Т10). Принципиально отличие лишь в положении наиболее

богатых видами флор Т1 и Т2. В первом случае они включаются в большую центральную плеяду, а в случае учета взаимноотсутствующих видов (второй дендрит, коэффициент Ochiai II) степень сходства этих флор с остальными значительно понижается, что приводит к их маргинальному положению на классификационных схемах.

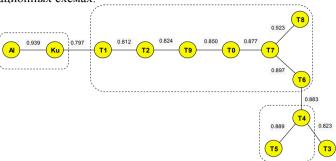


Рис. 5. Дендрит максимального корреляционного пути и корреляционные плеяды 12 ЛФ юговостока Западной Сибири по видовому составу (мера сходства Съеренсена—Чекановского).

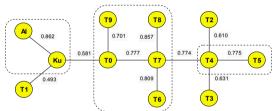


Рис. 6. Дендрит максимального корреляционного пути и корреляционные плеяды 12 ЛФ юговостока Западной Сибири по видовому составу (мера сходства Ochiai II).

Неиерархический кластерный анализ (иначе называемый анализ K-means) позволяет выделить заранее определенное число групп (кластеров) наиболее сходных между собой объектов, не устанавливая между группами каких-либо отношений подчиненности. Мы провели такой анализ с разделением 12 ЛФ последовательно на 2, 3 и 4 кластера: исходя из общего числа ЛФ – 12 и результатов предыдущей иерархической кластеризации, выделять большее количество групп не имеет смысла. Результаты анализа с использованием обоих наборов видов (полного и редуцированного до видов с константностью 2-11 ЛФ) показали стабильность классификаций. Плеяды образовали :

- 2 кластера: (T1 T2 Ku Al) и (T3 T4 T5 T6 T7 T8 T9 T10);
- 3 кластера: (T1 T2), (Ku Al) и (Т3 Т4 Т5 Т6 Т7 Т8 Т9 Т10);
- 4 кластера: (Т1 Т2), (Кu Al), (Т3) и (Т4 Т5 Т6 Т7 Т8 Т9 Т10), что согласуется с предыдущими результатами.

3.5. Флорогенетический анализ с использованием аппарата логического моделирования филогенеза

Для решения задач изучения биоразнообразия на основе эволюционных моделей был разработан новый метод и компьютерная программа SYNAP (Байков, 1996, 1999; Байков и др., 1997, 2000; Baikov, Zverev, 2000). Метод основан на

представлении о вектор-признаке. Сначала проводится векторизация объект-признакового пространства в исследуемой группе и объекты получают индексы продвинутости, по которому устанавливается порядок построения схемы эволюционных связей. На каждом этапе анализа выбирается пара наиболее тесно связанных объектов и их медиана, которую можно рассматривать как ближайшего общего предка. В логической схеме построения признаков медианы реализованы основные положения эволюционной теории, поэтому итоговая схема наиболее корректным способом сочетает в себе исходно выделенные вектор-признаки. Циклический характер процедуры анализа дает возможность постоянно корректировать состав исследуемых объектов и вектор-признаков, направление вектор-признаков, логические условия моделирования и др.

Программа создана нами для IBM-совместимых компьютеров и может импортировать наборы данных, подготовленные на основе сводных таблиц в системе IBIS. С ее помощью можно моделировать этапы формирования отдельных таксономических групп (родов, семейств), конкретных морфологических структур и свойств, а также растительных сообществ и флор разного ранга (Байков, Зверев, 1998). На основе метода SYNAP успешно выполнен анализ филогенетических связей в группе сибирских (Байков, 1997) и евразиатских (Байков, 2001) молочаев. Первая попытка на практике использовать аппарат филогенетических построений для обработки флористических данных была выполнена лишь недавно (Зверев, Щеголева, 2005) на материале распространения видов рода *Ranunculus* L. Алтае-Саянской горной страны. Применительно к генезису флор в качестве эволюционно значимых признаков отдельных флор можно использовать присутствие в их составе отдельных видов и флористических элементов, качественный состав зональных и поясно-зональных групп, наличие реликтовых и эндемичных таксонов и т.л.

Мы экспортировали матрицу распределения 771 вида по 12 ЛФ юга-востока Западной Сибири из системы IBIS в программу SYNAP. Последняя имеет в своем составе процедуру оптимизации — она исключает из анализа вектор-признаки (виды), представленные во всех объектах апоморфным состоянием (в нашем

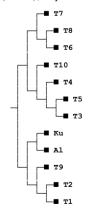


Рис. 7. Флорограмма 12 ЛФ. Пояснения в тексте

присутствие вида) И апоморфное состояние которых характерно только для одного объекта (в нашем случае – виды с единичной встречаемостью). Набор вектор-признаков таких образом был редуцирован до 380 видов. Анализ полученной флорограммы ЛФ (рис. 7) достаточно любопытен. Ни один из вариантов иерархического (по включению или сходству видового состава. таксономической по или типологической структурам) неиерархического кластерного анализа не привел к подобному результату. Условно можно выделить следующие плеяды локальных флор: (Ku Al T1 T2 T9), (Т3 Т4 Т5 Т10) и (Т6 Т7 Т8). Отличается это разбиение четким отделением северных бедных флор (рис. 1), группы флор зоны переходной к средней тайге и богатых южных и горных, к которым примыкает ЛФ Т9 "Кия", географически наиболее близкая (чего не выявили схемы, полученные в результате всех предыдущих обработок).

Мы не беремся делать однозначные выводы относительно преимуществ представленного метода по сравнению с рассмотренными ранее. Следует особо подчеркнуть, что сопоставлять графические схемы, полученные в результате использования двух подходов (флорогенетического и традиционного сравнительно-флористического), следует с известной осторожностью, поскольку различаются принципы оценки роли базового учетного события — факта вхождения вида в анализируемые флористические списки. Но мы считаем, что подобное моделирование схем флорогенетических отношений и использование их для целей районирования наряду с классическими методами может быть весьма перспективным.

3.6. Сопряженный анализ

Иллюстрируя возможности сопряженного анализа, остановимся только на одном из подходов, который не был использован ранее — комплексном сопряженном анализе таксономических и типологических структур. Материалом послужило распределение 815 видов объединенной флоры Берингийской Чукотки по двумерным классам, полученным на пересечении широтной хорологической (на уровне элементов) и семейственно-видовой структур: группировка проведена по 8 широтным элементам и 55 семействам. Метод основан на применении непараметрического критерия χ^2 (Шмидт, 1984; Галанин, 1987). Результаты показаны в табл. 3.

Таблица 3. Показатели сопряженности широтной хорологической и семейственно-видовой структур объединенной флоры Берингийской Чукотки

Показатели сопряженности	
Общее количество видов:	815
Суммарная статистика х ² :	684.1153
Число степеней свободы:	378
Статистическая значимость общей сопряженности:	p<0.050
Ср. коэффициент сопряженности Таи:	1.55481
Ср. показатель сопряженности Пирсона <i>Phi</i> ² :	0.83941
Коэффициент сопряженности Шарлье:	0.91619
Коэффициент контингенции Пирсона С:	0.67553
Коэффициент сопряженности Чупрова <i>Т</i> :	0.20778

Можно утверждать, что обе изученные структуры флоры статистически значимо сопряжены, виды различных семейств не случайным образом распределяются по широтным элементам. Так статистически значимо отличаются от общего по флоре распределения по широтным элементам видов таких ведущих семейств как *Cyperaceae, Asteraceae, Brassicaceae, Saxifragaceae, Fabaceae*, тогда как виды близких по объему *Poaceae, Rosaceae, Caryophyllaceae, Ranunculaceae* и *Salicaceae* в своем распределении следуют общему правилу. Причины такой неравномерности следует искать в различиях как поведения видов разных семейств, так и в спектре широтных зон растительности, в которых расположены локальных флоры этой подпровинции и в том наборе экотопов, которые они охватывают. Так, например, злаки более толерантны к минимуму летнего тепла и играют значительную роль в плакорной растительности разных подзон тундровой зоны, тогда как виды сложноцветных тяготеют к интразональным экотопам и минеральным почвам, что и нашло достоверное отражение в разном характере распределения этих семейств по широтным элементам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ функциональных возможностей доступного программного обеспечения для поддержки флористических и геоботанических исследований, позволивший выявить его сильные и слабые стороны, показал отсутствие универсальной информационной системы с русскоязычным интерфейсом, способной послужить связующим элементом в процессе описания, формализации, накопления и обработки разнородных данных о растительном покрове.

Выполнено формализованное описание логики и методики флористических и исследований как основы лля разработки авторских компьютерных программ. Предложена интегрированная структура данных для комплексной характеристики растительного покрова. с учетом специфики обработки. Применение структурированной системы пользовательских комментариев способствует лучшему описанию фактов и моделированию процессов в ботанической предметной области.

Разработана интегрированная ботаническая информационная система IBIS для накопления и комплексной обработки ботанических данных, которая позволяет ботаникам без специальной подготовки в области информатики многократно интенсифицировать исследовательский процесс, ускоряет выполнение автоматизирует широкий спектр ботанических задач, упрощает использование технологий позволяет вычислительно сложных И полнее современный инструментарий обработки данных. Информационная система выполнена по открытой схеме, предоставляющей широкие возможности по расширению и обмену данными с другими программами.

Предложены и реализованы новые методы анализа данных: сопряженный анализ типологических, систематических структур и кластерных классификаций, флорогенетический анализ с привлечением логического аппарата моделирования филогенеза, использование пользовательских типологических и градиентных фактор-множеств с возможностью взвешивания, которые расширяют возможности по выявлению связей, зависимостей и закономерностей между описываемыми ботаническими объектами и их характеристиками, способствуя получению более содержательных выводов.

Система IBIS, разработанная автором, прошла масштабную апробацию более чем в 20 организациях ботанического профиля: с ее помощью создан и поддерживается ряд баз ботанических данных, в том числе сеть долговременного мониторинга биоразнообразия на уровне локальных флор для Азиатской Арктики (БИН РАН, Санкт-Петербург), базы биоразнообразия болотных экосистем Томской области и эндемичных растений Алтайской горной страны в рамках международных проектов фонда "Darwin Initiative" (Великобритания).

Проведена обработка 135 локальных флор, включенных в сеть мониторинга биоразнообразия Азиатской Арктики и представляющих 6 флористических подпровинций: основные вычислены количественные таксономического разнообразия систематические И пропоршии проанализирована их систематическая и типологическая структуры, выполнен анализ сложности систематической структуры, соотношения богатства ведущих таксонов, проведена оценка оригинальности флор (для Анюйского нагорья). позволили полнее раскрыть Полученные результаты характерные

флористического строения арктических флор и выявить географические тренды в изменении основных параметров фиторазнообразия региона.

Для 12 локальных флор юга-востока Западной Сибири выполнен комплексный сравнительно-флористический анализ: анализ сходства видовых списков, сходства систематических и типологических структур, неиерархический кластерный анализ, флорогенетический анализ и сопряженный анализ типологических, таксономических структур и неиерархических классификаций. Результаты анализа, представленные в табличной и графической форме, способствовали уточнению схемы флористического районирования района исследования.

Список основных работ, опубликованных по теме диссертации

- **Зверев А.А.** О создании региональных фитоиндикационных шкал // Материалы 44 студенческой научной конференции. Томск, 1990. С. 72.
- **Зверев А.А.** Компьютерный банк геоботанических описаний как основа биогеоценотических и ландшафтно-экологических исследований. // Чтения памяти Ю.А.Львова: Сборник статей / Под ред. Г.Ф. Плеханова. Томск, 1995. С. 127–129.
- **Зверев А.А.** Опыт разработки интегрированной ботанической информационной системы // II совещание "Компьютерные базы данных в ботанических исследованиях". Тезисы докладов. Санкт-Петербург, 1995. С. 19–20.
- **Черногривов П.Н., Зверев А.А.** Фитоиндикация как метод комплексной оценки состояния окружающей среды. Оптимизация исследований // Международная конференция "Фундаментальные и прикладные проблемы охраны окружающей среды". Тезисы докладов. Томск, 1995. Т. 4. С. 178–179.
- **Пяк А.И., Зверев А.А.** К вопросу о северной границе Алтае-Саянской провинции (АСП) // Особо охраняемые территории Алтайского края, тактика сохранения видового разнообразия и генофонда. Материалы к региональной конференции. Барнаул, 1995. С. 100-101.
- **Зверев А.А.** Применение коэффициентов экологического согласия в численных методах исследования растительного покрова // Проблемы изучения растительного покрова Сибири. Тезисы докладов. Томск, 1995. С. 233–235.
- Pawlaczyk P, Falinski J.B., Kujawa-Pawlaczyk J., Zverev A. Population structure of dark taiga trees (Abies sibirica, Picea obovata, Pinus cembra ssp. sibirica) on the permanent plot in Pichtovka sudy area // Phytocoenosis Vol. 3 (NS), Archivum Geobotanicum 2. Warszawa-Bialowieza, 1991 (print 1995). P. 83–92.
- **Зверев А.А.** Компьютерные информационные системы во флористических исследованиях // Состояние и перспективы развития Гербариев Сибири. Тезисы докладов, Томск, 1997. С.23–25.
- **Байков К.С., Байкова Е.В., Зверев А.А.** Перспективы создания информационной системы для моделирования филогенеза на основе программы SYNAP // Компьютерные базы данных в ботанических исследованиях. Сборник научных трудов. Санкт-Петербург, 1997. С. 8–10.
- *Пяк А.И.*, *Зверев А.А.* Опыт сравнительного анализа локальных флор с помощью прикладного статистического пакета BIOSTAT // Бот. журн., 1997. Т. 82, № 5. С. 64–75.

- **Зверев А.А.** Создание интегрированных банков данных по растительности и их роль в познании биоразнообразия Сибири // Проблемы сохранения биоразнообразия Южной Сибири. Кемерово, 1997. С. 123–124.
- **Пяк А.Й., Зверев А.А.** Проект создания банка данных по растительному покрову Алтая // Природные условия, история и культура Западной Монголии и сопредельных регионов. Томск, 1997. С. 72.
- **Байков К.С., Зверев А.А.** Перспективы изучения растительного мира Сибири на основе моделирования эволюции по методу SYNAP // Чтения памяти Ю.А.Львова: Материалы II Межрегиональной экологической конференции. Томск, 1998. С. 4–6.
- **Зверев А.А.** Современное состояние развития информационной ботанической системы IBIS // Там же. С. 44–45.
- **Зверев А.А.** Сравнительный анализ флор с помощью компьютерной системы IBIS // Изучение биологического разнообразия методами сравнительной флористики. Санкт-Петербург, 1998. С. 284–288.
- **Черосов М.М., Зверев А.А.** Программа IBIS и единое информационное образовательное и научное пространство флористов и фитоценологов РФ // Информационные технологии в управлении и учебном процессе вуза. Материалы конференции. Владивосток, 2000. С. 149–151.
- **Байков К.С., Зверев А.А., Байкова Е.В.** Компьютерное моделирование филогении по методу SYNAP // Проблемы создания ботанических баз данных: Тезисы докладов совещания. Новосибирск, 2000. С. 9–10.
- **Черосов М.М., Ермаков Н.Б., Зверев А.А.** К вопросу о системе прикладных компьютерных программ по флористике и фитоценологии для Российских пользователей. // Там же. С. 80–83.
- **Baikov K.S., Zverev A.A.** A new version of SYNAP computer program for logical modeling of phylogeny // Proceedings of the Second Internat. conf. on Bioinformatics of Genome Regulation and Structure. V. 2. Novosibirsk. 2000. P. 115–117.
- **Зверев А.А.** Разработка банка данных на основе системы IBIS 4.0 "Подвижный петрофитон Алтая" // Проблемы изучения растительного покрова Сибири. Тезисы докладов II Российской научной конференции. Томск, 2000. С. 51–52.
- *Юрцев Б.А., Зверев А.А., Катенин А.Е., Королева Т.М., Кучеров И.Б., Петровский В.В., Ребристая О.В., Секретарева Н.А., Хитун О.В., Ходачек Е.А.* Градиенты таксономических параметров локальных и региональных флор Азиатской Арктики (в сети пунктов мониторинга биоразнообразия) // Бот. журн., 2002. Т. 87, № 6. С. 1–28.
- **Хитун О.В., Зверев А.А.** Анализ количественных показателей локальных и парциальных флор Гыданского и Тазовского полуостровов (Западносибирская Арктика) на широтном градиенте // Развитие сравнительной флористики в России: вклад школы А.И.Толмачева. Материалы VI рабочего совещания по сравнительной флористике (Сыктывкар, 2003). Сыктывкар, 2004. С. 46–53.
- *Юрцев Б.А., Зверев А.А., Катенин А.Е., Королева Т.М., Петровский В.В., Ребристая О.В., Секретарева Н.А., Хитун О.В., Ходачек Е.А.* Пространственная структура видового разнообразия локальных и региональных флор Азиатской Арктики (по данным сети пунктов мониторинга биоразнообразия) // Бот. журн., 2004, Т. 89, № 11. С. 1689–1727.
- **Зверев А.А., Щеголева Н.В.** Пространственное распределение рода *Ranunculus* L. в Алтае-Саянской горной стране // Проблемы изучения растительного покрова Сибири. Материалы конференции. Томск, 2005. С. 72–74.

- **Прокопьев Е.П., Зверев А.А., Мерзлякова И.Е., Давыдова Л.Е., Минеева Т.А.** К созданию базы научных данных по флоре сосудистых растений особо охраняемой природной территории "Береговой склон р. Томи" // Там же. С. 92–93.
- Зверев А.А., Б Надь А., Готт Б., Пяк А.И., Эбель А.Л. Опыт создания прогнозных карт географического распространения эндемичных растений Алтая // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. Материалы конференции. Барнаул, 2006. С. 20–22.
- **Щеголева Н.В., Зверев А.А.** Аспекты географического распространения рода Ranunculus L. в Алтае-Саянской горной стране // Там же. С. 89–92.
- **Зверев А.А., Прокопьев Е.П.** Сравнение методик оценки антропогенной трансформации флоры и растительности // Проблемы промышленной ботаники индустриально-развитых регионов. Материалы конференции. Кемерово, 2006. С. 146–151.
- Королева Т.М., Зверев А.А., Катенин А.Е., Петровский В.В., Ребристая О.В., Секретарева Н.А., Хитун О.В., Ходачек Е.А., Чиненко С.В., Юрцев Б.А. Анализ распространения видов в Азиатской Арктике по данным сети пунктов мониторинга биоразнообразия // Биоразнообразие растительного покрова Крайнего Севера: инвентаризация, мониторинг, охрана. Материалы конференции. Сыктывкар, 2006. С. 52–53.
- **Хитун О.В., Зверев А.А.** Феномен "дисгармонии" локальных и парциальных флор на примере анализа их географической структуры // Там же. С. 114–116.
- Королева Т.М., Зверев А.А., А.Е. Катенин, В.В. Петровский, О.В. Ребристая, Н.А. Секретарева, О.В. Хитун, Е.А. Ходачек, С.В. Чиненко. Б.А.Юрцев. Апробация методов сравнительной флористики на базе сети пунктов мониторинга биоразнообразия Азиатской Арктики // Устойчивость экосистем и проблема сохранения биоразнообразия на Севере. Материалы конференции. Кировск, 2006. С.101–105.
- Зверев А.А Банк описаний растительности с использованием системы IBIS как основа для составления прогнозных карт распространения видов для оценки биоразнообразия горных регионов // Актуальные проблемы экологии и природопользования Сибири в глобальном контексте: сборник статей. Томск, 2007. С. 127-131.

Подписано в печать 12.03.2007 Формат $60x84^{-1}/_{16}$ Бумага для множительных аппаратов. Печать плоская. Печ л. 1.6, усл.-печ. л. 1.4, уч.-изд.л. 1.4 Тираж 150 экз. 3aka3 № 312