0716686-1

На правах рукописи

ФАТКУЛЛИНА РИММА РАФГАТОВНА

ГРАДИЕНТНОСТЬ РАЗНООБРАЗИЯ ФЛОРЫ И РАСТИТЕЛЬНОСТИ ОСТРОВОВ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПРИ НЕЧЕТКОСТИ ИНФОРМАЦИИ

(на примере Казанского района переменного подпора)

Специальность 11.00.11 - "Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов"

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

КАЗАНЬ 2000

Диссертация выполнена в лаборатории биомониторинга Института экологии природных систем Академии Наук Республики Татарстан

Научные руководители: доктор биологических наук, профессор В.А.Бойко,

доктор физико-математических наук, профессор И.З.Батыршин

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, профессор Е.Л.Любарский (Казанский государственный университет), кандидат биологических наук, К.К.Ибрагимова (Казанский государственный педагогический университет)

Ведущая организация: Институт Экологии Волжского бассейна РАН

Защита состоится "8" июня 2000 г. в 14 час. на заседании диссертационного Совета К 053.29.23 по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата биологических наук при Казанском государственном университете по адресу: 420008, Казань, ул.Кремлевская, д.18

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке КГУ

Автореферат разослан "8" мая 2000 г.

Ученый секретарь диссертационного Совета, кандидат технических наук, доцент Мангутова Л.А.Мангутова

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КФУ
0000947717

0716686-1

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

2008 г.

Актуальность темы. Экологическая ситуация, которая сложилась в мире к концу XX в., свидетельствует об усилении противоречий в системе «биосфера-человек». Природные системы утрачивают способность стабилизировать окружающую среду в результате все возрастающего антропогенного давления (Данилов-Данильян и др., 1996). Интенсивное (промышленное и аграрное) освоение природных ресурсов за последние 50 лет серьезно осложнило экологическую обстановку и в Татарстане. По расчетным показателям («Карта экологической ситуации РТ», 1994), лишь два административных района отнесены к категории «удовлетворительная». В остальных 41 районах экологическая обстановка варьирует от «умеренно-напряженной» до «тяжелой», а отдельные территории республики предрасположены к проявлению чрезвычайных экологических ситуаций (Трофимов, Петрова, Годовой отчет Ин ЭПС АН РТ, 1999).

Одной из главных составляющих физико-географического облика территории республики является ее гидрографическая сеть, которая включает около 7,5 тыс. озер, 60 бассейнов рек, четыре водохранилища, в том числе Куйбышевское – крупнейшее в Европе. С образованием 11 водохранилищ Волжско-Камского каскада в их акваториях сохранились незатопленными около 3000 островов – геоморфологических элементов бывших пойменных и надпойменных террас. Наибольшее количество (около 800 островов) расположено в акватории Куйбышевского водохранилища, в том числе 189 – в его Казанском районе переменного подпора.

Комплексные исследования структурной организации островных экосистем свидетельствуют о том, что острова с прилегающими к ним мелководьями выполняют в акватории водохранилищ важные экологические функции. Они являются резерватом генофонда растительного и животного мира бывших долин рек Волги и Камы, генератором биологической продукции, значительным санирующим фактором водной среды (Бойко и др., 1997). Однако, с первых лет образования водохранилищ острова активно вовлекаются в хозяйственое использование, и этот процесс антропогенной экспансии постоянно возрастает. Причем эксплуатация островных территорий фактически не контролируется, так как при образовании водохранилищ эти геоморфологические структуры были исключены из земельного и водного кадастров.

Все это вызывает необходимость реабилитации островных экосистем, основанной на объективной оценке их природной значимости, что в свою очередь, требует глубокого анализа накопленной при натурных съемках информации.

При оценке состояния природных систем наиболее важными считаются ботанические критерии, т.к. растительность, являясь ведущим компонентом экосистемы, выступает по существу индикатором почвенного покрова, а также местом обитания и объектом питания многих видов животных - консументов первого порядка (Виноградов, 1964, 1993; Воронов, 1973). При выборе объекта исследования мы руководствовались именно этими соображениями.

Вместе с тем, имеющаяся информация по островам Куйбышевского водохранилища получена в результате статических (одно-двухразовых) отборов проб

В этом случае можно говорить лишь о тенденциях в изменении показателей. Неполнота данных, наличие разрывов при определении численных интервалов значений критериев, требует введения нечетких понятий, субъективных коэффициентов значимости, оценок полезности и важности. Кроме того, в сложных природных системах нет четких границ между классами и явлениями. Поэтому мерой каждого показателя может стать его нечеткое описание (Заде, 1974).

Цели и задачи работы. Целью работы является исследование зависимостей разнообразия флоры (количество видов, количество редких и исчезающих видов, доля адвентивных видов) и растительности (количество формаций) островов Казанского района переменного подпора (КРПП) Куйбышевского водохранилища от абиотических и антропогенных факторов. В ходе работы решались следующие задачи:

- определение основных факторов, влияющих на разнообразие флоры и растительности островов;
- выделение (методами канонической и частной корреляции) наиболее представительных признаков для ранжирования островов по их природной значимости;
- группировка островов (методами кластерного анализа) по флористическим и фитоценотическим показателям, а также по градиентам абиотической среды;
- разработка экспертной системы по экологической оценке островов и определение экологического состояния островов с учетом статистической, нечеткой и экспертной информации.

Научная новизна работы. Впервые с применением методов статистики и теории нечетких множеств выявлены закономерности распределения флоры и растительности на островах равнинного водохранилища в зависимости от абиотических факторов среды и антропогенного воздействия.

Проведена аппроксимация и ординация данных флористического и фитиценотического разнообразия островов КРПП с помощью нечетких моделей.

Дана оценка экологического состояния островов и проведено их ранжирование с использованием нечетких (взвешенных) отношений предпочтения.

Практическая значимость работы. Создана база данных и экспертная система, позволяющие проводить анализ и оценку экологического состояния островов. Разработан экологический паспорт острова, включающий все компоненты экосистемы, для составления кадастровой документации, а также определения характера и масштабов природопользования. Ранжированные ряды островов рекомендуется использовать Министерствам природы Республик Татарстан, Марий Эл, Чувашии при выделении новых особо охраняемых природных территорий в акватории водохранилища.

Внедрение результатов работы. База данных по островным системам используется специалистами Института экологии природных систем АН РТ в научных исследованиях (акт от 28.03.2000г.). Концептуальные подходы разработки АРМ эколога и составления экологического паспорта природно-территориального комплекса использовались в процессе выполнения темы «Создание и развитие сети ООПТ РТ» (Отчет, 1998гг.). База данных зарегистрирована. Информационно-

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА им. Н. И. Лобачевского КАЗАНСКОГО ГОС. УНИВЕРСИТЕТА

Аналитическом Центре Проекта ГЭФ "Сохранение биоразнообразия Российской Федерации", N TF028314. Экспертная система включена в учебный процесс Казанского государственного технологического университета по дисциплине «Системы искусственного интеллекта» (акт от 08.12.99г.).

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Флористическое и фитоценотическое разнообразие островов КРПП связано с их генезисом, площадью, частотой затопления, расположением по продольной оси акватории, а также степенью изоляции и антропогенной нагрузки.
2. Различия флористического и фитоценотического разнообразия островов КРПП на трех участках по продольной оси акватории от Новочебоксарской ГЭС до с. Н. Вязовые, от с. Н. Вязовые до г. Казани и от г. Казани до п. Камское Устье обусловлено достоверными различиями абиотических признаков между двумя первыми участками пойменных островов, а также пойменными и террасными островами.
3. Ранжирование островов по экологическому состоянию предлагается для рационального использования их природных ресурсов.

Апробация работы. Результаты исследований, составляющих основное содержание диссертационной работы, докладывались на I, II и III Республиканских научных конференциях "Актуальные экологические проблемы Республики Татарстан", 1993, 1995; 1997; международном конгрессе "The Sixth International Fuzzy Systems Association World Congress", Sao Paulo-Brazil, 1995; международном симпозиуме "9-th International Symposium on computer Science for Environmental Protection, CSEP'95", Marburg, Germany; международной конференции "Second International Conference on Application of Fuzzy Systems and Soft Computing, ICAFS-96", Siegen, Germany; Всероссийской конференции "Современная география и окружающая среда", Казань, 1996; Международном семинаре "Мягкие вычисления - 1996", Казань; Международной научно-практической конференции "Охраняемые природные территории", Санкт-Петербург, 1996; итоговой научной конференции КГТУ, Казань, 1999; Международной конференции "Когнитивное моделирование", Пущино, 1999; Юбилейной научной конференции Казанского научного центра Российской Академии наук и Академии наук Республики Татарстан, посвященной 275-летию Российской Академии наук,. Казань, 1999; V Международной научной конференции "Методы кибернетики в химико-технологических процессах", Казань, 1999.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 20 печатных работ. Из них: 4 статьи и 16 тезисов на международных, всероссийских и республиканских конференциях, в т.ч. 3 зарубежных.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Общий объем основного текста - 114 стр., включая 27 рис. и 12 таблиц. Приложение 25 стр. Список литературы содержит 190 наименований, в т. ч. 38 на иностранных языках.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА I. Проблема экологической оценки природных систем в условиях нечеткости информации (литературный обзор)

При оценке природных систем используются ботанические индикаторы экологических зон нормы, риска, кризиса и бедствия, которые учитывают признаки негативных изменений на разных уровнях: организменном (фитопатологические изменения), популяционном (ухудшение видового состава и фитоценометрических признаков) и экосистемном (соотношение площади в ландшафте) (Виноградов, Орлов, Снакин, 1993). Экологическое состояние природного объекта "норма" и наличие у него ценностных качеств (присутствие редких и исчезающих видов, а также и потенциальная возможность охранять объект) может служить обоснованием для определения его юридического статуса как охраняемой природной территории. Поэтому в набор характеристик конкретных территориальных единиц могут быть включены критерии природоохранной значимости: разнообразие, продуктивность, возраст биологических сообществ, восстановимость, редкость, уникальность, размер, натуральность, репрезентативность, вероятность антропогенных нарушений, образовательный потенциал, географическое положение, доступность, потенциальная эффективность охраны, культурная ценность (Пузаченко, Дроздова, 1986; Zhang, Oxley, 1994; Campana, Mendiondo; Tucci, 1995; Nolett, Domon, Bergeron,1995; Sahin, Hall,1996; Морозова, 1999 и др.). Вместе с тем существует мнение, что простейшие показатели – число видов отдельных групп, соотношение различных групп видов могут служить хорошими индикаторами состояния общего биологического разнообразия территории и иметь прогностическую ценность (Белоновская, 1997). Островные территории, кроме того, должны иметь дополнительные характеристики, обусловленные гидрорежимом - затоплением и подтоплением во время паводка или периодического изменения уровня водохранилища, изоляцией от материка, которая затрудняет иммиграцию и эмиграцию видов, антропогенной нагрузкой – от туризма до урбанизации территории острова под дачные поселения.

Используемое в оценке природных систем множество критериев может породить неопределенность из-за их разноплановости, несводимости к интегральной величине. Как следствие проблемы многокритериальности, возникает вопрос взвешивания критериев и показателей значимости. Имеются методы оценки, согласно которым несколько критериев объединяются в один (Куценко, 1992; Шапеева и др., 1994; Ott, 1978, см. Пых, Малкина-Пых, 1996). Так, прибавочно-весовой и мультипликативный методы предполагают присвоение каждому критерию определенного веса, характеризующего относительную значимость конкретного критерия. Недостатком этих поликритериальных методов является то, что максимально ценным может получиться объект, который имеет средние значения критериев. В "альтернативном методе" максимально ценным получается объект, который имеет максимальное значение любого из критериев. В отличие от описанных методов, лексикографический подход в решении многокритериальных

задач (Батыршин, 1990) помогает преодолеть такие недостатки ранжированием оценок с упорядочением, подобным алфавитному.

Задачи, касающиеся природных систем, обладают неполнотой, неточностью, противоречивостью, динамическим изменением исходных данных в процессе решения. Действительно, для природы континуальность (непрерывность) характерна в большей степени, чем дискретность (прерывистость) (Нееф, 1974; Миркин, Розенберг, Наумова, 1989; Рысин, 1995; Трофимов,1997), а неопределенность – свойство, подразумевающее невозможность исчерпывающего отображения сложных природных систем (Оценка качества...,1989). Это учитывает достаточно новый подход в современной математике, когда нечеткие суждения могут быть представлены с помощью нечетких множеств (Заде, 1976; Аверкин, Батыршин, 1986), а основные статистические зависимости, полученные традиционными методами, развиты с помощью нечеткого подхода, который предусматривает приблизительное знание характеристик для рассматриваемых природных систем и использование лингвистических переменных.

Приводится обзор существующих баз данных (БД) в области экологии и охраны природы. Международные БД можно подразделить на следующие виды: справочные (ИНФОТЕРРА, АГРИС), собственно банки данных (ГЕМС, ФАИРС), библиографические (АГРИС, АРИС, ФАИРС), аналитические (ГЕМС, АГРИС, АРИС, КАРИС, ФАИРС). По островным системам известны БД морских островов Channel Islands National Park (Davis, Halvorson, 1988), Isle Royale National Park, Big Cypress National Preserve (Protected Areas..., 1993). Следует отметить базу данных "SINAD", используемую с 1978 года для наблюдения за островными экосистемами и их компонентами в верхней зоне Волгоградского водохранилища (Принципы и методы..., 1986).

Проанализирована область применения экспертных систем (ЭС). ЭС используются в оценке экологического состояния окружающей среды в Среднем Приобье (Методы математического..., 1991); при выборе интенсивной технологии в растениеводстве; для принятия решений в чрезвычайных ситуациях; при управлении Днепровским каскалом водохранилищ (Компьютерные системы поддержки ..., 1991); при оценке проектов в планировании окружающей среды (Jornal of Environmental Management, 42:4,1994) и т.д. Подобные разработки для островных систем отсутствуют.

ГЛАВА II. Материалы и методы

В работе использованы фондовые материалы Института экологии природных систем АН РТ по натурному обследованию 89 островов Казанского района переменного подпора (КРПП) Куйбышевского водохранилища,[1] которые собирались путем маршрутных съемок (линейных трансект). Проанализированы следующие показатели биотических и абиотических компонент островов: флористическое разнообразие (число видов, число редких видов, доля адвентивных видов) и

[1] Выражаем глубокую благодарность И.Д.Голубевой, Т.Л.Шпак и Л.В. Саловой за предоставленные материалы по геоботаническому описанию островов Куйбышевского водохранилища.

фитоценотическое разнообразие (количество формаций), площадь островов, их высота, изоляция, удаленность от ГЭС, кратность затопления и степень антропогенной нагрузки. По данной выборке из общего числа 189 островов подсчитывалась ее репрезентативность.

Особенности информации по островам обусловили использование целого ряда математических подходов для обработки данных: традиционных методов статистики корреляционного, регрессионного, кластерного анализа, проведенных с помощью пакета программ Statistica 5.0; методов теории нечетких множеств - аппроксимации с помощью нечетких моделей, применения взвешенных отношений предпочтения, проведенных с использованием пакета программ Matlab 5.2.

ГЛАВА III. Физико-географическая характеристика КРПП Куйбышевского водохранилища

Физико-географическое описание КРПП проведено на основе работ: "Физико-географическое районирование Среднего Поволжья" (1964); "Географическая характеристика административных районов Татарской АССР" (1972); "Структура островных экосистем" (1980); И.Д. Голубевой, В.Г. Папченкова, Т.Л. Шпак (1990); "Экологические исследования Волжского бассейна" (1991). Участок КРПП акватории Куйбышевского водохранилища, протяженностью около 200 км, расположен между Новочебоксарской ГЭС (Чувашская республика) и п. Камское Устье (РТ) на границе трех ландшафтных провинций Среднего Поволжья: лесного Заволжья (Предкамья), лесостепного Заволжья (Закамья) и лесостепного Предволжья или пяти физико-географических районов: по левобережью Звениговского долинно-террасового района сосновых лесов (республика Марий Эл), Западно-Казанского террасово-долинного района сосновых лесов (РТ), Волго-Мешинского террасово-долинного района сосновых лесов (РТ); по правобережью Чебоксарского возвышенно-равнинного района со зрелым эрозионным ландшафтом и Цивиль-Кубнинского возвышенно-равнинного лесостепного района эрозионного ландшафта (Чувашская республика), Волго-Свияжского эрозионно-расчлененного грядового района с карстом (РТ). Эти районы имеют следующие физико-географические характеристики. Поверхность левобережья в основном представляет собой ступенчатую равнину, абсолютные высоты которой составляют от 25 до 120м. Притоки Волги немногочисленны. Почвы песчаные и суглинистые. Леса, преимущественно сосновые, занимают от 30 до 80% территории. По правобережью в рельефе выделяются две основные формы - долины и водоразделы. Средние абсолютные высоты 140-210м. В формировании рельефа существенна роль эрозионных процессов. Территория характеризуется густой речной сетью. Почвы в основном серые и темно-серые, реже представлены черноземы. Лесистость в среднем не превышает 10-11%.

Абиотические и биотические составляющие экосистем островов, хотя и находятся под влиянием материковых территорий, тем не менее они обладают специфическими особенностями, обусловленными своеобразием интразонального ландшафта. Главными отличительными чертами островных экосистем от

материковых является их географическая изоляция; микроклимат, который в вегетационный период приближается к морскому, а в зимний период – более континентальный, чем на материке (Терентьев, 1991); подверженность периодическим затоплениям во время паводка и подтоплениям в межень из-за колебания уровня водохранилища; активные геодинамические процессы в результате абразионной сработки берегов; преобладание в почвенном покрове островов пойменного типа аллювиальных, а террасного типа – дерново-подзолистых и серых лесных почв.

ГЛАВА IV. Информационная база данных по структурной организации экосистем островов КРПП и экологический паспорт острова

База данных сформирована на основе прямого обследования 89 островов и включает общие сведения по географическим, гидрологическим, абиотическим, биотическим и антропогенным характеристикам. Блок базы о растительном покрове островов содержит данные о количестве видов и формаций растительности, степени их проективного покрытия, возрасте, продуктивности; а также сведения о редких, исчезающих и адвентивных видах растений. Информация из базы данных может быть представлена в виде экологического паспорта. Паспортизация островов необходима для мониторинга состояния островов, ведения кадастровой документации и в целях рационального использования природных ресурсов в народном хозяйстве.

На основе разработанной базы данных проводится пространственное отображение характеристик разнообразия автотрофного компонента по продольной оси акватории водохранилища в виде гистограмм, которые показывают, что растительный покров островов КРПП характеризуется следующими флористическими и фитоценотическими параметрами: а) 70% островов насчитывает до 150 видов растений, а остальные 30% характеризуются высоким видовым разнообразием – (до 280 видов); б) 89% островов содержит до 6 редких и исчезающих видов растений, 11% - до 12 видов; в) флора 60% островов включает малую и среднюю доли адвентивных видов (до 6%), на остальных островах их доля возрастает до 16 %; г) 72% островов имеет невысокое фитоценотическое разнообразие (до 3 формаций), 14% – от 4 до 5 и 14% - от 6 до 8 растительных формаций.

ГЛАВА V. Анализ зависимости разнообразия автотрофного компонента островов КРПП от факторов среды с помощью статистических методов

5.1. Определение основных факторов, влияющих на разнообразие флоры и растительности

С помощью канонической корреляции получена высокая мера зависимости (R=0,72) между исследуемыми двумя множествами признаков: биотическим - с одной стороны и абиотическим - с другой. Наиболее значимыми признаками,

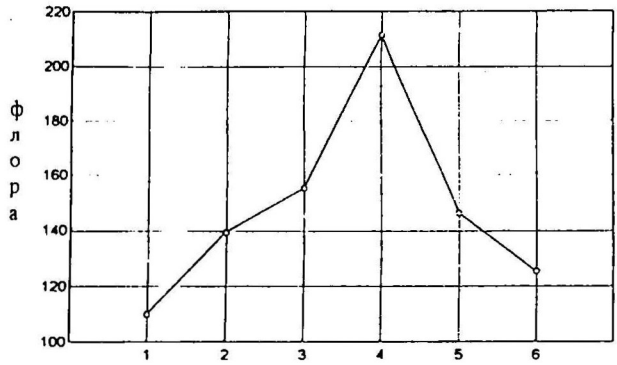

Рис. 1. Среднее флористическое разнообразие островов КРПП в зависимости от типа антропогенной нагрузки (1 - не используются – 110±8.25; 2 – сенокос - 139.32±9.46; 3 – пастбища – 155±21.5; 4 - сенокос + пастбища – 211.4±21.25; 5 – рекреация – 146.07±8.41; 6 - рекреация + промхозобъекты – 125.42±10.35)

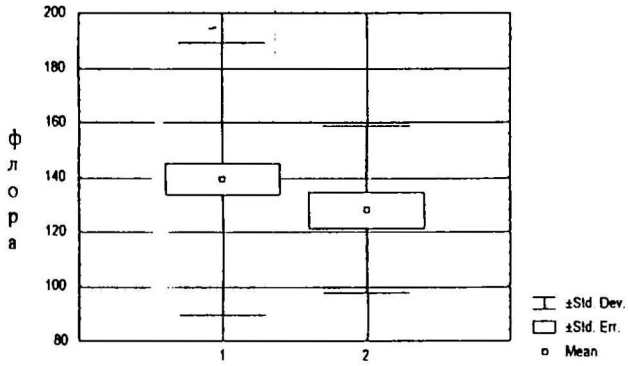

Рис. 2. Среднее флористическое разнообразие островов КРПП в зависимости от генезиса (1 – пойменные острова 139.2±49.8; 2 – террасные острова 128.89± 7.33)

которые содержат в себе большую часть информации комплекса данных и могут быть использованы для ранжирования островов по их природоохранной значимости, оказались: флористическое и фитоценотическое разнообразие, площадь островов, кратность их затопления и степень антропогенной нагрузки.

При определении зависимости каждого из исследуемых показателей разнообразия автотрофного компонента от факторов среды с помощью частной корреляции установлено: для пойменных островов флористическое разнообразие в наибольшей степени зависит от степени изоляции и антропогенной нагрузки, а фитоценотическое разнообразие - от площади острова; для террасных островов на разнообразие флоры

наиболее влияют изоляция и кратность затопления, а на фитоценотическое разнообразие - изоляция и распределение островов вдоль продольной оси акватории водохранилища.

5.2. Анализ связей показателей флористического и фитоценотического разнообразия островов с факторами среды

Сравнение флористического разнообразия в группах островов, испытывающих неодинаковую антропогенную нагрузку, показало наибольшее видовое разнообразие при средней степени антропогенной нагрузки - использовании островов под сенокос и пастбища (рис.1): не используются в хозяйственном обороте – 110±8.25; сенокос - 139.32±9.46; пастбища – 155±21.5; сенокос + пастбища – 211.4±21.25; рекреация – 146.07±8.41; рекреация + промхозобъекты – 125.42±10.35. Сравнение флористического разнообразия пойменных и террасных островов КРПП подтверждает теоретические соображения о том, что на ранних стадиях сукцессии разнообразие возрастает, а по мере приближения климакса вновь сокращается: среднее значение видового богатства M±m на пойменных островах оказалось выше 139.2±49.8, чем на террасных островах 128.89± 7.33 (рис.2).

С помощью корреляционного анализа получена общая закономерность для всех островов: положительная зависимость показателей разнообразия флоры и растительности от площади и высоты; отрицательная зависимость от кратности затопления и изоляции. На пойменных островах по градиенту распределения вдоль продольной оси акватории водохранилища для показателя фитоценотического разнообразия получена обратная зависимость (R ранг. = - 0.47) (рис. 3), а на террасных островах – прямая (R ранг.=0.65) (рис. 4). По градиенту степени антропогенной нагрузки на пойменных островах наблюдается прямая корреляционная связь (Rчаст.=0.35) флористического разнообразия с этим фактором (за счет увеличения количества адвентивных и культурных видов растений), а на террасных островах для редких и исчезающих видов – обратная (Rранг.= - 0.49). Коэффициенты корреляции показателей флористического и фитоценотического разнообразия с кратностью затопления (формации R ранг. = - 0.4, флора R ранг.= - 0.53, редкие виды R ранг.= - 0.35) и распределением по акватории (R ранг.= - 0.47, R ранг.= - 0.5, R ранг.= - 0.31) для пойменных островов очень близки, что подтверждает большое влияние гидрорежима на разнообразие флоры и растительности.

5.3. Группировка островов КРПП по признакам флористического, фитоценотического разнообразия и градиентам среды

С применением методов агломеративно-иерархического кластерного анализа проведена группировка островов по показателям количества формаций, видового разнообразия, площади, высоты островов и кратности их затопления за 100 лет, поочередно добавлялись показатели изоляции и распределения по акватории. Интерпретация сгруппированных данных с учетом географического расположения островов показала следующее. Три группы островов относятся к географически не

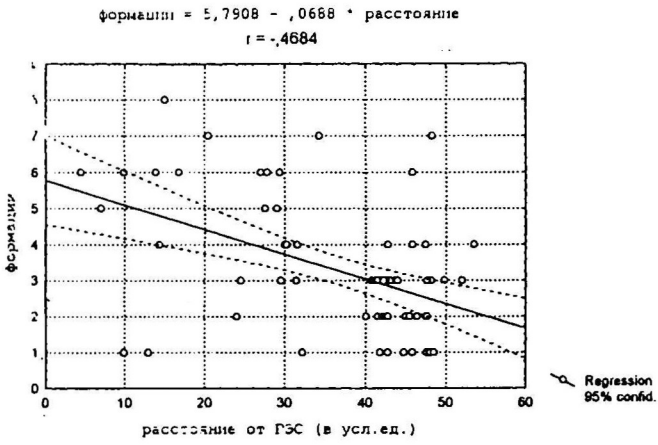

Рис. 3. Распределение фитоценотического разнообразия пойменных островов КРПП по продольной оси акватории водохранилища

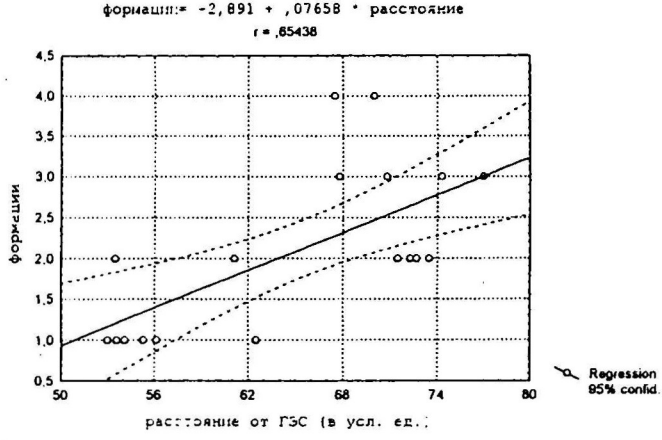

Рис. 4 Распределение фитоценотического разнообразия террасных островов КРПП по продольной оси акватории водохранилища

перекрывающимся участкам: от Новочебоксарской ГЭС до с. Н.Вязовые, от с.Н. Вязовые до г. Казани и от г. Казани до п. К.Устье. Группа островов, расположенная на участке от ГЭС до с. Н. Вязовые характеризуется большим геоморфологическим, флористическим и фитоценотическим разнообразием. Фактор затопления оказался определяющим при отделении группы островов, расположенных от с. Н.Вязовые до г.Казани, а фактор распределения по акватории - при отделении группы островов ниже г.Казани. В качестве

основных факторов, определяющих группировку островов, можно выделить размер островов, кратность затопления за 100 лет и фактор распределения по акватории, который совпадает с фактором генезиса при отделении группы террасных островов.

Табл. 1

Характеристики островов КРПП в группах: ГЭС-с.Н.Вязовые, с.Н.Вязовые - г.Казань, г.Казань – п.К.Устье (M±m, N=89)

Признаки	Участки акватории		
	ГЭС-с.Н.Вязовые	с.Н.Вязовые - г.Казань	г.Казань – п.К.Устье
флора	174,6±10,1	120,8±6,0	128,0±6,7
редкие	5,5±0,6	2,9±0,3	3,6±0,3
адвентивные	6,2±0,5	5,4±0,3	6,8±0,7
формации	4,5±0,4	2,6±0,2	2,1±0,2
площадь(га)	217,1±60,7	17,0±4,0	41,1±11,4
высота (м)	56,1±0,3	54,3±0,1	54,8±0,3
удаленность от ГЭС	22,2±1,9	44,6±0,5	65,7±1,8
изоляция	40,2±8,7	149,2±17,2	70,2±12,7
затопление	7,3±1,3	40,0±2,0	10,8±2,1
антропоген. нагрузка	3,0±0,3	3,5±0,3	3,4±0,4
Характеристика островов	преимущественно от хорошо сохранившейся зрелой прирусловой поймы; с большими и средними площадями, высоким гипсометрическим уровнем, в основном малой и средней степенью изоляции, редким затоплением, большим флористическим и фитоценотическим разнообразием	преимущественно от бывших опесчаненных участков зрелой прирусловой поймы; в основном с малыми площадями, низким гипсометрическим уровнем, большей степенью изоляции и частотой затопления, средним флористическим и фитоценотическим разнообразием	преимущественно от первой и второй надпойменных террас, характеризуются средними площадями, средним гипсометрическим уровнем, редким затоплением, малой и средней степенью изоляции, средним флористическим и фитоценотическим разнообразием

Различия между участками по признакам (табл. 1) проверялись по критерию Вилькоксона. Между первым и вторым участком, первыми двумя и третьим участком они достоверны при $p<0,05$ по признакам флористического и фитоценотического разнообразия, площади, распределению вдоль продольной оси акватории, гидрологическому признаку и высоте.

ГЛАВА VI. Анализ экологических данных по островам КРПП с применением методов теории нечетких множеств

6.1. Аппроксимация зависимостей флористического и фитоценотического разнообразия от факторов среды с помощью нечетких моделей

Для градиентов разнообразия, выделенных на основе результатов частного корреляционного анализа данных по всем островам КРПП (зависимостей

фитоценотического и флористического разнообразия от распределения по акватории водохранилища, числа редких видов растений от кратности затопления, видового богатства и доли адвентивных видов от изоляции, разнообразия растительности от площади, видового богатства от степени антропогенной нагрузки), было произведено сглаживание данных с помощью нечеткой модели Сугено. Эта модель дает более точное приближение по сравнению с регрессионной моделью и сглаживанием полиномами четвертой степени. Нечеткая модель Сугено состоит из правил R_i вида: Если $x=A_i$ то $Z_i=a_i x^* + b_i$, где A_i – нечеткий терм (нечеткое множество), определенный на множестве значений переменной x, x^* - численное значение x, для которого осуществляется нечеткий вывод, a_i, b_i – вещественные константы. Использование данной модели позволяет при значениях «малое», «среднее», «большое» лингвистической переменной A, отвечающей абиотическому признаку (вид функции принадлежности выбран трапециевидным), получить численное значение показателя разнообразия флоры и растительности островов. Вывод численного значения $Z^* = Z(x^*)$ на основе правил R_i $(i=1,\ldots,n)$ осуществляется по формуле: $Z^* = \frac{\sum_{i=1}^{n} W_i Z_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i}$, где W_i – степень принадлежности значения x^* нечеткому множеству A_i.

В процессе аппроксимации экспериментальных данных нечеткими моделями происходит адаптация функций принадлежности нечетких термов A_i и коэффициентов a_i, b_i с целью минимизации ошибки рассогласования между Z^* и Z эмпирическим.

Так, аппроксимация зависимости флористического разнообразия островов от их изоляции с помощью нечеткой модели дала мало флуктуирующую кривую. Максимум видового богатства наблюдается при изоляции острова 10 м (158 видов), минимум (83 вида) – при изоляции 480 м .

Была проведена аппроксимация зависимости флористического разнообразия террасных и пойменных (часто и редко затапливаемых) островов КРПП от двух факторов: площади и изоляции.

Ординация флористического разнообразия островов по их генезису, распределению вдоль продольной оси акватории, кратности затопления, площади и изоляции (рис. 5) показывает, что ось абсцисс плоскости ординации положительно связана с распределением островов по акватории водохранилища относительно точки отсчета - Новочебоксарской ГЭС. Генезис островов также изображен по этой оси. Приближение флористического и фитоценотического разнобразия по акватории водохранилища с помощью нечеткой модели представляет собой прерывистую линию. Затопляемость островов наибольшая на втором участке, отсюда - стрелки этого градиента сходятся на уровне этого участка. Таким образом, произведенная ординация демонстрирует вполне определенное изменение флористического и фитоценотического разнообразия островов при заданном сочетании условий среды на каждом из трех выделенных участков водохранилища.

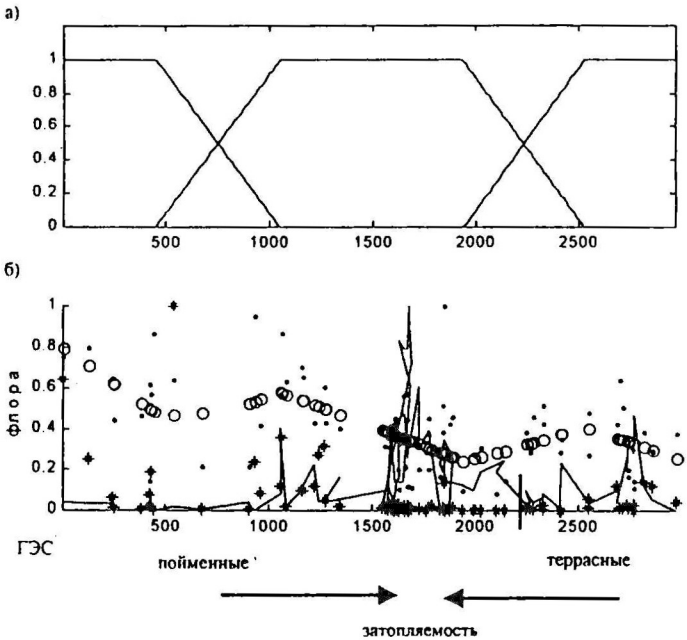

Рис. 5. а) Функции принадлежности трапециевидного типа для нечетких термов признака РАССТОЯНИЕ ОТ ГЭС {малое, среднее, большое}; б) Ординация флористического разнообразия островов КРПП (° - нечеткая модель, • - эмпирические данные) по генезису, градиентам распределения по продольной оси акватории водохранилища, площади (*), изоляции (—) и затопляемости (→ ←)

6.2. Ранжирование островов по их экологическому состоянию и природоохранной значимости с применением нечетких (взвешенных) отношений предпочтения

Определение экологического состояния и природоохранной значимости велось по флористическому и фитоценотическому разнообразию, количеству редких видов, площади островов, степени их изоляции, а также антропогенной нагрузки.

При попарном сравнении больший вес получает остров, имеющий большее число признаков, по которым он превосходит другой остров. Далее производятся преобразования матрицы сравнений по методу Орловского (1991) и лексикографическое упорядочение (Батыршин, Фаткуллина, 1999).

В выделенных трех группах к удовлетворительным отнесены острова с наименьшей степенью антропогенной нагрузки, используемые для туризма и сенокошения. К рисковым - с выраженной степенью антропогенной нагрузки: интенсивный выпас, сенокошение и рекреация. К кризисным - с высокой степенью антропогенной нагрузки: дачные застройки и промхозоъекты.

В первой группе - от Новочебоксарской ГЭС до с. Н. Вязовые - 18 островов находятся в удовлетворительном состоянии, 4 острова – рисковые, 2 - кризисные; во второй группе - от с. Н. Вязовые до г. Казани - 22 острова - в удовлетворительном состоянии, 11 остров – рисковые, 11 - кризисные; в третьей группе - от г. Казани до п. Камское Устье - 8 островов в удовлетворительном состоянии, 3 острова – рисковые, 10 островов - кризисные.

Различие между островами с различным состоянием по показателям флористического и фитоценотического разнообразия подтверждено с помощью критерия Вилькоксона ($p \leq 0.1$), причем большая достоверность получена для более зрелых островов.

В каждой группе ранжированные острова, находящиеся в удовлетворительном состоянии, можно рекомендовать в качестве охраняемых территорий.

6.3. Агрегирование информации в базе знаний экспертной системы по определению экологического состояния островов

Экспертная система (ЭС) по определению экологического состояния островов разработана нами на основе оболочки экспертных систем "Лексико" (Батыршин и др., 1991). База знаний ЭС состоит из правил, построенных в соответствии с результатами корреляционного и кластерного анализа, критериями выделения зон экологического неблагополучия (по Виноградову) и экспертными (субъективными) знаниями.

Для измерения оценок правдоподобности (ОП) в ЭС используется порядковая шкала вербальных градаций оценок правдоподобности: максимальная/6/, очень высокая/5/, высокая/4/, средняя/3/, малая/2/, очень малая/1/, минимальная/0/.

Например, для островов пойменного происхождения, находящихся на участке с. Н.Вязовые-г.Казань можно сказать, что они в основном небольшие, невысокие, часто затапливаемые, имеющие небольшое флористическое разнообразие. Эта совокупность показателей запишется в базе знаний в виде правила:

Правило N: если система=островная и участок=с Н.Вязовые-г.Казань то характеристика_островов=в_основном_острова_небольшие_невысокие_флористическое_разнообразие_невысокое, ОП=5.

Вне зависимости от контекста (как для террасных, так и для пойменных островов) на основе регрессионнных зависимостей записываются правила, например: *Правило NN: если система=островная и площадь=малая то число_видов=малое, ОП=4.*

В результате работы с ЭС выводится набор заключений, каждому из которых ставится в соответствие упорядоченный список оценок правдоподобности, использовавшихся при выводе этого заключения. Эти оценки правдоподобности упорядочиваются по возрастанию. Заключения, полученные как результат вывода по правилам базы знаний, лексикографически упорядочиваются между собой.

Допустим, что при оценке экологического состояния отдельного острова по трем цепочкам рассуждений получены заключения *экол. состояние=риск* со значениями оценок правдоподобности *ОП=(1)*, *ОП=(2)*, *ОП=(4)*, и заключения *экол. состояние=норма*, со значениями *ОП=(4)*, *ОП=(3)*, *ОП=(4)*.

Лексикографическое сравнение соответствующих упорядоченных списков оценок *(4,2,1)* и *(4,4,3)* приводит к большей правдоподобности заключения *экол. состояние=норма*.

От пользователя ЭС требуется задание входных значений состояния физико-географических, биотических, гидрологических, антропогенных показателей островов. Выходным значением ЭС является характеристика островов согласно полученным в работе закономерностям и оценка их экологического состояния.

ВЫВОДЫ

1. Анализ оригинальной базы данных позволил установить, что растительный покров обследованных островов КРПП характеризуется следующими флористическими и фитоценотическими параметрами: а) 70% островов насчитывает до 150, а 30% - до 280 видов; б) 89% островов содержит до 6, а 11% - до 12 редких и исчезающих видов; в) флора 60% островов включает до 6% адвентивных видов, а на остальных островах их доля возрастает до 16 %; г) 72% островов имеет до 3 - х, а 14% - до 5 и 14% - до 8 формаций растительности.
2. Установлены наиболее значимые признаки (методами канонической и частной корреляции), которые содержат в себе большую часть информации исследуемого комплекса данных и могут быть использованы для ранжирования островов по их природоохранной значимости. Это флористическое и фитоценотическое разнообразие, количество редких и исчезающих видов, площадь островов, кратность их затопления и степень изоляции, а также распределение островов вдоль продольной оси акватории и степень антропогенной нагрузки.
3. Сглаженные с помощью нечеткой модели показатели фитоценотического и флористического разнообразия дают возможность определения численных значений этих признаков при лингвистических оценках абиотических характеристик среды. Произведенная ординация наглядно показала зависимость флористического и фитоценотического разнообразия от сочетаний условий среды.
4. Определены общие закономерности изменения показателей разнообразия флоры и растительности в зависимости от градиентов среды (сравнение средних значений и парный корреляционный анализ):

   -максимум видового разнообразия при хозяйственном использовании островов под сенокос и умеренный выпас;

   -сравнительно более высокое видовое разнообразие на пойменных островах, чем на террасных;

   -положительная зависимость флористического и фитоценотического разнообразия от площади, а также высоты островов и отрицательная – от кратности их затопления, а также степени изоляции;

   -снижение фитоценотического разнообразия на пойменных островах и его увеличение на террасных островах по мере их удаления от ГЭС.
5. По признакам флористического, фитоценотического разнообразия и градиентам абиотической среды с учетом географического расположения (методом кластерного анализа) выделены три группы островов:

- I группа (от Новочебоксарской ГЭС до с. Н. Вязовые) - острова преимущественно от хорошо сохранившейся зрелой прирусловой поймы; характеризуются большими и средними площадями, высоким гипсометрическим уровнем, в основном малой и средней степенью изоляции, редким затоплением, большим флористическим и фитоценотическим разнообразием;
- II группа (от с. Н. Вязовые до г. Казани) – острова преимущественно от бывших опесчаненных участков прирусловой зрелой поймы; характеризуются в основном малыми площадями, низким гипсометрическим уровнем, большей степенью изоляции и частотой затопления, средним флористическим и фитоценотическим разнообразием;
- III группа (от г. Казани до п. Камское Устье) – острова преимущественно от первой и второй надпойменных террас; характеризуются средними площадями, средним гипсометрическим уровнем, редким затоплением, малой и средней степенью изоляции, средним флористическим и фитоценотическим разнообразием.

6. В выделенных группах на основе применения нечетких (взвешенных) отношений предпочтения получены списки островов, ранжированных по их экологическому состоянию и природоохранной значимости:
   - I группа - 18 островов в удовлетворительном состоянии, 4 острова рисковые, 2 - кризисные;
   - II группа - 22 острова - в удовлетворительном состоянии, 11 островов - рисковые, 11 - кризисные;
   - III группа - 8 островов в удовлетворительном состоянии; 3 острова - рисковые; 10 островов - кризисные.

В каждой группе ранжированные острова, находящиеся в удовлетворительном состоянии, можно рекомендовать в качестве особо охраняемых природных территорий.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в следующих работах:

1. Крылов А.А., Бойко В.А., Фаткуллина Р.Р., Пудовкина Н.В., Закиров А.Г. Локальная база данных "Экология островных систем" // Тез. докл. Межреспубл. Школы "Применение персональных компьютеров в биологии". Львов: Экоинфо. 1991. С. 20-21.

2. Крылов А.А., Фаткуллина Р.Р., Закиров А.Г. Моделирование экосистем и экологическое прогнозирование, создание баз и банков данных // Экологические исследования Волжского бассейна. Науч.-информ. бюллетень. Тольятти, 1991. С. 21-22.

3. Батыршин И.З., Гилязетдинов И.М., Закуанов Р.А., Фаткуллина Р.Р. Продукционная экспертная система с лексикографическими оценками уверенности // Гибридные интеллектуальные системы. Тезисы докл. Всесоюз. науч-практ. Конференции. Ч. 1 - Ростов-на-Дону - Терскол, 1991. С. 86-88.

4. Аюпов А.С., Фаткуллина Р.Р. Роль показателя разнообразия в изучении структуры островных экосистем (на примере сообщества птиц) // Актуальные экологические проблемы Республики Татарстан. Материалы I Республиканской научной конференции. Казань, 1995. С.46-47.

5. Зайнулгабидинов Э.Р., Фаткуллина Р.Р. Особенности происхождения и формирования растительного и животного мира островов Куйбышевского водохранилища

// Актуальные экологические проблемы Республики Татарстан. Тезисы II Республиканской научной конференции. Казань, 1995. С. 68-69.

6. Зайнулгабидинов Э.Р., Салова Л.В., Фаткуллина Р.Р. Анализ факторов, влияющих на видовое разнообразие флоры островов Куйбышевского водохранилища // Там же. С.67-68.

7. Batyrshin I., Fatkullina R. Context-dependent fuzzy scales and context-free rules for dependent variables // Proceedings of the Sixth International Fuzzy Systems Association World Congress, Sao Paulo-Brazil, 1995. Pp.89-91.

8. Batyrshin I., Fatkullina R. Fuzzy expert system for natural ecosystems // 9th International Symposium on Computer Science for Environmental Protection, CSEP'95 Metropolis-Verlag, Marburg, Germany,1995. Pp.713-718.

9. Batyrshin I., Khabibulin R., Fatkullina R. Application of Fuzzy Relational Clustering Algorithms to Ecological data // Second International Conference on Application of Fuzzy Systems and Soft Computing, ICAFS-96 Univ. Press of Siegen, Germany, 1996. Pp.115-117.

10. Зайнулгабидинов Э.Р.,Фаткуллина Р.Р. Применение кластерного анализа к группировке островных экосистем Куйбышевского водохранилища // Современная география и окружающая среда. Тезисы докладов Всероссийской научной конференции. Казань, 1996. С.42-43.

11. Фаткуллина Р.Р., Зайнулгабидинов Э.Р., Салова Л.В. Комплексный анализ неполных и плохо определенных экологических данных / Труды международного семинара "Мягкие вычисления - 1996". Казань, 1996. С. 205-208.

12. Фаткуллина Р.Р., Салова Л.В., Капитов В.Д., Шпак Т.Л. Некоторые методические аспекты выделения островов как памятников природы / Охраняемые природные территории. Сборник трудов международной научно-практической конференции Ч. 1. Санкт-Петербург, 1997. С. 63-66.

13. Фаткуллина Р.Р., Батыршин И.З. Решение задачи многокритериального выбора методом парных сравнений с лексикографическим упорядочением // Актуальные экологические проблемы Республики Татарстан. Материалы III Республиканской научной конференции. Казань, 1997. С. 219-220.

14. Сафин К.А, Рубинштейн Л.И., Фаткуллина Р.Р. Рапределенная интегрированная система обработки данных "РИСОД" и ее использование в области экологии и охраны окружающей среды // Там же. Казань, 1997. С. 216-217.

15. Фаткуллина Р.Р., Капитов В.Д, Салова Л.В. К созданию структур баз данных по эколого обеспечивающему каркасу // Там же. С.220-221.

16. Бойко В.А. и др., Фаткуллина Р.Р. Островные экологические системы и их функции в акватории равнинного водохранилища. // Там же. Казань, 1997. С.69-70.

17. Фаткуллина Р.Р., Сафин К.А, Рубинштейн Л.И. Базы данных по эколого обеспечивающему каркасу Республики Татарстан / Проблемы охраны и рационального использования природных экосистем и биологических ресурсов. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 125-летию И.И.Спрыгина. Пенза. 1998. С.122-124.

18. Батыршин И.З., Фаткуллина Р.Р. Многокритериальный выбор альтернатив на основе нечеткого отношения предпочтения и лексикографического упорядочения

(прикладные аспекты) // Методы кибернетики в химико-технологических процессах. Тезисы докл.V Межд. науч. Конф. Казань, 1999. С.195-196.

19. Фаткуллина Р.Р. Влияние типа антропогенной нагрузки на характеристики разнообразия автотрофного компонента островов равнинного водохранилища // Экологические проблемы промышленных регионов. Тезисы науч.-техн. Конф., проводимой в рамках Межд. Выставки "Уралэкология – Техноген'99". Екатеринбург, 1999. С. 102-103.

20. Батыршин И.З., Фаткуллина Р.Р, Бикбулатов А.А. Аппроксимация эмпирических данных с помощью нечетких моделей / В сб.: Обработка текста и когнитивная технология. Вып 3. Ред. Соловьев В.Д. Пущино, 1999. С. 35-42.

Р.Р.Фаткуллина