**Павлова Светлана Михайловна,**

*Смольный институт Российской академии образования*

*Россия, Санкт-Петербург, Полюстровский пр.58*

*spavlova222@mail.ru*

*+79213138488*

**Pavlova Svetlana Michailovna,**

*Smolny institute of the Russian Academy of Education*

*Russia, St. Petersburg, Polyustrovsky Ave 58,*

[*spavlova222@mail.ru*](mailto:spavlova222@mail.ru)

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ МОДЕЛЕЙ**

**FORMATION AND DEVELOPMENT OF MODELS OF POPULATION GROWTH WITH THE INVOLVEMENT OF LINGUISTIC INFORMATION**

**Аннотация:** Важность задачи мониторинга определяет особую актуальность обеспечения объективности и достоверности получаемой в процессе мониторинга информации. Ведь любое решение становится полезным и оптимальным, только когда оно основано на объективных и достоверных данных. Эта проблема понимается широким кругом ученых и практиков, связанных с философскими, математическими и информационными вопросами природоохранной и природопользовательской деятельности. Для более общих задач статистического мониторинга свойств сложного объекта, ориентированного на его специфику. При этом ЭС «АССИСТЕНТ» выступает в качестве базового модуля.

**Ключевые слова:** экологический контроль, устойчивое развитие, экспертная система; информационно-измерительные системы; мониторинг; лингвистические шкалы; байесовские интеллектуальные измерения.

**Abstract.** The importance of monitoring tasks defines a special urgency to ensure the objectivity and reliability of the resulting data in the monitoring process. After all, any decision becomes a useful and optimal one only when it is based on some objective and reliable information. This problem refers to a wide range of scholars and practitioners associated with the philosophical, mathematical and informational issues on environmental and natural activities for more general problems of statistical monitoring of the properties of a complex object, based on its specific character In this case ES "ASSISTANT" acts as a basic module.

**Keywords:** environmental control, information and measuring systems, monitoring, linguistic scales, Bayesian linguistic measurements.

Введение. Важность задачи мониторинга определяет особую актуальность обеспечения объективности и достоверности получаемой в процессе мониторинга информации. Ведь любое решение становится полезным и оптимальным, только когда оно основано на объективных и достоверных данных. Эта проблема понимается широким кругом ученых и практиков, связанных с философскими, математическими и информационными вопросами природоохранной и природопользовательской деятельности. Для более общих задач статистического мониторинга свойств сложного объекта, ориентированного на его специфику. При этом ЭС «АССИСТЕНТ» выступает в качестве базового модуля.

Для экологов большой интерес представляет выяснение вопроса, какие структуры сообществ обладают устойчивостью независимо от количественного выражения интенсивностей внутри- и межвидовых взаимодействий. Это, в свою очередь, породило новый класс объектов со специфическими свойствами. Изучение данного класса привело к формулировке ограничений на типы взаимодействия видов в качественно устойчивом сообществе [4,5,7].

1. Теоретическое обоснование регуляризирующего байесовского подхода.

Одним из способов повышения степени устойчивости решений является ограничение пространства возможных решений путем формирования системы дополнительных ограничений, приводящих к созданию компактного пространства устойчивых решений [1,4].

Основная идея регуляризирующего байесовского подхода (БРП) состоит в привлечении измерительного подхода в процесс байесовского оценивания путем применения шкалирования, метризующего пространство байесовских решений. Получение результатов ИИ на компактах иерархических (согласно структурам ОИ и ВФ) метрических шкал, согласно теореме Тихонова [4,7], обеспечивает их устойчивость в пределах этих компактов. Таким образом, введение измерительной шкалы, обусловливая дополнительные ограничения на пространство возможных решений, оказывает регуляризирующие действия, что обосновывает название данной модификации байесовского подхода и позволяет ввести задачу ИИ на основе РБП в класс условно-корректных по Тихонову. Алгоритмы ИИ, реализующие такую идейную основу, будут обладать регуляризирующими свойствами при проведении измерений в сложных измерительных ситуациях при значительной априорной неопределенности информации об ОИ и ВФ. Интеллектуальные измерения, реализуемые на основе РБП, назовем байесовскими интеллектуальными измерениями (БИИ). Для построения алгоритмов БИИ необходимо определить их принципиальную основу, которая характеризуется уравнением измерений.

1.2. Концепция шкалы с динамическими ограничениями.

Понятие абстрактной измерительной шкалы дано в работах [4,6,7], которое определяет шкалу как совокупность правил, позволяющих выполнить гомоморфное преобразование Ψ для отображения реляционной системы объекта G в знаковую систему шкалы (в частности, в числовую), представляющую собой реляционную систему GS со свойствами и отношениями   
 (1)

1.3. Основные свойства шкалы БИИ.

В измерительной практике используются разнообразные по измерительной мощности шкалы, теоретическому обоснованию и приложениям которых посвящены работы [4,6,7]. Наиболее полная их классификация приводится в литературе [4,7] по репрезентативной теории измерений, которая успешно развивается в настоящее время. В соответствии с нею все разнообразие шкал составляет несколько групп, к которым относятся шкалы наименований, порядка, интервалов, отношений, абсолютные, функциональные и др. В зависимости от их метрологических свойств они подразделяются на метрические и неметрические.

Метрические шкалы позволяют определять расстояние между соседними реперами носителя шкалы и организуются в метрическом пространстве результатов измерений — реперов шкалы. Неметрические шкалы [4,6,7] организуются на множестве элементов носителя шкалы, для которого понятие метрики (расстояния), как правило, не определено. К таким шкалам относятся шкалы наименований и порядка, для которых определены отношения эквивалентности (эквивалентности и порядка). Носители таких шкал могут быть представлены в виде лингвистических множеств. Эти шкалы используются в задачах классификации, распознавания, таксономии для принятия решений. Отсутствие метрических свойств в этих шкалах и целого ряда отношений, необходимых для реализации ШДО, не позволяет принять их в качестве основы для построения нового типа шкал БИИ.

1.4. Принципы синтеза шкал ШДО БИИ.

Построение любой измерительной шкалы начинается с формирования носителя шкалы, представляемого дискретным множеством результатов измерений , принятых в качестве представителя градаций измеряемого свойства q. Это позволяет рассматривать множество HK как подмножество множества нешкалированных возможных результатов H. При соблюдении условий (1) множество HK реперов шкалы неплотно покрывает множество H, а система носителя шкалы GS является фрагментом или подсистемой системы, соответствующей множеству результатов H. Для реализации измерительной шкалы пространство ее носителя HK должно быть метрическим, для которого определено понятие меры близости между отдельными элементами носителя шкалы. Тогда каждой паре hi, hj элементов носителя шкалы должно соответствовать вещественное число , удовлетворяющее аксиомам расстояния:

* неотрицательности:

(2)

* симметрии:

(3)

* треугольника:

(4)

1.5. Концепция и принципы построения сопряженной лингвистической шкалы БИИ

Не менее важную часть априорной информации, особенно в условиях измерительной ситуации БИИ, представляют собой сведения о лингвистической форме: естественно научные знания, наблюдения в форме описаний, аналоги из других предметных областей, лингвистические оценки экспертов, а также решения, выводы и рекомендации относительно ОИ, которые были получены ранее.

Для обработки и принятия решений на основе подобной информации развиты специальные теории: лингвистических переменных [4,7], теории возможностей [4,6], ситуационного управления [4,5] и др. Основой формализации такой информации в данных теориях является аппарат теории нечетких множеств, позволяющий отображать имеющуюся информацию в виде специальных функций — функции принадлежности которой придается следующий смысл:

(5)

где  — нечеткое множество множества X, а X — базовое множество или базовая шкала значений контролируемого свойства ОИ. Носителем Б нечеткого множества на такой шкале являются те элементы X, для которых значения функции принадлежности отлично от нуля: (1)

. (6)

2. Концептуальная основа параметрических байесовских интеллектуальных измерений.

Этап синтеза лингвистических параметрических шкал БИИ проводится в соответствии с методологией и по формулам (1,2) которые для лингвистического представления информации не имеют специфики в параметрических БИИ и поэтому не повторяются. Уравнение ПБИИ приведено далее в виде (3).

Если алгоритм ПБИИ состоит из нескольких этапов измерительных преобразований, то он реализуется в виде цепочки этапов ПБИИ.

Для статистик такими этапами алгоритма БИИ являются, как правило: этап их вычисления по эмпирическим данным по алгоритму и этап последующего шкалирования оценки статистики по алгоритму . Тогда ПБИИ принимает косвенных ПБИИ, для которых: (2)

* (7)
* КМХ результата (3):

(8)

* условная погрешность БИИ статистики: (3)

. (9)

Алгоритм ПБИИ синтезируется вновь при меняющихся во времени условиях измерения и поступающей информации. При этом меняется и все множество алгоритмов ПБИИ .

Возможна различная форма априорной параметрической неопределенности, соответствующая следующим ситуациям:

* какой-либо априорной информации о значениях или их диапазонах для параметра, а также априорного и точного выборочного распределения параметра нет;
* имеется информации о диапазоне изменения параметра, однако нет информации об априорном распределении значений параметра;
* имеется информация, достаточная для определения области распределения параметра, его априорного распределения и точного выборочного распределения параметра.

Если вид точного выборочного распределения статистики неизвестен, то его определяют либо путем аналитических преобразований, либо путем имитационного моделирования, либо принимают равномерно распределенными выборочными значения статистики. Алгоритм определения выборочного распределения статистики входит как подэтап преобразования в алгоритм t). Очевидно, что с накоплением информации вид точного выборочного распределения может уточняться.

При первой ситуации на начальном этапе шкала строиться от оценки статистики Альтернативные решения располагаются справа и слева от нее на расстоянии . В процессе измерений шкала развивается и достраивается, определяя истинный диапазон изменения параметра.

Для второй ситуации возможно построение универсальной параметрической шкалы БИИ, в которой элементы носителя шкалы выражены в относительных, приведенных к концу шкалы значениях.

Видно, что вид распределения вероятностей значений параметра может существенно повлиять на вид носителя шкалы БИИ. При неравновероятном априорном распределении параметра интервалы между соседними элементами носителя шкалы оказываются также неравномерными. Преимущества имеют элементы с меньшей априорной вероятностью.

Синтез алгоритмов ПБИИ статистик математического ожидания, дисперсии, коэффициентов асимметрии и эксцесса рассматривается в работах выше.

2.1. Алгоритмы БИИ статистик проверки статистических гипотез.

Можно показать, что задачи проверки статистических гипотез входя в класс задач измерительного контроля БИИ: (4)

(10)

где ,  — алгоритмы БИИ принятия решений по критерию и оценивания соответственно.

Обобщенный алгоритм проверки статистических гипотез по критерию может быть представлен в виде:

, (11)

где P( — интегральный распределения статистики ,  — уровень значимости критерия.

Можно переписать выражение для критерия в виде последовательности функциональных преобразований оценивания статистики и принятия решения по критерию :

. (12)

2.2. Измерительные задачи мониторинга сложных технических и природных объектов

К одним из самых наукоемких и технически сложных задач относятся задачи мониторинга сложных объектов. Понятие сложного объекта как объекта, полностью определяемого своими свойствами и отношениями между ними и другими объектами, составляющими среду функционирования приведены в [4.7.9]. К числу сложных объектов относятся объекты, активно взаимодействующие со средой, свойства и отношения между которыми неизвестны точно. Основными свойствами сложных объектов мониторинга являются [4,5]:

* естественная иерархичность структуры объекта, подтверждаемая созданными человечеством классификационными системами (например, для природных объектов классификации видов живых организмов — система Менделеева, иерархия слоев околоземного пространства, планетарная структура Солнечной и других космических систем и др.);
* существование реальных признаков, определяющих принадлежность характеристик объекта к тому или иному уровню иерархии структуры объекта;
* взаимосвязанность иерархических уровней, составляющих объект как единое целое, отражающая взаимосвязь характеристик объекта;
* невозможность точного формализованного описания объекта;
* уникальность объекта, обусловливающая трудности представления типового образа объекта;
* невозможность или нежелательность по каким-либо причинам экспериментов над ним как над источником информации при изучении или моделировании его свойств;
* значительная часть информации о таком объекте обычно содержится в форме сведений, наблюдений, рекомендаций, описания ситуаций и фактов из опыта общения с ним человека, представленных в семантической форме;
* распределенность объекта во времени и географическом пространстве;
* устойчивость, саморегуляция и самоорганизуемость при меняющихся условиях функционирования.

Примерами таких объектов могут быть технические системы, состоящие из ряда подсистем, характер взаимодействия которых не может быть определен точно доступными средствами, искусственные объекты, активно взаимодействующие со средой их функционирования, а также все природные объекты.

Понятие мониторинга для сложных объектов искусственного происхождения дано в [4,5]. Оно определяет мониторинг как процесс слежения за состоянием объекта и сопоставления его текущего состояния с контрольными образцами (уровнями или точками).

Термин «мониторинг» как понятие для природного объекта был впервые введен в использование на Стокгольмской конференции в 1972 году. После этого начали активно развиваться два направления мониторинга природных объектов, которые принципиально отличались друг от друга принятием и отрицанием функции регулирования (управления) природным объектом.

Так, в первой концепции мониторинг природного объекта понимается как процесс сбора, хранения, преобразования экспериментальной информации об объекте мониторинга и выработке регулирующего воздействия, направляемого на объект по линиям обратной связи. В определение понятия мониторинга во втором направлении [4,5] включаются все перечисленные подзадачи первого направления, кроме последней. Конечной целью мониторинга при этом считается выработка рекомендаций в поддержку тех или иных решений, оптимальных с точки зрения принятых критериев.

При втором главной целью мониторинга считается контроль состояния объекта при всемерном и всестороннем его познании и управлении процессом этого познания, а также выработке рекомендаций по регулированию антропогенного влияния, что обеспечивает, в конечном итоге, устойчивое развитие объекта.

Важность задачи мониторинга определяет особую актуальность обеспечения объективности и достоверности получаемой в процессе мониторинга информации. Ведь любое решение становится полезным и оптимальным, только когда оно основано на объективных и достоверных данных. Эта проблема понимается широким кругом ученых и практиков, связанных с философскими, математическими и информационными вопросами природоохранной и природопользовательской деятельности [1,4,5]. Как отмечается в работе Н. Н. Моисеева [4,5], «Объективность получаемых знаний — важнейший вопрос планетарной экологии». В работе отмечается важность задачи мониторинга и получения достоверной информации для обеспечения устойчивого развития экосистем, в том числе и в России. Реализация принципов и стратегических требований всемирных форумов в 1992 году в Рио-де-Жанейро и в 1994 году в Манчестере, сформулированных в «Декларации» и «Повестке дня XXI века», а также в обращениях и докладах их участников, возможна только на основе формирования современной информационной цивилизации, базирующейся на новых методах и средствах получения точных и достоверных знаний об окружающей природной среде.

Однако, хотя к решению задач мониторинга в настоящее время привлечены усилия многих ученых и организаций, многочисленные методические и технические средства, получение объективной информации, достаточной для познания закономерностей развития природной среды и функционирования сложных объектов, а также для принятия оптимальных решений экологического управления, остаются недоступными и по сей день. Основными причинами этого являются сложность самих объектов мониторинга, отсутствие эффективных методов и средств получения информации, ориентированных на специфику сложных объектов и метрологического обеспечения результатов мониторинга, субъективность окончательных решений о состоянии объекта, что при несомненной целесообразности использования опыта специалистов не позволяет обобщить весь объем полученной информации и вносит ошибки в результаты мониторинга.

Таким образом, эффективно решить задачи мониторинга сложных объектов в сложных измерительных ситуациях и использовать результаты мониторинга для обеспечения устойчивого функционирования сложных природных или технических систем можно только с позиций измерительного подхода на принципах единства измерений и при постоянном метрологическом обосновании получаемых результатов. [2,4,7].

Сопоставляя задачу мониторинга, как она определена выше, с классификацией типов измерительных задач, можно определить, что эта задача соответствует самой полной ветви измерительных задач формирования управляющих рекомендаций. Введение упрощений и ограничений в реальной практике мониторинга позволяет выделить его частные подзадачи: оценивания и контроля.

Необходимо отметить, что одна из существенных функций мониторинга — познавательная, что является неотъемлемым свойством ИИ. Постоянная необходимость пополнения и использования новых знаний в процессе ИИ создает естественную основу для применения их в ИИС мониторинга сложных объектов, указанные свойства сложных объектов согласуются со свойствами объектов измерения ИИ. [1,3,4].

Процесс реализации информационно-измерительных систем мониторинга предполагает выбор методической, информационной и технической баз ИИС. Специфика задач мониторинга сложных объектов предъявляет такого рода ИИС определенные требования, которые на основании приведенных выше рассуждений можно выразить следующим образом:

* в процессе мониторинга должно обеспечиваться познание объекта мониторинга (ОМ);
* решение задачи мониторинга должно производиться на основе всей доступной априорной информации об объекте мониторинга и среде его функционирования и информации, получаемой в процессе измерительного эксперимента;
* все получаемые промежуточные и окончательные результаты мониторинга должны иметь метрологическое обоснование в виде показателей их качества;
* для эффективного решения задач мониторинга модели объектов и СФ, а также методы, алгоритмы и средства мониторинга должны отражать основные свойства сложных объектов (в частности, свойства устойчивости, саморазвития и самоорганизации);
* результаты мониторинга должны быть представлены в формах значений параметров, аналитических выражений, выводов и решений, представленные в лингвистической форме.

Для более общих задач статистического мониторинга свойств сложного объекта, ориентированного на его специфику. При этом ЭС «АССИСТЕНТ» выступает в качестве базового модуля.

2.3. Экспертная система «АССИСТЕНТ» для статистического мониторинга сложных объектов

ЭС «АССИСТЕНТ» в настоящее время является основой нескольких ЭС для статистического мониторинга технических, искусственных и природных объектов, среди которых ЭС «АССИСТЕНТ-КЛАСС» для классификации технических и природных объектов по изображению, «АССИСТЕНТ-МЕТРОЛОГ» для метрологической исследовательской аттестации средств измерений, «АССИСТЕНТ-ГИДРОЛОГ» для мониторинга акваторий, «АССИСТЕНТ-ИХТИОЛОГ» для оценки состояния и характеристик рыбных ресурсов, «АССИСТЕНТ-БИОЛОГ» [4,5.9] для биосферного мониторинга экосистемы и др. Кроме того, ЭС «АССИСТЕНТ» применялась в задачах статистической обработки и мониторинга технологических производственных процессов, сложных перерабатывающих комплексов и стала интеллектуальной средой в виде ЭС «АССИСТЕНТ-ЭКОЛОГ» [4,6,7] в ИНИИС для оценки состояния атмосферы.

2.4. Определение состояния популяции промысловых видов рыб на основе разработанных алгоритмов

Каждый вид рыб или сообщество рыб в целом — это подсистема водной экосистемы, являющейся местом обитания данного вида или сообщества рыб. Поэтому, чтобы организовать мониторинг состояния того или иного вида рыб — для нужд промысла или, напротив, рыбоохраны — необходимо рассматривать этот вид или сообщество как часть более сложной системы.

Именно так построена экспертная система «АССИСТЕНТ-ИХТИОЛОГ», предназначенная для мониторинга состояния популяций промысловых видов рыб. Вид или популяция — объект мониторинга — рассматривается так, как показано на «Рисунке 1» и как описано в [4,5,6]:



«Рисунок 1». Схема формирования интегральной характеристики состояния вида в системе «АССИСТЕНТ-ИХТИОЛОГ»

Характеристики среди обитания применительно к рыбе — те же, которыми оперирует система «АССИСТЕНТ-ГИДРОЛОГ», т. е.: гидрография, гидродинамика, гидрофизика, гидрохимия и гидробиология. Естественно, что из всех ветвей древовидной структуры, описанной в подразделе, в набор характеристик среды обитания войдут в первую очередь практически важные для жизни рыб. (Ясно, что, допустим, электропроводность воды для жизни рыб практически неважна, а вот газовый состав — и прежде всего содержание кислорода — важен чрезвычайно.)

Кроме перечисленных при описании системы «АССИСТЕНТ-ГИДРОЛОГ», среди характеристик среды обитания рыб есть специфические. Это:

* условия нереста;
* условия нагула.

Внутренние характеристики вида (популяции) — в свою очередь, это:

* численность;
* биомасса;
* половозрастная структура;
* размер (средняя длина);
* плодовитость;
* воспроизводство.

В свою очередь, среди перечисленных есть сложные (интегральные) факторы: например, «половозрастная структура» состоит из таких конечных факторов, как «доля самцов до  1-го года», «доля самцов от года до 2-х лет» и т. д., «доля самок до 1-го года» — и по каждому конечному фактору имеется базовая и сопряженная лингвистическая шкала, свой набор значений , свое представление о норме. «Численность» также может рассматриваться как состоящая из «промысловой численности» и «численности молоди». И т. д., — с той степенью детализации, которая понадобится для решения задачи мониторинга состояния популяции с целью поддержки природопользовательских и природоохранных решений.

Наконец, социально-экономические условия, т. е. фактор, характеризующий антропогенное давление на исследуемую популяцию рыб — это:

* промысловые показатели;
* лимитирование;
* рыбоохрана;
* рыбоводство.

Эти показатели, разумеется, интегральные. «Промысловые показатели» раскрываются следующим образом:

* характеристика уловов;
* техническое оснащение;
* экономические показатели.

И эти показатели тоже интегральные. Например, «характеристика уловов» состоит из:

* сезона лова (количество дней);
* динамики уловов;
* места лова;
* коэффициента лова.

А «экономические показатели» — это:

* затраты на промысловую деятельность;
* затраты на административную деятельность;
* затраты на хозяйственную деятельность;
* энергоснабжение;
* кадры и зарплата;
* инвестирование;
* экономическая эффективность лова.

Таким образом, можно раскрыть любой из факторов, пока не будет достигнута требуемая степень детализации и пока не будет возможности измерить полученный конечный фактор и построить для него базовую и сопряженную лингвистическую шкалу. Эта шкала строится по принципам, описанным выше, с использованием для построения реперных точек, соответствующих пунктам шкалы, архивных измерительных (включая экспертные нечеткие) данных и  — теоретических данных, вытекающих из априорных математических моделей. Далее между реперными точками (пунктами шкалы — от ПНН до ПВН) строятся байесовские разделяющие границы, после чего система «АССИСТЕНТ-ИХТИОЛОГ» приступает к обработке вводимых измерительных данных.

Эти данные были предоставлены «Севзапрыбводом» и представляли собой архивные данные об уловах рыбы пресноводного фаунистического комплекса в восточной части Финского залива. После их обработки системой «АССИСТЕНТ-ИХТИОЛОГ» были получены результаты байесовских интеллектуальных измерений состояния популяций промысловых рыб. Данные, взятые в «Севзапрыбводе». (Здесь, так же, как и в подразделе, приведены только те данные, которые достаточны по объему для дальнейшей статистической обработки в соответствии с результатами решения обратной метрологической задачи.) Результаты байесовских интеллектуальных измерений отдельных факторов по базовой и сопряженной лингвистической шкале приводятся на рис.1 и результаты измерения состояний интегральных факторов.

Интерпретация результатов БИИ конечных факторов, характеризующих состояние популяций рыб, должна осуществляться следующим образом. Результаты байесовской идентификации математического ожидания соответствующих факторов, наивероятнейшее значение математического ожидания (оно и принимается за результат идентификации) соответствует кривой распределения с наибольшей «амплитудой» и наименьшим разбросом. Однако, так как результат БИИ, взятый целиком, есть набор из основной и альтернативных моделей, взятых со своими байесовскими достоверностями, то альтернативные значения математического ожидания даны на верхней шкале более короткими линиями, а на нижней — кривыми с меньшей «амплитудой» и гораздо большим размахом. (При проверке адекватности может оказаться, что соответствует действительности менее вероятное значение.)

Как видно из рис.1 большинство важных при оценке состояния популяций промысловой рыбы параметров идентифицируются не как «норма», а как отличающиеся от нее. Не всегда «выше нормы» — это лучше, чем «норма», — показатели делятся на прямые и инверсные. Например, размер особи — прямой показатель (чем больше, тем лучше), а процент молоди — инверсный: чем больше, тем хуже, поскольку увеличение относительной численности молоди в популяции свидетельствует о перелове. Поэтому такое сочетание состояний факторов, как на рис.1 свидетельствует об определенном неблагополучии рыб Финского залива. Интегральная оценка ситуации охарактеризована «АССИСТЕНТом-ИХТИОЛОГом»

Это не единственный вывод, который помогла сделать экспертная система. При исследовании отношений конкуренции и пищевых сетей внутри рыбного сообщества было и ранее известно, что для одних видов более значительно влияние сообщества в целом на вид, чем вида на сообщество, для других же — наоборот. Обозначив вероятность того, что вид более влияет на сообщество как P1 (здесь вероятность имеет чисто частотную интерпретацию, поэтому далее — частота влияния вида на сообщество), а обратную величину, частоту влияния сообщества на вид — как P2, и измерив эти величины с помощью «АССИСТЕНТа-ИХТИОЛОГа», было получено, что: (5)

* P1>P2 — для ерша, плотвы, леща, окуня;
* P2>P1 — для судака, ряпушки, корюшки.

Это означает, что для рыб второй группы влияние остальной части сообщества более весомо, чем для первой, им никак нельзя пренебречь, и это влечет за собой необходимость пополнения апостериорной информацией базы моделей (набор ).

Третий важный вывод, полученный с помощью ЭС «АССИСТЕНТ-ИХТИОЛОГ», тоже касается установления связи, наличием которой ранее пренебрегали. Хотя данные рис., полученные по архивным данным из табл. и свидетельствуют о неблагополучии рыбного сообщества Финского залива — о перепромысле, но данные об уловах не вяжутся с этим выводом: рыболовецкая статистика учитывает меньшее количество выловленной рыбы, чем то, которое дает «АССИСТЕНТ-ИХТИОЛОГ» по интегральным характеристикам экосистемы. Куда же девалась разница, вдобавок резко выросшая в 1992 году? При совместном анализе экосистемных и социально-экономических факторов выявилась одна возможная связь: через неучтенный вылов, через браконьерство население побережья компенсировало резкое падение реальных доходов, произошедшее в 1992 году. Люди «добирали» натурой — рыбой — неполученную зарплату, предприятия, скрывая уловы, уходили от слишком больших налогов.

Таким образом, использование системы «АССИСТЕНТ-ИХТИОЛОГ» позволяет оценивать интегральное состояние рыбного сообщества с учетом всех внутрисистемных и межсистемных связей, выявляя не учитывавшиеся ранее, если таковые имеются. Это существенно повышает качество оценки и, соответственно, качество природопользовательских решений, принимаемых на основе этой оценки.

2.5. Определение основных популяционных характеристик наземных видов диких животных на основе разработанных алгоритмов БИ.

Вторжение человека в естественный порядок вещей на планете Земля сказывается не только на водных экосистемах, но и в наземных. Процесс истребления целых видов идет во всех средах. Поэтому задача экологического мониторинга наземных животных не менее актуальна, чем задача мониторинга состояния сообществ рыб или водных экосистем в целом. Так как истреблению подвергаются в первую очередь крупные животные, имеющие охотничье-промысловую ценность, то именно задача мониторинга состояния популяций таких животных решалась прежде всего. Для решения этой задачи была создана экспертная система «АССИСТЕНТ-БИОЛОГ».

В рамках этой системы состояние вида рассматривается как результирующая трех групп факторов: факторы среды обитания, внутреннее характеристики вида и антропогенный фактор.

Из условия среды обитания, кроме абиотических, выделялись еще:

* кормовая база;
* хищничество;
* конкуренция.

Эти характеристики среды обитания специфичны для наземных позвоночных все они интегральные. Внутренние характеристики вида также несколько отличаются от используемых для рыб и включают в себя:

* численность;
* размер особи;
* половозрастную структуру;
* биопотенциал;
* миграции.

Эти характеристики также все интегральные. Например, «численность» может распадаться на «численность по данным промысловиков» и «численность по данным маршрутного учета» — эти цифры могут сильно различаться, и следует сказать о таком параметре, как «биопотенциал»: в него входит одновременно плодовитость и воспроизводство — т. е. такие величины, как число родившихся двоен, троен и т. д. на сто самок репродуктивного возраста, как доля яловых самок и такие как процесс выживаемости детенышей. Таким образом, характеристика биопотенциала отражает все параметры, связанные с продолжение рода в данной популяции. Интегральные показатель биопотенциала описывает способность данной популяции к воспроизводству, восстановлению после единовременной сильной убыли — словом, отражает жизненную силу данной популяции.

Сведения об антропогенном факторе влияния на вид, учитываемые ЭС «АССИСТЕНТ-БИОЛОГ», можно разделить на две большие группы. Это:

1. антропогенная нагрузка на среду обитания;
2. антропогенная нагрузка на популяцию.

Антропогенная нагрузка на среду обитания включает сведения об антропогенном разрушении среды обитания вида — вырубке лесов, распашке земель, химическом, радиационном и ином загрязнении этой среды, интродукции чуждых данной местности видов (биологическое загрязнение) и о последствиях этого загрязнения (сужение кормовой базы, исчезновение водных источников, изменения в отношениях конкуренции). Антропогенная нагрузка на популяцию — это, в основном, охота, так как ЭС «АССИСТЕНТ-БИОЛОГ» предназначена для мониторинга популяций, прежде всего, промысловых животных. Может включаться в этот раздел и информация о гибели животных от дорожно-транспортных происшествий, от применения ядохимикатов в сельском и лесном хозяйстве и т. п. Конечно, если антропогенное влияние не только негативно, а включает в себя также и охрану, лимитирование промысла, зимнюю подкормку, те или иные приемы восстановления среды обитания (лесонасаждение, например) — эти сведения также должны входить в характеристику антропогенного фактора.

Заказчиком системы «АССИСТЕНТ-БИОЛОГ» являлся Комитет по охотничьему хозяйству при главе администрации Ленинградской области — отсюда требования к подсистеме ввода данных [4,7] — на нем ввод данных осуществляется через интерфейс пользователя. Эти требования сводились к тому, чтобы ввод осуществлялся в базу данных, которая отражала бы стандартную форму лицензий на добычу животных, промысел которых ограничен. Заказчика интересовали, в первую очередь, данные мониторинга популяций лося и кабана; целью прикладной НИФ была разработка «советующей системы», т. е. алгоритма поддержки принятия решений о выдаче лицензий на промысел этих видов. Таким образом, система «АССИСТЕНТ-БИОЛОГ», как и подобает ЭС, с самого начала была ориентирована на работу с базой данных, причем данные были заранее организованы в строго установленную форму.

Данные по мониторингу состояния популяций диких наземных животных были получены не только по Ленинградской области. Результатами исследований заинтересовались также Главохота при Совете Министров Удмуртской Республики — и предоставила архивные данные о добыче лося. Эти данные о добыче, о состоянии популяций промысловых животных сведены в таблицы. Результаты байесовской идентификации параметров, распределений популяционных характеристик также приведены.

При анализе результатов параметрической идентификации было выявлено следующее: популяции как лося Ленинградской области, так и кабана Ленинградской области, и лося Удмуртии — неблагополучны. Это видно хотя бы из данных по биопотенциалу лося Удмуртии (8,9) — при проверке по критерию тренда обнаружено явное, прогрессирующее снижение способности к воспроизводству. То же самое можно сказать о лосином и кабаньем стаде Ленинградской области. Это первый вывод, сделанный ЭС «АССИСТЕНТ-БИОЛОГ».

Второй вывод состоит в следующем: как падение биопотенциала, так и возрастание доли молодняка в стаде (например, лосей), согласно экспертным данным егерей и охотоведов, говорит о перепромысле. Вместе с тем число выдаваемых лицензий на добычу зверей составляет ту же долю от общей численности стада (численность определяется по данным маршрутного учета), что и раньше. Таким образом, налицо неучтенный промысел, т. е. браконьерство. При определении с помощью ЭС «АССИСТЕНТ-БИОЛОГ» в соответствии с ИТ БИИ той численности и той половозрастной структуры, которая была бы у стада, если принять данные охотхозяйства за истину , выявилась такая значительная разница, что ее можно объяснить только следующим образом: на каждого учтенного лося или кабана (на каждую лицензию), добытого охотниками, приходятся несколько добытых браконьерски. Исходя из этого, система «АССИСТЕНТ-БИОЛОГ» рекомендовала уменьшить выдачу лицензий с учетом столь большого коэффициента браконьерства.

Кроме этих выводов, при БИИ популяционных характеристик наземных животных были получены и др. интересные результаты. Например, было выяснено, что популяция лосей Удмуртии состоит на самом деле из двух популяций — южной, мигрирующей между Удмуртией и Татарстаном, и северной, пути миграции которой заходят в Удмуртию из Коми АССР. Северная популяция, в соответствии с известным общебиологическим правилом [5,7,8] крупнее. Также было установлено, что посадки картофеля, других корнеплодов и вообще сельскохозяйственные культуры не занимают заметного места в структуре кормовой базы кабанов, несмотря на многочисленные жалобы по поводу потравы угодий кабанами. На основании результатов БИИ система «АССИСТЕНТ-БИОЛОГ» определила низкую достоверность этих жалоб и заключила: налицо желание населения добиться выдачи дополнительных лицензий. Этот вывод системе позволил сделать обобщенный в виде лингвистической информации опыт экспертов, находящийся в базе данных ЭС.

Выводы по статье:

1. Разработана инженерная методика определения моментных характеристик СО с учетом лингвистической информации. Эта методика реализована программно в ряде блоков ЭС «АССТСТЕНТ», существующих в нескольких модификациях.

2. Модификации системы: «АССИСТЕНТ-ГИДРОЛОГ», «АССИСТЕНТ-ИХТИОЛОГ» применены для мониторинга состояния водных экосистем, популяций рыб. В результате БИИ популяционных характеристик были установлены ранее не принимавшиеся во внимание взаимосвязи факторов.

3. Подтверждение выводов, полученных ранее экспертами: открытие новых связей; свойство поддержки принятия решений — позволяют отнести систему «АССИСТЕНТ» и ее модификации к интеллектуальным. Для характеристики поведения системы одной лишь устойчивости недостаточно, поэтому наряду с устойчивостью предлагается рассматривать еще и такое свойство, как упругость — способность системы сохранять свои внутренние взаимосвязи при возмущении ее состояния.

4. Для нескольких областей устойчивости это означает, что система допускает лишь такие переходы из одной области в другую, которые не приводят к исчезновению популяции из сообщества. Формальное определение упругости (в экологическом смысле) порождает и специальное направление исследования динамических систем.

5. Переход к информационным моделям требует методов исследования, связанных, в основном, с применением компьютерной техники. Здесь возникают методические пробелы, такие, как проблема недостатка информации или проблема оценки точности прогноза в условиях весьма малой точности измерений параметров системы. Последнее приводит нас к необходимости ревизии некоторых классических моделей с точки зрения использования их как элементарных звеньев больших систем [4,5,7].

Для характеристики поведения системы одной лишь устойчивости недостаточно, поэтому наряду с устойчивостью предлагается рассматривать еще и такое свойство, как упругость — способность системы сохранять свои внутренние взаимосвязи при возмущении ее состояния. Для нескольких областей устойчивости это означает, что система допускает лишь такие переходы из одной области в другую, которые не приводят к исчезновению популяции из сообщества. Формальное определение упругости (в экологическом смысле) порождает и специальное направление исследования динамических систем. Экологический контроль и устойчивое развитие моделей требует методов исследования, связанных, в основном, с применением компьютерной техники. Здесь возникают методические пробелы, такие, как проблема недостатка информации или проблема оценки точности прогноза в условиях весьма малой точности измерений параметров системы. Последнее приводит нас к необходимости ревизии некоторых классических моделей с точки зрения использования их как элементарных звеньев больших систем.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды.- Л.: Гидрометеоиздат, 1979.- 378 с.
2. Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение. – М.: Мир, 1992.- 368 с.
3. Лебедев А.Н. Модели сложных объектов. – Пенза: ППИ, 1977. – 71 с.
4. Д.Д. Недосекин, Е.А. Чернявский и др. Информационные технологии интеллектуализации измерительных процессов.- СПб.; Энергоатомиздат. Санкт- Петербургское отделение, 1995.- 178 с .: ил. ISBN 5-283-04706-76
5. Павлова С.М. Становление и развитие моделей популяционного роста/ С.-Петербург.электротех.ун-т.- СПб.,1996.- Деп. В ВИНИТИ 28.05.96, №1721-В96.
6. Павлова С.М. Влияние точности измерения на степень адекватности экологических моделей // Методы и средства измерения физ. Величин: Тез.докл.регион.науч.-техн.конф., Н.Новгород, 19 июня 1996 г. – Н.Новгород, 1996 г. – С.38.
7. Павлова С.М. Байесовская идентификация параметров природных объектов с привлечением лингвистической информации / С.-Петербург.электротех.-ун-т.- СПб, 1996.-6 с .- Деп. в ВИНИТИ 28.05.96, №1720-В-96.
8. Павлова С.М.Информационная и экологическая безопасность природной среды.-401с.Информационная безопасность регионов России (ИБРР-2017). Юбилейная X Санкт-Петербургская межрегиональная конференция. Санкт-Петербург, 1-3 ноября 2017 г.: Материалы конференции / СПОИСУ.- СПб., 2017. – 580 с. ISBN 978-5-906931-64-1
9. Павлова С.М. Экологический контроль и развитие моделей популяционного роста. Информационная безопасность регионов России (ИБРР-2017). Юбилейная X Санкт-Петербургская межрегиональная конференция. Санкт-Петербург, 1-3 ноября 2017 г.: Материалы конференции / СПОИСУ.- СПб., 2017. – 580 с. ISBN 978-5-906931-64-1.

**LITERATURE**

1. Israel Y. A. Ecology and environmental control.-Hydrometeoizdat,-1979.-p. 378.
2. Megaran E. Ecological diversity and it`s meauserement.- The World, 1992.-p.368.
3. 3.Lebedev A.N. The models of complex objects.-Penza: PPI,-1977-p.71.9.
4. 4.D. D. Nedosekin, E. A. Chernyavskiy etc. Information technology intellectualization of measurement processes.-SPb, Energoatomizdat. Department of Saint-Petersbug, 1995.- 178 с .: img. ISBN 5-283-04706-76.
5. Pavlova S. M. Formation and development of models of population growth/ Saint Petersburg State Electrotechnical University-SPb., 1996.-VINITI 28.05.96, №1721-B96.
6. Pavlova S. M Influence of measurement accuracy on the adequacy of the environmental models // Methods and tools for measuring physical quantities: Abstracts of report of the regional scientific and technical conference., N.Novgorod, 19th of June 1996.-N.Novgorod, 1996-p.38.
7. Pavlova S.M. Bayesian parameter identification of natural objects with the involvement of linguistic information/ Saint Petersburg State Electrotechnical University- SPb, 1996.-6 с .- VINITI 28.05.96, №1720-В-96.
8. Pavlova С.М.Информационная and ecological safety of environment. - 401s. Information security of regions of Russia (IBRR-2017). Anniversary X St. Petersburg interregional conference. St. Petersburg, on November 1-3, 2017: Conference \SPOISU materials. - SPb., 2017. – 580 pages of ISBN 978-5-906931-64-1
9. Pavlova S. M. Environmental control and development of models of population growth. Information security of regions of Russia (IBRR-2017). Anniversary X St. Petersburg interregional conference. St. Petersburg, on November 1-3, 2017: Conference \SPOISU materials. - SPb., 2017. – 580 pages of ISBN 978-5-906931-64-1