

ДИНАМИКА СПЕКТРОВ ВЫЛОВА РЫБ БАССЕЙНОВ РЕК ЕНИСЕЯ, ПЯСИНЫ, ХАТАНГИ ¹

А.В. Михеев, К.К. Джансеитов*

В результате применения методов системного анализа и реляционной математики к статистике уловов по исследуемым бассейнам выявлены максимально однородные связанные группы видов рыб как внутри каждого бассейна, так и между ними, определены "индикаторы" истинного вылова и состояния запасов промысловых видов рыб, выявлены цикличности в динамике вылова рыб каждого бассейна.

1 Постановка задачи

Работа посвящена выявлению характерных особенностей динамики спектров вылова рыб в бассейнах рек Пясины, Хатанги, Енисея (в пределах бывшего Красноярского края).

В работе используются данные промысловой статистики за период с 1947 по 1991 гг. о количестве принятой на приемных пунктах рыбы. Статистикой учтено 12 основных промысловых видов рыб по Пясине, 9 видов — по Хатанге, 22 вида и приемная категория "неразбор" — по Енисею. Порядковая нумерация видов приведена в табл. 1 (далее по тексту виды бассейна р. Пясины будут отмечены одной звездочкой (*), виды бассейна р. Хатанги — двумя (**)).

Таблица 1

Перечень исследованных видов рыб

1	Стерлядь	6	Хариус	11	Пелядь	16	Окунь	21	Корюшка
2	Осетр	7	Нельма	12	Чир	17	Язь	22	Налим
3	Таймень	8	Ряпушка	13	Сиг	18	Карась	23	Неразбор
4	Ленок	9	Тугун	14	Муксун	19	Елец		
5	Паляя	10	Омуль	15	Щука	20	Плотва		

Анализ осложняется наличием в исследуемых бассейнах возмущающих "шумовых" факторов социально-экономического, экологического и административного характера, влияющих на вылов и сдачу рыбы, которые, естественно, нельзя не принимать во внимание при анализе динамики численности популяции рыб. К таким влияниям на бассейн р. Енисея (на данных которого была отработана в 1999 г. используемая в настоящей работе методика анализа [1]) можно отнести, например:

¹При поддержке проекта T0270 по направлению 2.7 на этапе 2002

* © А.В. Михеев, К.К. Джансеитов, Красноярский государственный университет, E-mail: alex@krasfish.krsn.ru, 2003

строительство сети ГЭС (с перекрытием русел, образованием водохранилищ, изменением ландшафтов и т.п. как самого Енисея, так и его притоков) с началом заполнения водохранилищ: в 1957 г. — Иркутской ГЭС, 1959 — Братской, 1967 — Красноярской, 1973 — Усть-Илимской, 1974 — Хантайской, 1979 — Саяно-Шушенской, 1988 — Курейской;

активизацию грузопассажирских перевозок речных портов: с 1938 г. — Игарского, 1939 — Красноярского, 1949 — Дудинского, что не могло не привести к увеличению рынка сбыта ценных промысловых видов рыб, усилению браконьерства и т.п.

Принимая во внимание вышеупомянутые возмущающие "шумовые" факторы, влияющие на вылов и сдачу рыбы, трудно надеяться, что представленные данные промысловой статистики адекватно отражают как фактический вылов, так и текущие запасы; тем не менее для определенности в работе используется термин "количество вылова" вместо "количество сданного или принятого".

Основная задача работы: применить существующие и, быть может, разработать новые адекватные методы системного анализа и реляционной математики для изучения многомерных временных рядов (на примере исследования динамики "спектра вылова" по годам) с наложенными на них "шумами" с целью:

- выявления максимально однородных связанных групп видов рыб "спектра вылова" и групп годов вылова как внутри каждого бассейна, так и между ними;
- увязки выявленных групп видов и годов вылова с упомянутыми факторами;
- выбора "индикаторов" (типичных представителей групп), наименее подверженных влиянию этих "шумовых" факторов;
- извлечения максимально возможной информации о вероятных текущих запасах рыбных ресурсов (с предварительным выявлением, быть может, "индикаторов" этих запасов), о характеристиках и тенденциях изменений этих запасов.

2 Данные как объекты изучения методами реляционной математики и системного анализа

В настоящей работе использованы данные по сводной таблице вылова основных промысловых видов рыб в исследуемых бассейнах, представляющие собой суммарное (по всем рыбоприемным пунктам бассейна) количество вылова основных промысловых видов рыб по годам с 1947 по 1991 гг. Эти данные, с одной стороны, могут рассматриваться как два множества объектов, представляющих собой многомерные вектора, компоненты которых воспринимаются как значения характеризующих эти объекты признаков. Первое множество (выборка из генеральной совокупности лет) содержит 45 объектов (годов вылова рыб с 1947 по 1991 гг.), характеризуемых значениями 44 признаков (сданными количествами в центнерах видов рыб за год), которые далее будут называться значениями "спектра вылова" в рассматриваемый год; второе — содержит 44 объекта (виды рыб из спектра вылова), характеризуемых значениями 45 признаков (количествами сданных или, как было оговорено выше, выловленных рыб по годам).

Такой подход к данным позволяет привлечь к решению основной задачи (выявлению групп или введению разных отношений эквивалентности на множествах, увязки этих групп с возмущающими факторами ("шумами") или установлению отношений между элементами разных множеств, выборке "индикаторов" или оценке признаков

по информативности и минимизации их числа) все существующее многообразие методов теории классификации [2, 3].

С другой стороны, эти же данные могут рассматриваться как два семейства временных рядов или случайных функций с натуральными аргументами. Первое семейство представляет собой 45 случайных функций с натуральными аргументами (зафиксированными в какой-то мере логично в содержательном смысле номерами видов) и значениями — количествами сданного на приемных пунктах; второе семейство — 44 временных ряда длины 45 или один 44-мерный временной ряд длины 45.

Бросается в глаза недостаточная для традиционных методов анализа временных рядов и статистики случайных функций длина этих рядов, да и неопределенность характера функции распределения значений этих рядов. В таких случаях оказываются очень полезными методы развивающейся в последние десятилетия теории непараметрической статистики, включающие в себя теорию статистических выводов, основанных на рангах, и использующие разнообразные ранговые коэффициенты корреляции: знаковые или Хубера, обобщенные Хубера, Кендалла, Спирмана, конкордации Кендалла и др., которые работают не с абсолютными значениями элементов временных рядов, а, главным образом, с соотношениями "больше" или "меньше", "лучше" или "хуже", т. е. с различными отношениями порядка [4].

Оба упомянутых выше подхода к анализируемым данным требуют использования методов так называемой реляционной математики — математики, использующей всевозможные отношения любой арности на множествах и между элементами разных множеств, вместо традиционной классической математики, использующей, главным образом, отображения (функции, операции, операторы и т.п.), которые при желании тоже могут быть превращены в отношения на одну арность больше (графики, уравнения, системы "вход-выход" и т.п.). Эти методы позволяют избавиться от влияний большинства несущественных факторов на исследуемые данные, увидеть явление глобального характера ("большое видно издалека"). В совокупности они и формируют наряду с "эвристическими" правилами системного анализа так называемый "макроскоп— "прибор" видения "широкомасштабного" или "большого", в противоположность широко известному микроскопу.

Этот "макроскоп" позволяет осторожно, с разных точек зрения, связанных с разнообразными методами реляционной математики и системного анализа, в конце концов разглядеть желаемое глобальное (суть) в зашумленных данных об уникальной "большой" системе, не допускающей проведения активного эксперимента над собой.

3 Группы видов по характеру динамики вылова

При рассмотрении динамики ежегодного вылова рыб выделены 6 типов кривых динамики, характерных для популяций исследуемых видов:

1. Яркое выраженное снижение количества вылова с конца 40-х до 90-х гг. К данному типу относятся: по Енисею — таймень (3), тугун (9), плотва (20), по Пясине — нельма (7*).

2. Возрастание количества вылова с 1947 по 1991 гг. К данному типу относятся: по Енисею — омуль (10), пелядь (11), налим (22), по Пясине — чир (12*), по Хатанге — щука (15**), налим (22**).

3. Всплеск количества вылова находится между 1947 и 1969 гг. К данному типу относятся: по Енисею — осетр (2), ленок (4), паляя (5), ряпушка (8), сиг (13), ко-

рюшка (21), по Пясине — хариус (6*), сиг (13*), окунь (16*), по Хатанге — корюшка (21**).

4. Всплеск количества вылова находится между 1970 и 1991 г. К данному типу относятся: по Енисею — хариус (6), окунь (16), язь (17), карась (18), "неразбор" (23), по Пясине — пелядь (11*), щука (15*), налим (22*), по Хатанге — ряпушка (8**), чир (12**), сиг (13**).

5. Стационарная случайная функция, равновозможные колебания около среднего. К данному типу относятся: по Енисею — нельма (7), щука (15), по Пясине — муксун (14*).

6. Снижение количества вылова с конца 40-х гг. с дальнейшим повышением к 1991 г. К данному типу относятся: по Енисею — стерлядь (1), чир (12), муксун (14), елец (19), по Пясине — ряпушка (8*), тугун (9*), омуль (10*), по Хатанге — омуль (10**), пелядь (11**), муксун (14*).

По-видимому, такой разнообразный характер зависимостей обусловлен наложением на политику вылова различных социально-экономических факторов. Влияние экологических факторов, безусловно, также присутствует, но на фоне социально-экономических оно, скорее всего, не значимо. Одним из примеров может стать строительство сети ГЭС на Енисее и его притоках за период 1957-1988 гг., изменившее гидрологический режим реки — среды обитания рыб. Следствием этого стал более устойчивый уровень паводка, произошло изменение объема стока, температурного режима и других гидрологических характеристик. Однако реакция на данные воздействия у разных видов неадекватна — возможна как отрицательная, так и положительная. Например, после строительства Братской ГЭС в 1959 г. и Красноярской ГЭС в 1961 г. вылов налима (22) и окуня (16) увеличился, а вылов корюшки (21) — уменьшился.

Заметим, что все изменения количества вылова рассматриваемого вида, обусловленные социально-экономическими причинами, например введением квот на вылов, хорошо прослеживаются по характеру динамики его вылова, т.е. видны "переломные" годы, после которых характер динамики существенно изменяется по отношению к предшествующему периоду.

Введение вышеперечисленных типов позволяет разбить исследуемые виды на 6 групп по характеру динамики их ежегодного вылова относительно свойства изменчивости кривых динамики. Однако некоторые виды можно отнести как к одному, так и к другому классу, что указывает на необходимость применения других классификационных методов для сравнения полученных результатов.

4 Корреляционные, по Пирсону и по Хуберу, "плеяды" (группы) видов рыб

В настоящей работе для выявления наиболее сходных по наибольшему числу признаков объектов использован корреляционный анализ. Вычислена корреляционная матрица между видами рыб и выделены корреляционные "плеяды" (группы наиболее коррелированных видов), анализ которых позволяет сделать следующие выводы:

1. Выявлены 3 группы видов: {2, 4, 5, 6, 8, 13, 15, 17, 21, 7*}, {7, 10, 11, 16, 18, 22, 23, 11*, 12*, 13*, 15*, 16*, 22*, 8**, 12**, 13**, 15**, 22**}, {1, 3, 9, 14, 19, 8*, 9*, 10*, 10**, 11**, 14**}. Состав этих групп хорошо согласуется с составом групп по характеру изменчивости кривых динамики (п. 3).

2. В данной матрице присутствуют как положительные, так и отрицательные коэффициенты корреляции. Положительная корреляция обусловлена либо сходностью политики вылова рассматриваемых видов, либо сходностью их некоторых биологических признаков. Отрицательная корреляция говорит о наличии видов — "антагонистов". Причиной тому могут быть как биологические аспекты (конкуренция за питание, отношения хищник-жертва и т.п.), так и социально-экономические, например один вид выгоднее вылавливать, чем другой.

3. Направления отрицательных связей не противоречат введенной классификации, т.е. отрицательная связь между элементами одной группы отсутствует, а между элементами разных групп — присутствует.

Традиционные в статистике случайных функций характеристики — математическое ожидание, дисперсия, авто- и взаимно-корреляционные функции — могут оказаться излишне чувствительными, т.е. показать изменение математического ожидания и дисперсии, наличие корреляционных связей и цикличностей там, где их не могло быть по причине, например, воздействия внешних экологических факторов, и наоборот, вследствие наложения упомянутых выше шумов, не обнаружить изменения, связи и цикличности, возникшие под влиянием биологических факторов. Поэтому применение более грубых, учитывающих вместо абсолютных значений количества вылова отношения "больше-меньше" ("лучше-хуже") оценок типа коэффициента синхронности Хубера, например, может оказаться более эффективным при изучении динамики изменения количества вылова.

В результате применения данного анализа ко множеству видов рыб получено разбиение на группы, состав которых не совсем согласуется с составом групп, приведенных выше [5, 6]. Это объясняется тем, что применяемые методы используют различные свойства объектов.

5 Цикличности в годовой динамике вылова

Для выявления периодичности в годовой динамике вылова проведена оценка средневзвешенного репродукционного времени:

$$\bar{\tau}(t) = \frac{\sum_j c_{tj} \tau_j}{\sum_j c_{tj}},$$

где t_j — вылов j -го вида в t -ом году, τ_j — среднее репродукционное время j -го вида. Исходя из зависимости средневзвешенного репродукционного времени от года вылова можно определить диапазон изменения $\bar{\tau}(t)$, который составляет для Енисея — $6 \div 8.5$ лет, для Пясины — $6 \div 7.5$ лет, для Хатанги — $7 \div 8$ лет. Средние значения по времени $\bar{\tau}(t)$ оказались следующими: для Енисея — 6,8 лет, для Пясины — 6,9 лет, для Хатанги — 7,5 лет. Это объясняет наличие колебаний в суммарном ежегодном вылове с цикличностью от $2\bar{\tau}(t)$ до $5\bar{\tau}(t)$.

6 Визуализация множества видов рыб методом главных компонент

Метод главных компонент широко применяется в теории классификаций для решения так называемой XSD -проблемы: визуализации облака объектов и оптимизации признаков по информативности.

Применение данного метода для множества годов вылова позволило получить следующие результаты.

Информативности первых трех главных компонент оказались следующими: Y_1 — 23,3%, Y_2 — 13,5%, Y_3 — 8,9%.

На значение первой главной компоненты Y_1 при движении вдоль оси вправо наибольшее влияние оказывают следующие виды: 3 (с весовым коэффициентом 0,29), 9 (0,27), 1 (0,25), 9* (0,25), 10** (0,25). При движении влево наибольшее влияние оказывают виды: 22 (-0,26), 22* (-0,21), 11* (-0,21). Другими словами, положительное значение координаты y_1 некоторого объекта (года) обусловлено, скорее всего, высоким выловом в данном году видов с положительными весами и низким выловом видов с отрицательными весами и наоборот — отрицательное значение y_1 , скорее всего, обусловлено низким выловом видов с положительными весами и высоким выловом видов с отрицательными весами.

На значение второй главной компоненты Y_2 при движении вдоль оси вправо наибольшее влияние оказывают: 4 (0,27), 13 (0,27), 17 (0,26). При движении влево наибольшее влияние оказывают: 7 (-0,27), 18 (-0,21), 11 (-0,20).

На значение третьей главной компоненты Y_3 при движении вдоль оси вправо наибольшее влияние оказывают: 21** (0,34), 8** (0,24), 6* (0,23), 8 (0,23). При движении влево наибольшее влияние оказывают: 10* (-0,31), 4 (-0,27), 12* (-0,25).

Рассмотрим динамику распределения объектов (движения от меньших номеров к большим) в плоскостях первых трех главных компонент y_1Oy_2 , y_1Oy_3 , y_2Oy_3 (рис. 1). В плоскости y_1Oy_2 динамика распределения носит ярко выраженный циклический характер: начинаясь в четвертой четверти, через первую и вторую постепенно перемещается в третью. В плоскости y_1Oy_3 характер движения напоминает синусоиду: из четвертой в первую, затем обратно в четвертую, далее во вторую и затем в третью четверти. В плоскости y_2Oy_3 динамика движения также носит циклический характер: из третьей во вторую, затем в первую и в четвертую и обратно тем же путем. Следовательно, пространственная кривая по своему характеру напоминает спираль, что еще раз подтверждает наличие некоторой цикличности в значениях количества вылова по годам.

7 Выявление "индикаторов" групп

Для определения типичных представителей или "индикаторов" видов рыб спектра вылова введены так называемые коэффициенты опосредованной связанности или "типичности" [1].

Предложенные коэффициенты вычисляются на базе корреляционной матрицы между объектами и отражают "типичность" некоторого объекта по отношению к заданному числу наиболее сходных с ним объектов. Другими словами, данные коэффициенты основаны на принципе "друг моего друга - мой друг", например, если i -й объект "дружит" с j -м объектом, который, в свою очередь, "дружит" с k -м объектом,

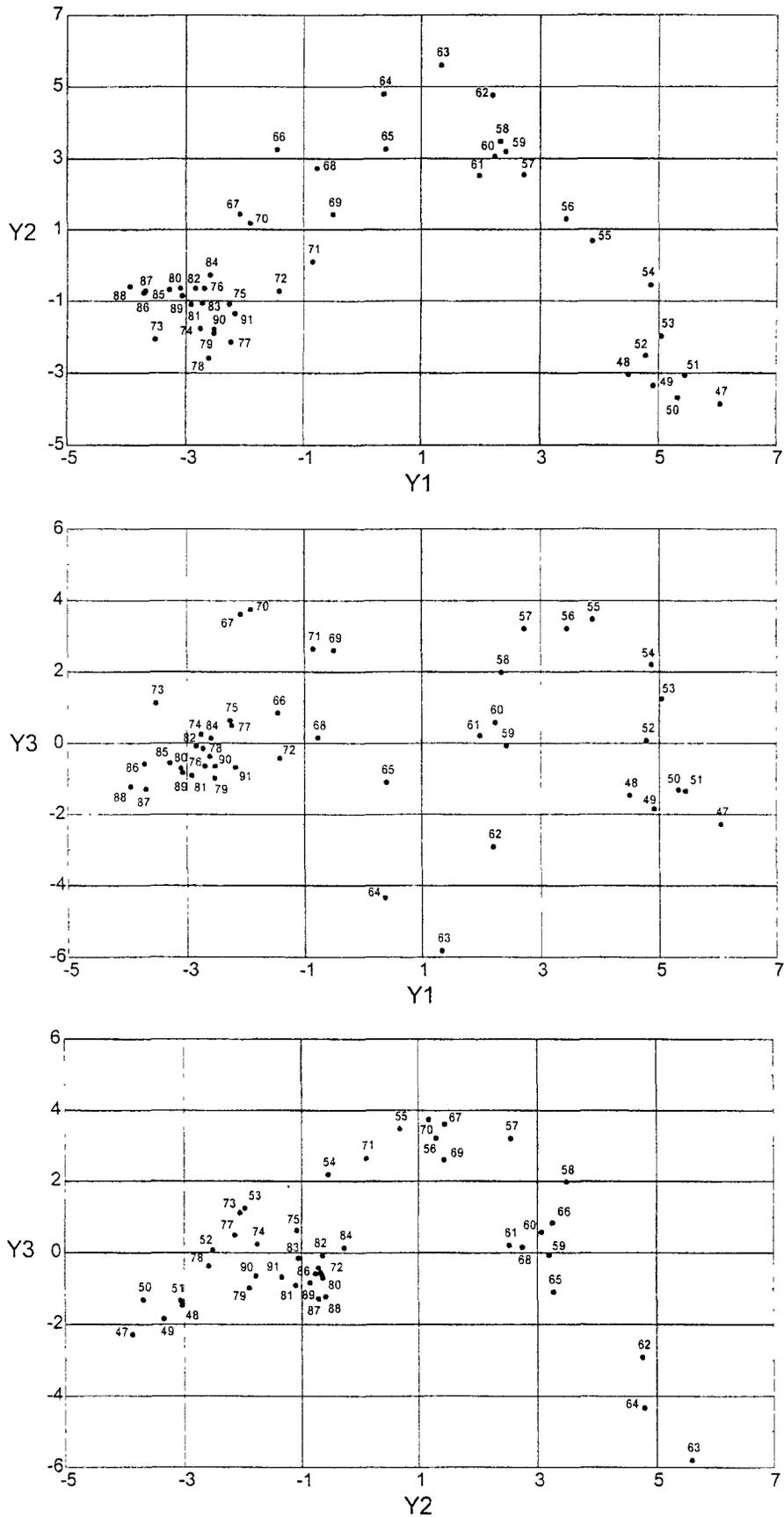


Рис. 1. Расположение классифицируемых 45 объектов (годов вылова с 1947 по 1991), характеризующихся 44 признаками, в плоскостях первых трех главных компонент

тогда i -й объект, опосредованно через j -й, также должен "дружить" с k -м объектом, т.е. эти коэффициенты отражают как бы степень транзитивности отношений связанности.

В результате применения предложенного алгоритма "индикаторными" оказались следующие виды: по Енисею: стерлядь (1), таймень (3), тугун (9), муксун (14), язь (17), налим (22), по Пясине: тугун (9*), пелядь (11*), налим (22*), по Хатанге: омуль (10**), муксун (14**).

8 Выводы

1. Различными методами реляционной математики, отражающими разные свойства "спектра вылова" из 44 видов рыб, выявлены максимально однородные связанные группы видов:

шесть групп по типам кривых динамики вылова за период 1947-1991 гг.;

три группы в виде корреляционных "плеяд" по Пирсону и несколько "плеяд" по Хуберу;

от двух до пяти групп в пространстве и плоскостях первых главных компонент; несколько групп по значениям опосредованных коэффициентов связанности.

2. Выявлены цикличности в 6-8 лет в годовой динамике вылова по значениям среднего по годам средневзвешенного репродукционного времени.

3. Показана возможность выявления "индикаторов" истинного вылова и состояния запасов промысловых видов рыб по величине коэффициента опосредованной связанности.

4. Для некоторых обнаруженных групп множества годов вылова за период 1947-1991 гг. выявлены соответствующие им годы проявления тех или иных факторов, возмущающе влияющих на вылов или сопутствующих изменениям вылова.

Полученные результаты могут быть использованы при прогнозировании уловов рыбы в исследованных бассейнах.

Список литературы

- [1] МИХЕЕВ А.В. *Анализ динамики вылова рыб в бассейне р. Енисей методами реляционной математики* / А.В.Михеев, К.К.Джансеитов, Ю.В.Михалев, В.Н.Лопатин: Препринт. – Красноярск: ИФ СО РАН, 1999. – 50 с.
- [2] ЗАГОРУЙКО Н.Г. *Методы распознавания и их применение* / Н.Г.Загоруйко. – М.: Сов. радио, 1972. – 214 с.
- [3] АЙВАЗЯН С.А. *Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности* / С.А.Айвазян, В.М.Бухштайер, И.С.Енюков, Л.Д.Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 608 с.
- [4] КЕНДАЛЛ М. *Ранговые корреляции* / М.Кендалл. – М.: Статистика, 1975. – 211 с.
- [5] МИХЕЕВ А.В. *Сравнительный анализ динамики вылова рыб бассейнов рек: Енисей, Пясины, Хатанги* / А.В.Михеев, К.К.Джансеитов, Ю.В.Михалев,

В.Н.Лопатин // Тезисы докладов VIII съезда гидробиологического общества РАН. – Калининград, 2001. – Т. III. – С. 62-63.

- [6] МИХЕЕВ А.В. *О возможности качественной оценки состояния рыбных ресурсов Енисея по ретроспективным данным* / А.В.Михеев // Проблемы использования и охраны природных ресурсов Центральной Сибири. Вып. 3. – Красноярск: КНИ-ИГиМС, 2001. – С. 160-169.