

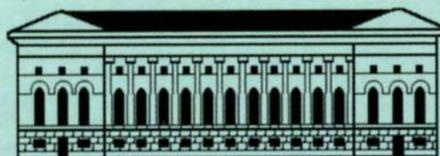
ISSN 0206-0477

**ТРУДЫ
ЗООЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ
БИОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМАТИКИ**



ПРИЛОЖЕНИЕ № 2, 2013



ТРУДЫ ЗООЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ПРИЛОЖЕНИЕ № 2

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ
БИОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМАТИКИ

Коллективная монография
под редакцией академика А.Ф. АЛИМОВА и С.Д. СТЕПАНЬЯНЦ



САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2013



УДК 59.002

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ КЛЮЧИ: ОТ ТЕКСТОВЫХ ДИХОТОМИЧЕСКИХ ДО КОМПЬЮТЕРНЫХ

А.Л. Лобанов, А.Г. Кирейчук, С.Д. Степаньянц и И.С. Смирнов

Зоологический институт Российской академии наук, Университетская наб.1, 199034 С.-Петербург, Россия;
e-mail: smiris@zin.ru; sofia@zin.ru

РЕЗЮМЕ

Дается информация о развитии биологической диагностики, первоначально как отрасли биологической систематики, а затем как самостоятельной науки. Во второй половине XX века формируются представления о теории идентификации, развиваются принципы и методы составления и применения ключей для определения биологических объектов. Перечислены и объясняются основные понятия, используемые в биологической диагностике, такие как *название таксона, признак, состояние признака, шаг определения и длина пути определения*. Рассмотрены формы идентификационных ключей: текстовые, матричные и машинные. Первые из них – наиболее типичные для использования в бумажных версиях биологических определителей. Они бывают серийными (традиционны для Зоологического института РАН) и скобочными (приняты в большинстве западных определителей). Матричные ключи применяются крайне редко. Машинные ключи представляют собой специальные компьютерные формы хранения и использования диагностической информации. Диагностические ключи бывают *одновходовыми* (диагноз начинается всегда с одного признака или с альтернативы типа «есть–нет»), если же у определяющего есть выбор между несколькими признаками, то ключ – *многовходовый*. Если в признаке отмечается несколько состояний (больше двух), то возможность выбора из этих состояний приводит к тому, что ключ становится *политомическим*. Нельзя путать многовходовые и политомические ключи, потому что это – разные понятия с разными основаниями. Причина путаницы заключается в том, что многовходовые ключи – почти всегда политомические. В отношении машинных ключей дается описание процесса определения биологических объектов по программам, разработанным в Зоологическом институте РАН, в режиме «человек-компьютер». Удобной для пользователей оказалась форма распространения компьютерных определителей – публикация их на компакт-дисках (CD-ROM и DVD-ROM). В последние годы разработано программное обеспечение к многовходовым политомическим определителям с использованием их в сети Интернет.

Ключевые слова: текстовые, матричные, машинные, одновходовые, многовходовые, дихотомические, политомические диагностические ключи; биологические объекты; название таксона, признак; состояние признака

DIAGNOSTIC KEYS: FROM THE TEXTUAL DICHOTOMOUS TO COMPUTER ONES

A.L. Lobanov, A.G. Kirejtshuk, S.D. Stepanjants and I.S. Smirnov

Zoological Institute RAS; e-mail: smiris@zin.ru; sofia@zin.ru

ABSTRACT

Information on development of biological diagnostics is given, initially as a branch of biological systematics and then as a separate science. In the second half of the 20th century identification theory had taken shape, principles and methods of compiling and application of keys for identification of biological objects had been developed. The major notions used in biological diagnostics, such as taxon, character, character state, identification step and length of identification path are listed and explained. Forms of identification keys, textual, matrix and computer, are considered. The first-mentioned are most typical of using in paper versions of biological keys. They may be yoked (traditional for the Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences) and bracketed (accepted in the western

literature). Matrix keys are used extremely rarely. Computer keys are special computer forms for storage and using of diagnostic information. Diagnostic keys are monoentry (diagnosis always begins with one character or with the alternative of type "present-absent"); when the user can choose between several characters the key is multientry. If several character states (more than two) are noted the possibility of choosing between these states makes the key polytomous. One should not confuse multientry and polytomous keys. These are different notions with different bases. The cause of confusion is that multientry keys are nearly always polytomous. In relation to computer keys a description of the process of identification of biological objects using programs developed at the Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences in the "man-computer" mode is given. The form of dispersal of computer keys, their publication on compact discs (CD-ROM and DVD-ROM) was convenient for the users. In the recent years software for multientry polytomous keys and for using them in the Internet has been developed.

Key words: diagnostic keys: textual, matrix, computer monoentry, multi-entry, dichotomous, polytomous; biological objects; taxon, character; character state

Потребность узнавать название животного, растения или гриба возникла у человека очень давно, когда стали появляться общепринятые названия. Сначала для этого использовалась устная информация, передававшаяся из поколения в поколение. С появлением письменности эта информация стала фиксироваться на бумаге или на другом твердом носителе. Книгопечатание способствовало созданию специальных руководств. Но историю определительных ключей, то есть ключей, ориентированных именно на определение таксономической принадлежности тех или иных живых объектов, обычно начинают отсчитывать от «Флоры Франции» Ж.Б. Ламарка (Lamarck 1778), где проблеме идентификации была посвящена специальная глава. С тех пор печатные ключи видоизменялись, совершенствовались, но теорией идентификации никто специально не занимался. Лишь во второй половине прошлого столетия произошел всплеск интереса к этой проблеме и сформировалась особая отрасль биологической систематики – биологическая диагностика. Биологическая диагностика занимается теоретической разработкой принципов и методов, а также практикой составления и применения ключей (определителей) для идентификации (определения) биологических объектов, то есть выяснения их таксономической принадлежности. Из этого следует, что диагностика долгое время рассматривалась как сестринское направление таксономии, то есть часть систематики. Но в течение второй половины прошлого столетия диагностика выросла, несомненно, в самостоятельную дисциплину, проблемам которой посвящено множество монографий и статей (Балковский 1962; Кискин, Печерская и Печерский 1965; Кискин

1966; Лобанов 1972, 1975а, б, 1983; Lobanov et al. 1981; Свиридов 1973, 1976, 1978, 1981, 1994; Allkin and White 1988; Bisby 1988; Boswell and Gibbs 1986; Dedet, Lebbe and Vignes 1990; Estep 1989; Holmes and Hill 1985; Leuschner and Sviridov 1986; Miller and Day 1990; Pankhurst 1978, 1986, 1988, 1991; Pankhurst, Dallwitz and Payne, 1984; Payne 1978; Payne and Preece 1980; Rubio 1986; Schalk 1993; Sviridov and Leuschner 1986; Tilling 1984; Vignes, Lebbe and Dedet 1990; Watson 1981; Winfield et al. 1987 и др.).

Основные биологические понятия, используемые в биологической диагностике – «таксон», «признак» и «состояние признака».

Таксон (taxon) – название конкретной систематической группы организмов, имеющей однозначное обозначение. Например, «класс насекомых», «семейство Atorellidae» (медузы), «род Symplectoscyphus» (гидроидные), «человек разумный» и т.п.

Здесь термин «таксон» подразумевает название того или иного таксона и не имеет ничего общего с понятием «таксон» охарактеризованном в Международном Номенклатурном Кодексе.

Признак (character) – любое свойство или черта организма, которое доступно формализации и которое может свидетельствовать об объекте (организме). Таким образом, функционально признак – элемент распознавания (в логике именуется «достаточным условием»). Однако в биологической диагностике признаки таксонов условно объединяют в группы или «классы» по сходству и принадлежности, принимая каждый класс как особый «признак». Например, «цвет тела», «число краевых зубцов гидротеки», «наличие пор на антенномерах» и т.п.

Здесь название «класс» не имеет ничего общего с таксономической группой – высоким таксоном под названием Класс.

Состояние признака (state of character) – член (элемент) того или иного класса, принятого за отдельный признак (конкретное значение элемента распознавания). В традиционных одноходовых ключах состояния признаков находятся в соответствии с тезой или антитезой. Например, «черное тело», «три краевых зубца гидротеки», «поры отсутствуют» и т.п.

Один признак может включать 2 или более состояний (в другой терминологии – тезе могут соответствовать одна или несколько антитез). Теза и антитеза – два строго альтернативных понятия. Если в определительном ключе дается описание того или иного состояния признака (теза), то строго альтернативное описание этого состояния признака должно содержаться в антитезе (без добавлений описания других состояний).

В таксономической литературе, при описании того или иного таксона, дается его диагноз – лаконичное описание наиболее важных признаков и их состояний. В диагностической процедуре **диагнозом** называется одно определение, охватывающее совокупность необходимых и достаточных для однозначной идентификации состояний признаков того или иного таксона. Вместе с тем диагнозом нередко называется процедура конкретного определения таксона, который разделяется на шаги. **Шагом** называется цикл, состоящий из рассмотрения признака и выбора состояния этого признака на определяемом объекте (или выбора между тезой и антитезой).

Длина пути определения – число шагов, сделанных определяющим до получения однозначного ответа.

Диагностические ключи классифицируются по разным аспектам (основаниям классификации). Наиболее важные из них три – число входов, число состояний, выделенных в одном признаке, и форма представления ключа. Особое значение придается числу входов.

Многоходовость – это возможность на каждом шаге определения выбирать наиболее удобный или надежный для определяющего элемент распознавания из нескольких. Если такой возможности нет, то определитель считается **одноходовым**, а если она есть – **многоходовым**.

Часто этот аспект классификации ключей смешивают со следующим – числом состояний в одном признаке (числом альтернатив на каждом шаге определения). Если мы имеем две альтернативы – тезу и антитезу, ключ – **дихотомический**. Если хотя бы в одном случае таких альтернатив 3 или более – ключ считается **политомическим**.

Последний термин часто ошибочно используют для обозначения многоходовых ключей. Это совершенно неверно и связано только с тем, что многоходовые ключи обычно бывают политомическими, ибо, в отличие от традиционных текстовых одноходовых ключей, форма здесь не диктует составителю строгую дихотомичность.

Важная общая черта одноходовых ключей – диагноз начинается всегда с одного признака (или с одной группы альтернатив – тезы и антитезы). Если этот признак недоступен пользователю, то такой ключ почти бесполезен. Ситуацию нельзя назвать редкой – определители жуков часто начинаются с важных признаков – числа члеников усиков или лапок, которые в коллекциях часто бывают обломаны. Обойти этот недостаток, можно только создавая многоходовые ключи, в которых первый (и вообще – очередной) признак выбирает сам пользователь (простейший пример приведен далее, на Рис. 4).

Доводы биологов в пользу отказа от строгой дихотомии неоднократно приводились в литературе (Кискин 1966; Свиридов 1973 и др.), поэтому мы остановимся только на математическом и психологическом аспектах выбора числа состояний в одном признаке. Если минимизировать общее число состояний признаков в ключе для определения заданной группы таксонов, то оптимальный средний объем признака – величина, равная основанию натуральных логарифмов, $e=2.718$ (Лобанов 1983). Если измерять длину пути определения не числом шагов (числом использованных признаков), а суммарным числом состояний в использованных признаках (Гамбарян 1975), то минимум средней длины достигается при среднем числе состояний в одном признаке, равном 3.69 (Сумароков 1974). Таким образом, математический подход к оптимизации определителей рекомендует среднее число состояний одного признака от 2.7 до 3.7 (политомия, с преобладанием тритомии, но с использованием и дихотомических признаков). Это хорошо согласуется и с потребностью биологов выделять во многих случаях

третье состояние даже в таких, казалось бы, дихотомических признаках, как «наличие-отсутствие» (иногда логично выделить еще и рудиментарное или зачаточное состояние). Верхняя граница числа состояний одного признака диктуется скорее особенностями человеческого восприятия и памяти. Специальные исследования (Miller 1956) показывают, что объем кратковременной памяти ограничивается 7 ± 2 блоками сопоставляемой информации. Очевидно, что использование в одном признаке более 7–9 состояний только затруднит работу с определителем.

По форме представления можно выделить много типов ключей, но мы здесь будем говорить только о **текстовых** (традиционная форма публикации определителей у отечественных зоологов), **табличных матричных** (одно из редких исключений – Первый том «Определителя паразитов пресноводных рыб фауны СССР», ред. О.Н. Бауэр и С.С. Шульман, 1984). Другая форма табличных ключей может быть представлена в виде перфокарт (Кискин, 1962, 1967). Наконец, **машинные ключи**, представляющие собой специальные компьютерные формы хранения и использования диагностической информации (Лобанов 1983).

Понятие «компьютерная идентификация» стало настолько широким, что мы считаем необходимым, четко ограничить ту область, которая рассматривается в этой работе. Во-первых, речь пойдет только о таксономических диагностических компьютерных системах, т.е. о таких программах, которые предназначены для отнесения экземпляров живых организмов к таксонам, ранее выделенным систематиками (т.е. к заранее установленным таксонам). Во-вторых, мы не рассматриваем такие постановки этой задачи, в которых признаки таксонов не выделяются заранее в явной форме экспертом, а формируются самой программой. Такие системы известны в биологии (например – Katsimis and Poularikas 1986; Draper and Keefe 1989), но их разработкой занимается специфичная отрасль кибернетики – теория распознавания образов, весьма далекая от биологической систематики. Наконец, существуют системы, в которых признаки таксонов выделяются экспертом, но считывание этих признаков с определяемого экземпляра производит не сам человек, а оптическое устройство и управляющая им программа. Такого рода системы разрабатываются специалистами по автоматической обработке изображений (Fdez-

Valdivia J. et al. 1992, Galtsova and Kulangieva 1995; Galtsova, Starobogatov et al. 1995) для идентификации нематод и моллюсков, но их рассмотрение тоже лежит за пределами нашего внимания. Самыми древними и по сей день самыми распространенными следует считать текстовые определители. На Рис. 1 изображен традиционный для изданий Зоологического института РАН (ЗИН РАН) дихотомический определительный ключ. Дендрограмма полностью отражает его структуру. Из этого вытекает, что можно построить определитель, который будет отражать систематику группы или даже представление о ее филогении (если ее можно представить древовидным графом). Составители ключей довольно часто находятся под гипнозом своего представления о системе группы и пытаются ее отразить в определителе.

На наш взгляд это неправильно – определитель предназначен для диагностических целей – нахождения названия определяемого организма (рода и вида) или таксона, к которому отнесено его название. Систематическое построение и реконструкция филогенетических отношений имеют другие способы описания.

Существует несколько способов текстового отображения ключа. Широко распространены два. Принятый в Зоологическом институте РАН вариант называется *серийным*, а принятый в большинстве зарубежных изданий (Рис. 2) – *скобочным* (хотя скобки у него факультативны) или «шведским». Ясно, что в большом серийном ключе теза и ее антитеза могут находиться даже на разных страницах. Это бесспорно неудобно для пользователя, особенно, если он рассматривает объект под микроскопом. Довод сторонников этого, многими считающегося отжившим, варианта – якобы только в нем удастся расположить рядом близкие таксоны – не стоит принимать всерьез. Легко заметить, что в скобочном варианте тот же самый порядок таксонов.

Следование строгой дихотомии далеко не всегда целесообразно, поскольку дополнить перечень состояний (определитель) еще одной или несколькими антитезами не представляет особой сложности. На Рис. 3 видно, что теза и три ее антитезы могут оказаться на четырех разных страницах при применении серийного варианта. Это, несомненно, создает значительные трудности при использовании определителей. Дихотомические ключи содержат строго одну антитезу, соответствующую

Текстовой дихотомический ключ (скобочный вариант)

1. Основания усиков ближе друг к другу, чем внутренние края глаз . . . 2.
- Основания усиков расположены на таком же расстоянии, как внутренние края глаз, или удалены на большее расстояние 4
2. Ндкр. укорочены, обнажают более четырех сегментов бр. . . **Leptidea.**
- Ндкр. нормальной длины 3
3. Ндкр. и псп. одноцветные **Axinopalpis.**
- Ндкр. и псп. разного цвета **Cartallum.**
4. Глаза с глубокой выемкой, но фасетировка ею не прерывается . . . 5
- Глаза разделены выемкой на две части, фасетировка прерывается . . . 7
5. Бугорка на боку псп. нет 6.
- Бугорок на боку псп. имеется **Oxypleurus.**
6. Ндкр. одноцветные **Anisarthron.**
- Ндкр. несут ясный рисунок **Semanotus.**
7. Усики не достигают последней трети ндкр. **Dilus.**
- Усики достигают последней трети ндкр. или длиннее **Gracilia.**

Рис. 2. Структура текстового дихотомического ключа. Скобочный вариант.

Fig. 2. Structure of a text dichotomous key. A bracketed variant.

Текстовой одноходовый политомический ключ (серийный вариант)

- 1 (4, 5, 9). Глаза без выемки или едва выемчатые. **Leptidea.**
- 2 (3). Ндкр. сильно укорочены **Cartallum.**
- 3 (2). Ндкр. нормальной длины **Axinopalpis.**
- 4 (1, 5, 9). Глаза слабо выемчатые **Axinopalpis.**
- 5 (1, 4, 9). Глаза сильно выемчатые. **Semanotus.**
- 6 (7, 8). Ндкр. несут ясный рисунок **Semanotus.**
- 7 (6, 8). Ндкр. и псп. одноцветные или ндкр. несут неясный рисунок из пятнышек **Oxypleurus.**
- 8 (6, 7). Ндкр. одноцветные, но отличаются от псп. по цвету . **Anisarthron.**
- 9 (1, 4, 5). Глаза разделены выемкой на две части. **Dilus.**
- 10 (11). Усики не достигают последней трети ндкр. **Dilus.**
- 11 (10). Усики достигают последней трети ндкр. или длиннее . . . **Gracilia.**

Рис. 3. Пример серийного политомического ключа, где на одну тезу возможны три антитезы.

Fig. 3. An example yoked polytomous key where on one thesis three antithesis are possible.

программирования – FoxPro и Фортран), система получила новое название BIKEY (Biological Identification KEYS).

Биологическая компьютерная диагностическая система BIKEY предназначена для автоматизации процессов работы с диагностической информацией о биологических таксонах и тоже активно использует БД (базу данных) (Лобанов и Дианов 1995а,б). Основная часть системы – про-

грамма PICKEY – оригинальный интерактивный компьютерный определитель: управляемый изображениями. Система разработана в Зоологическом институте РАН, реализована на персональных компьютерах IBM PC XT/AT и представляет собой дальнейшее развитие версий: «Диагностика-4» для ЭВМ БЭСМ-6 и СМ-4, подробно рассмотренной в диссертации одного из авторов статьи и ее автореферате (Лобанов 1983); BIKEY5

Таксоны	Признаки			
	длина усиков	бугор на боку псп.	окраска ндкр. и псп.	форма глаз
Oxypleurus	1, 2	2	1, 3	3
Gracilia	2, 3	1, 2	1	4
Axinopalpis	2, 3	1	1	2
Leptidea	3	1	1, 2	1
Cartallum	2	2	2	1
Dilus	1	1	1	4
Anisarthron	2, 3	1	2	3
Semanotus	1, 2, 3	1	4	3

Рис. 4. Матрица многовходового политомического определителя ключа.

Fig. 4. A matrix of multientry polytomous identification key.

для IBM PC/XT и VIKEY6 для IBM PC/AT (Лобанов и Дианов 1994; Лобанов и др. 1995; Лобанов 1997). Система VIKEY7 состоит из трех групп программ: основного комплекса программ на языке dBase, работающего в среде СУБД FoxPro 2.5, набора программ для проверки и анализа готовых одноходовых текстовых ключей (FoxPro) и комплекса внешних программ на языке Fortran-88, работающего в операционной системе MS-DOS. Позднее М.Б. Диановым была разработана новая версия этой системы (VIKEY8/PICKEY8), предназначенная для работы в среде Windows. Во всех версиях системы информация о таксонах и их признаках хранится в базах данных формата DBF, который поддерживается СУБД FoxPro, Access и программой Excel. Главная функция системы VIKEY – накопление и хранение в виде таблиц БД диагностической информации о таксонах, включая ее редактирование и дополнение в диалоговом режиме. Версия системы – VIKEY6, ориентированная на работу, как с текстовыми описаниями, так и с изображениями таксонов, была разработана М.Б. Диановым и А.Л. Лобановым. Система VIKEY6 предназначена для автоматиза-

ции процессов работы с диагностической информацией о биологических таксонах и осуществляет следующие функции:

1. Накопление и хранение на магнитных носителях в компактной форме диагностической информации о таксонах (в том числе и изображений организмов и их фрагментов).
2. Редактирование и дополнение исходной диагностической информации в удобном для пользователя режиме.
3. Всесторонний анализ этой информации, ее логический контроль и оценка диагностической полноты.
4. Проведение оптимизированного определения объектов по созданным системой машинным ключам в режиме диалога «человек-ЭВМ» (путь определения формируется динамически в ходе диалога, заключающегося в выборе человеком наиболее удобных для него признаков, с учетом рекомендаций программы, которая стремится сократить длину пути определения).
5. Автоматическое генерирование на ЭВМ оптимизированных одноходовых текстовых определителей (из одного машинного ключа мож-

16 (15) a. Underside of head with parallel-sided antennal ridges resembling continuations of mentum sides, antennal grooves scarcely distinct; labrum with very weak shallow emargination in middle; last segment of labial palpi elongate and slightly bulbous at base, nearly 2.5 times as long as wide; almost unicoloured reddish, only pronotal disc and antennal club a little darker; dorsum with distinct and almost contiguous punctures, much larger (up to 2.0 times) than eye facets, narrow interspaces with rather smooth microreticulation, also with rather dense and extremely conspicuous yellowish golden hairs, about 2.5 times as long as distance between their insertions; fore tibiae with a moderately prominent subapical process with a weakly forked apex; tarsal claws slightly toothed at base. Male: fore tarsi 3/4 as wide as corresponding tibiae, mid and hind ones much narrower. 3.9 mm. Figs. 426, 427. China, Sichuan. *E. (M.) vulpina* new species

16 (15) b. Underside of head without parallel-sided antennal ridges and antennal grooves, if distinct, very weakly outlined; labrum usually distinctly excised [only in *E. (M.) himalayensis* new species with a very weak medial emargination]; antennal grooves scarcely distinct; last segment of labial palpi much shorter, frequently not longer than width; combination of other characters different. 17

17 (16) a. Body strongly convex and robust; pronotum widest at middle, with unexplanate sides, arcuately narrowed to both apex and base, hind corners with sharp apices and distinctly projecting posteriorly; dorsum with sparse and shallow indistinct punctures, smoothly reticulated interspaces and moderately conspicuous hairs; coloration straw reddish; surface of pygidium with very shallow, rather sparse and large punctures, smooth and shiny interspaces; fore tibiae narrower than antennal club; tarsal claws strongly toothed at base. Male: unknown. Female: pygidial apex narrowly rounded. 2.7 mm. Figs. 280, 281. North Vietnam. *E. (M.) accidentis* Kirejtshuk, 1990

17 (16) b. Body moderately convex or, if strongly convex, very narrow and subparallel-sided; if pronotum widest at middle, sides distinctly

yond outer edges of eyes; labrum with a shallow excision; pronotum widest at base and with a widely subexplanate sides; elytra about as long as combined width, with transversely truncate apices; dorsum with large and very shallow indistinct punctures, cellular and very conspicuous microreticulation on interspaces; short and well conspicuous hairs, nearly as long as distance between their insertions, and rather short ciliae along pronotal and elytral sides; tarsal claws weakly toothed at base. Male: mid tibiae simple. Female: pygidial apex widely rounded. 2.0-2.4 mm. Figs. 286-293. North Vietnam. *E. (M.) alutidorsum* new species

14 (1) a. Body different, but never *Haptoncus*-like; temples never extended beyond outer edges of eyes, pronotal and elytral sides never ciliate; combination of other characters different. 15

15 (14) a. Body broadest at middle of elytra, abruptly narrowed anteriorly and posteriorly, rhomboid (wider and more evident in males, narrower and somewhat obsolete in females), unicoloured reddish; pronotum widest at extremely widely rounded hind corners; elytra somewhat shorter than broad and with transversely truncate apices; dorsum with sparse, shallow and indistinct, rather large punctures, conspicuously and cellularly microreticulated and with hairs scarcely longer than distance between their insertions; fore tibiae without any marked subapical process; tarsal claws comparatively small, but with an extremely strong tooth at base. Male: hind tibiae sharply widened along inner edge at basal fourth. Female: pygidial apex widely rounded. 2.2-2.3 mm. Figs. 395-398. North Vietnam. *E. (M.) rhombica* Kirejtshuk, 1990

15 (14) b. Body with elytra gently curved at sides or subparallel-sided; pronotal hind sides with acute or narrowly rounded apices [*E. (M.) bipilagiata* new species has hind corners of pronotum almost widely rounded, but its body has completely different coloration, gently arched pronotal and elytral sides, much wider tibiae and normally raised tooth at base of tarsal claws]; combination of other characters different. 16

Рис. 5. Пример серийного дихотомического ключа.

Fig. 5. An example of a yoked dichotomous key.

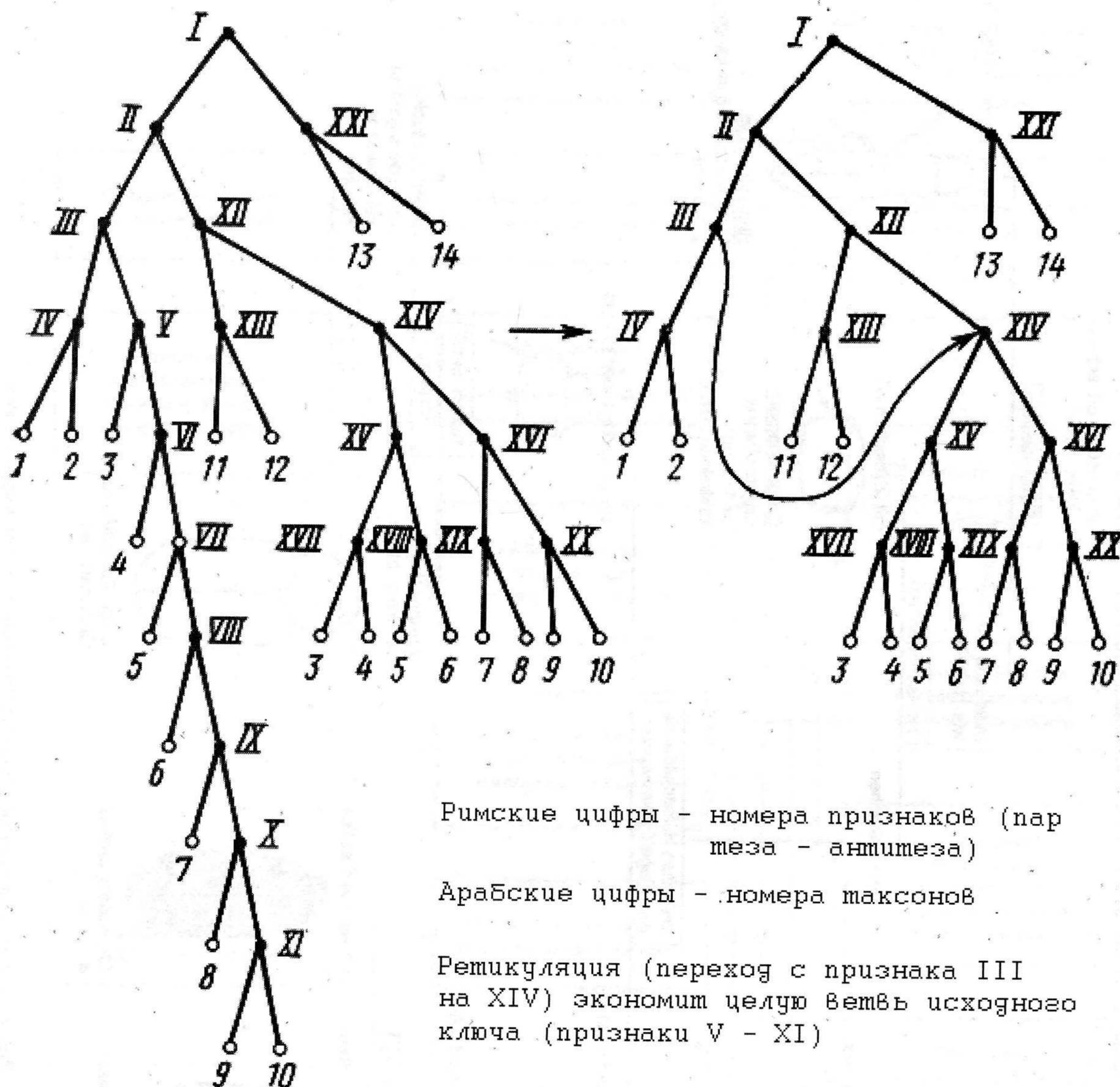


Рис. 6. Дендрограммы, демонстрирующие экономию длины ключа при помощи ретикуляции.

Fig. 6. Dendrograms, showing economy of lengths of a key, by means of reticulation.

но получить неограниченное число вариантов текстовых определителей, т.к. специалист может придавать разные веса разным признакам).

6. Печатание в виде стандартного диагноза на естественном языке данных об одном таксоне или группе таксонов (таким образом, специалисту облегчается содержательный контроль накопленной диагностической информации).

Блок-схема связей и взаимодействия отдельных частей системы приведена на Рис. 8. (Lobanov et al., 1992).

Задача программы PICKEY - проведение оптимизированного определения объектов по созданным системой VIKEY машинным ключам в режиме диалога «человек-компьютер» (путь определения формируется динамически в ходе

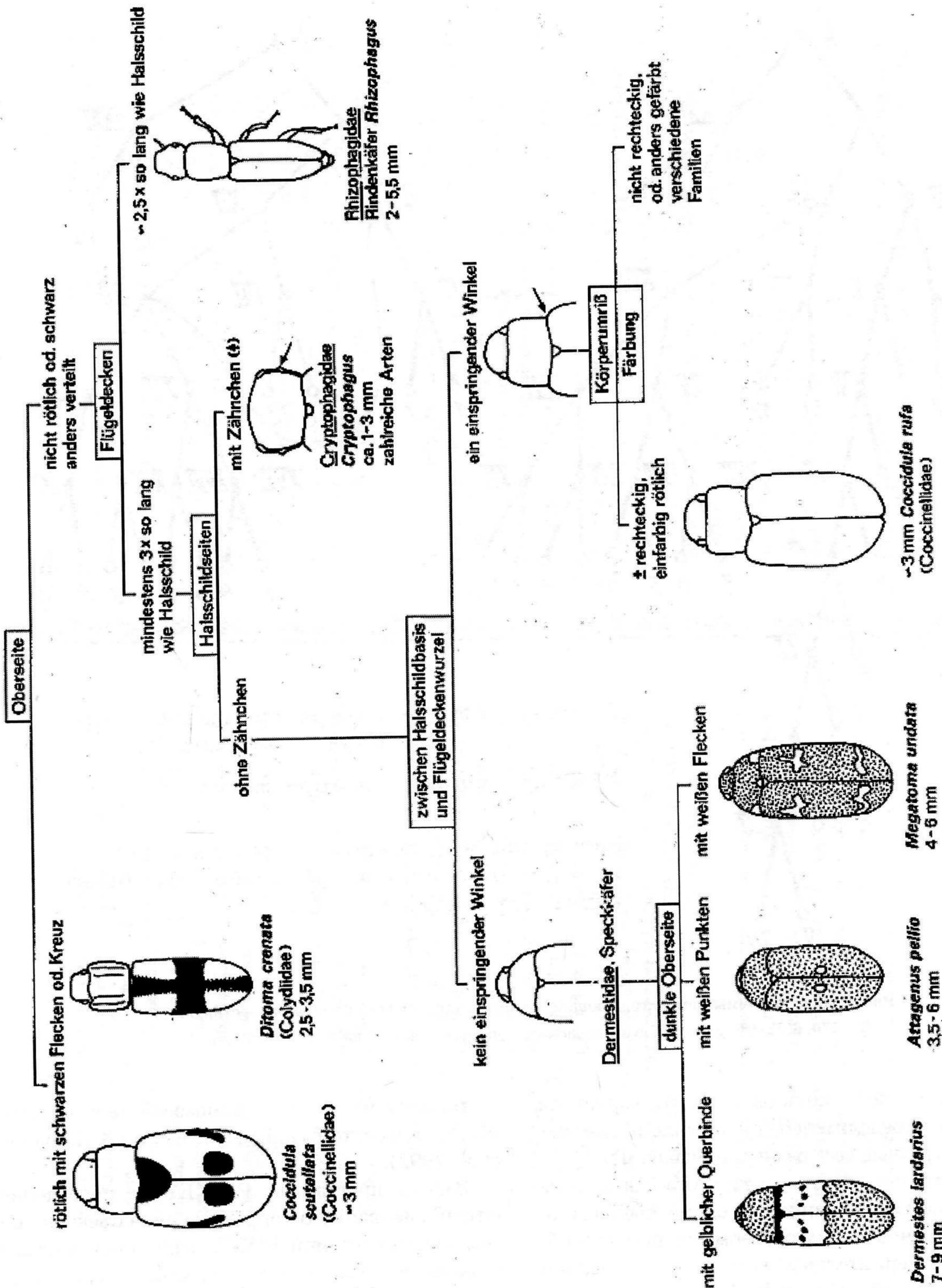


Рис. 7. Пример иллюстрированного графического полиномического ключа.
Fig. 7. An example illustrated graphic polytomous key.

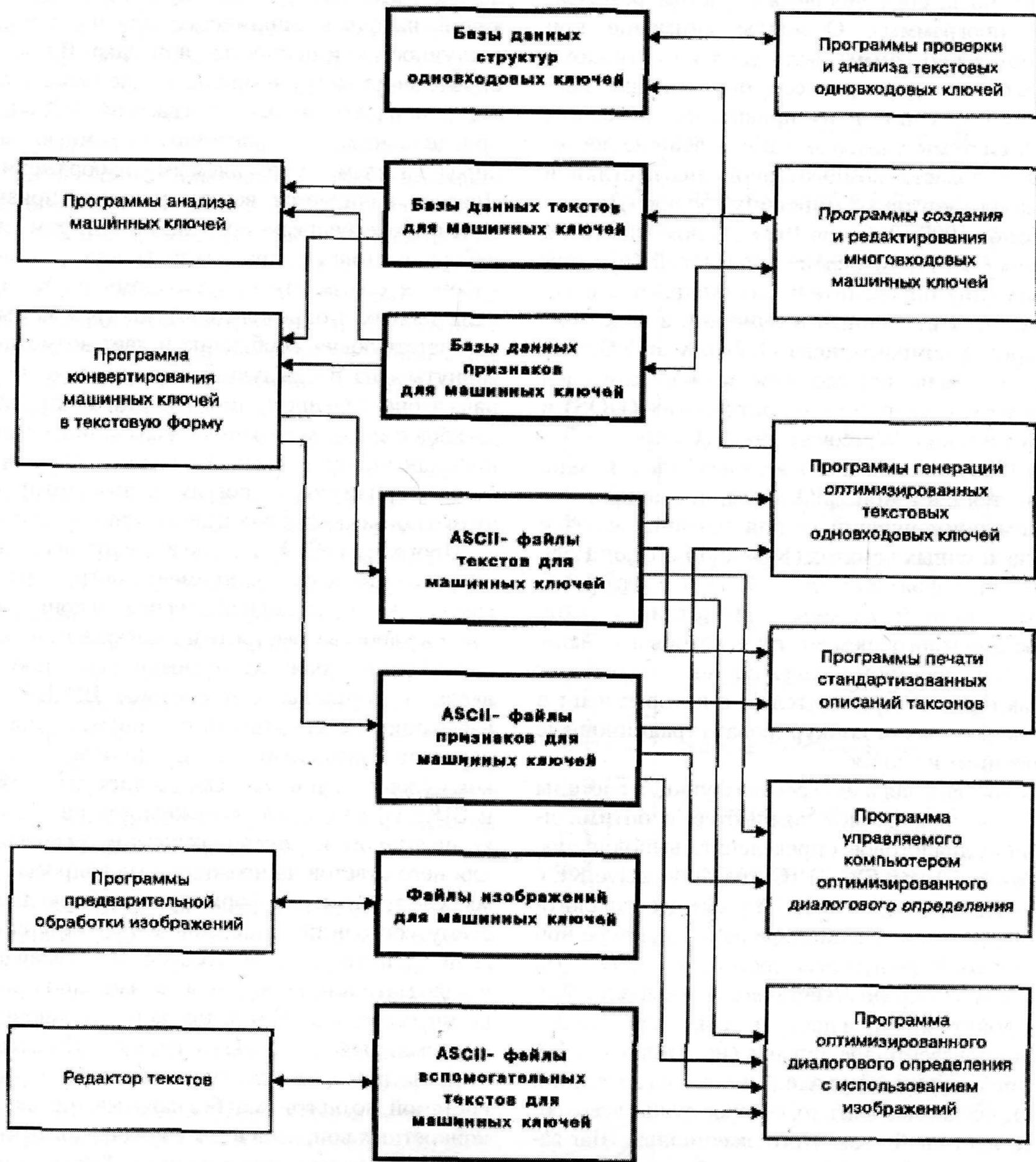


Рис. 8. Блок-схема связей и взаимодействия отдельных частей системы BIKEY.

Fig. 8. The block diagram of communications and interactions of separate parts of system BIKEY.

диалога по выбору человека с учетом рекомендаций программы). Основное внимание при разработке программы было уделено активному использованию в процессе определения изображений таксонов и их признаков. Последние версии системы учитывают все новейшие достижения в области компьютерной диагностики и вполне соответствуют мировому уровню (Дианов и Лобанов 1997; Лобанов 1999). С помощью этой системы был подготовлен двуязычный (русский и немецкий) определитель жесткокрылых насекомых, опубликованный в Германии в виде компьютерного компакт-диска (Lobanov and Dianov 1996). Созданы первые версии определителей иглокожих, в частности – арктических (DOS) и антарктических (Windows) офиур (Смирнов и Лобанов 1999). В последнее время наиболее активно пользуется системой А.Ю. Рысс, неоднократно с успехом применявший ее для создания ключей фитопатогенных нематод (Ryss and Lobanov 1999; Ryss et al. 1995a; Ryss et al. 1995b). Подготовка данных для этой системы – кропотливый и отнимающий много времени труд, который, однако, окупается удобством и надежностью создаваемых компьютерных определителей, с которыми ни в коей мере не могут конкурировать традиционные «бумажные» издания.

Самая сложная и интересная функция системы VIKEY – управляемое компьютером оптимизированное диалоговое определение, выполняемое программой PICKEY – PICTured interactive KEY (как составной частью VIKEY). Процесс диалогового определения экземпляра на компьютере при помощи этой программы состоит из шагов. На каждом шаге определяющий должен выбрать наиболее понятный ему и доступный для наблюдения на данном экземпляре признак (например, у медузы – число краевых щупалец), а затем из состояний этого признака выбрать то, которое лучше всего соответствует свойствам этого экземпляра. Шаг заканчивается отбором из списка таксонов, которые имеют выбранный признак (на первом шаге отбор идет из полного списка таксонов, включенных в определитель). Если таких таксонов 2 или более – программа переходит к следующему шагу. На каждом шаге признаки предлагаются программой в порядке убывания их диагностической ценности, вычисляемой для данного шага по оригинальному алгоритму (Лобанов 1974). Желательно использовать признаки, выданные машиной первыми,

но окончательное решение принимает определяющий, находя компромисс между надежностью, доступностью и ценностью признака. В процессе определения могут возникнуть две особые ситуации, обрабатываемые программой PICKEY – оригинальным интерактивным компьютерным определителем, управляемым изображениями. Диагноз начинается всегда с одного признака. При выборе непредусмотренного автором ключа набора состояний признаков (когда указанный набор не соответствует ни одному из таксонов, включенных в определитель), программа выдает соответствующее сообщение и дает возможность вернуться на предыдущий шаг определения или начать определение с самого начала. Если ключ не завершен автором и возникает ситуация, когда для дифференциации близких таксонов в ключе нет больше признаков – программа сигнализирует об этом и показывает список неразличимых таксонов.

Программа PICKEY – не экспертная система в строгом смысле слова, но имеет многие черты, характерные для последней, и успешно конкурирует с ней в удобстве, скорости и надежности процесса определения. Важное преимущество программ ввода информации для системы VIKEY перед настоящими экспертными системами – простота передачи экспертом (специалистом-систематиком) своих знаний системе. В системах VIKEY5 и VIKEY6 для этого не нужны долгие диалоги с компьютером и поиски экспертом неочевидных для него ответов на неожиданные вопросы системы. Систематик сам формирует удобную для него схему состояний признаков и передает системе свои знания о таксонах в рамках этой своей схемы в виде матрицы, которую он может заполнять без компьютера, в удобной для него обстановке и в произвольной последовательности. Пригодность этой матрицы для диагностики контролируется системой, но опять-таки без навязывания эксперту конкретных вопросов в тех случаях, когда информации для построения еще мало. Такой «мягкий» способ наполнения машинного определителя необходимой информацией немаловажен для успешной работы с системой тех зоологов, которые критически относятся к некоторым аспектам компьютеризации своей научной деятельности.

Генерация в системе оптимизированных текстовых одновходовых ключей для публикации выполняется программой GENKEY (Generation of Key). В основе алгоритма программы лежит

предложенный ранее способ последовательного построения дерева оптимальных диагнозов (Лобанов, 1983). Для каждого таксона в ключе моделируется пошаговый оптимальный диагноз. Если характеристики таксона по части признаков полимодальны (содержат несколько возможных состояний одного признака), то такие диагнозы проводятся для каждого возможного сочетания состояний признаков. Пути всех смоделированных диагнозов постепенно образуют в памяти ЭВМ дерево (для его компактной записи разработано специальное матричное представление). После окончания процесса формирования этого дерева подсчитываются и печатаются математические характеристики полученного одноходового ключа, а затем выводится в текстовый файл сам ключ скобочного типа в форме, пригодной для публикации. В программе предусмотрен механизм быстрого изменения пользователем оценок весов отдельных признаков. На эти оценки (перед окончательным выбором одного признака из нескольких возможных) умножаются вычисляемые программой на каждом шаге диагностические ценности признаков. Изменяя значения весов, исследователь получает возможность влиять на ход построения ключа и генерировать из одного набора данных произвольное число вариантов одноходовых ключей, зачастую существенно отличающихся друг от друга, и, таким образом, косвенно выявлять значимость того или иного признака.

Система VIKEY6 была успешно использована для создания оптимизированных определителей кишечнополостных (Cnidaria). Материалом для этого исследования послужил опубликованный определитель семейств пелагических кишечнополостных (Степаньянц и Шейко 1989). Первоначально из него был извлечен фрагмент из 14 семейств подотряда Filifera отряда Athecata (новое название – Anthoathecata) и из использованных в исходном ключе признаков составлены дихотомические ряды признаков и матрица (Рис. 9) (в описании этого определителя использована старая терминология, существовавшая в момент его создания; теперь «ряды признаков» именуется признаками, а «признаки» – состояниями признаков). Выявленные в процессе исследования недостатки первоначальной матрицы позволили дополнить ее новыми рядами признаков и сравнить первоначальный дихотомический ключ с тем, который

Матрица признаков (15 дихотомических рядов) для 14 семейств медуз (получена из опубликованного ключа)

Семейства	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Halimedesidae	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Australomedusidae	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bougainvilliidae	*1	2	0	*1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rathkeidae	1	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Niobiidae	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Russelliidae	*2	2	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Hydractinidae	2	2	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Cytaeidae	2	2	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Proboscoidactylidae	2	1	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Calycopsidae	2	1	0	0	2	0	0	0	*2	0	0	0	0	0	0
Clavidae	2	1	0	0	2	0	0	0	2	1	1	1	1	0	1
Trichydridae	2	1	0	0	2	0	0	0	2	1	1	1	2	0	1
Pandeidae	2	1	0	0	2	1	0	0	2	1	12	12	0	12	2
Protigariidae	2	1	0	0	2	2	0	0	2	1	12	12	0	2	2

Примечание. Звездочками помечены неточные характеристики семейств, исправленные при составлении табл. 3.

Рис. 9. Матрица дихотомического определителя медуз.

Fig. 9. A matrix of a dichotomous identification key of jellyfishes.

был составлен с помощью компьютерной системы (Лобанов и Степаньянц 1993, Степаньянц 1997). Помимо дихотомических рядов признаков, в упомянутой работе были составлены политомические ряды признаков для названных 14 семейств и также сделана матрица (Рис. 10). Как было показано, преимущества новой матрицы очевидны. Она сама по себе уже – хороший определитель и может быть с успехом использована в работе по определению медуз в отсутствие компьютера. По этой матрице был составлен одноходовый политомический определитель и показаны его преимущества перед дихотомическим ключом (Лобанов и Степаньянц 1993). Позже были составлены политомические ряды признаков и по ним сделана матрица для всех 70, к тому времени известных семейств медуз Мира. Всего было использовано 72 политомических ряда признаков. Хотя в матрице пока еще имеются пробелы (во многих ее ячейках стоят нули, что чаще всего свидетельствует об отсутствии информации), она, тем не менее, может служить многоходовым определителем. Это означает, что определение с помощью матрицы начинается с любого, удобного для пользователя ряда признаков. Например, если у определяемой медузы на краевых щупальцах есть прикрепительные органы, то, судя по десятому ряду признаков, она может принадлежать, лишь к трем семействам: Ptychogastridae, Olindiidae или Cladonematidae. Различаются эти семейства легко по нескольким рядам признаков. Cladonematidae – сразу же по 29 ряду – у них ветвятся краевые щупальца. Первые два семейства, краевые щупальца у представителей которых не ветвятся, можно различить по рядам 43 (у Ptychogastridae ребристая поверхность эксумбреллы, у Olindiidae – гладкая) или 52 (форма гонад, которые у Ptychogastridae округлые, а у Olindiidae – удлиненные или лентовидные). Определение названных семейств с помощью матрицы происходит как бы в три этапа. В более простых случаях медузу можно определить сразу. Например, по ряду 3 (характер расположения краевых щупалец по отношению к краю колокола) признаком 4 (щупальца отходят от субумбреллы, несколько выше ее края) обладают только медузы семейства Cyaneidae. Другой пример – по ряду 61 (бородавки на субумбрелле) признаком 2 (имеются) характеризуются исключительно представители семейства Linuchidae.

Матрица признаков (16 политомических рядов) для 14 семейств медуз

Семейства	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Halimedesidae	1	5	3	2	2	2	2	1	2	1	2	2	1	1	1	2
Australomedusidae	1	6	34	2	31	2	2	1	2	12	2	25	1	1	12	2
Bougainvilliidae	3	42	34	12	123	2	2	12	2	2	1	3	1	1	1	1
Rathkeidae	2	4	4	12	1	2	2	2	2	2	1	4	1	1	2	2
Niobiidae	1	23	2	2	1	2	1	2	2	1	1	83	2	1	1	2
Russelliidae	2	4	4	1	3	1	2	1	2	1	2	3	1	1	1	2
Hydractiniidae	23	12	3	12	13	2	2	12	2	1	1	3	2	1	12	2
Cytaeidae	2	2	3	2	13	2	2	1	2	2	1	3	2	1	12	2
Proboscidiactylidae	1	23	3	2	1	2	13	1	2	1	2	14	12	1	12	2
Calycopsidae	1	23	1	2	12	2	123	2	1	1	12	6	1	2	1	2
Clavidae	1	1	3	2	3	2	2	1	2	1	1	2	12	1	2	2
Trichydridae	1	1	3	2	1	2	13	2	2	1	1	1	1	1	12	2
Pandeidae	1	23	3	12	12	2	2	2	2	1	2	4	1	1	12	2
Protiaridae	1	23	3	2	12	2	2	2	2	1	12	12	1	1	12	2

Рис. 10. Матрица политомического определителя медуз.

Fig. 10. A matrix polytomous identification key of jellyfishes.

Очень существенным преимуществом такой определительной таблицы, на наш взгляд, можно считать возможность с ее помощью идентифицировать поврежденные экземпляры медуз и даже их отдельные фрагменты, если последние сохранили хотя бы одну или несколько морфологических деталей, за которые можно «зацепиться», найдя их среди рядов признаков матрицы. Кроме того, матрица – компактная форма представления обширной информации по морфологии медуз и может быть незаменимой для быстрого получения полного описания нужного семейства или его дифференциального диагноза, а также для получения сравнительных характеристик двух или более семейств.

Чтобы продемонстрировать использование пакета программ VIKKEY при составлении определительных ключей для таксонов разного уровня из разных групп кишечнополостных мы построили матрицу по 14 рядам признаков для 19 видов гидроидов рода *Symplectoscyphus*, известных из вод Антарктики и Субантарктики. За основу были взяты данные из монографии по антарктическим гидроидам С.Д. Степаньянц (1979). Как и в первом случае, анализ матрицы показывает ее прекрасные возможности как определителя. Так, вид *S. pushi* определяется сразу по 3 или 5 рядам признаков, *S. gruzovi* – по 11 ряду признаков, а *S. mawsoni* – по 4 ряду. По ряду 12 четвертый признак: короткая цилиндрическая шейка гонотеки – характерен для трех видов: *S. naumovi*, *S. aggregatus* и *S. unilateralis*. Все эти виды легко различаются по рядам 3 или 9. Для показа возможностей программы были составлены 2 варианта одноходовых политомических определителей.

Первый «предложил» компьютер, отдав предпочтение ряду 3 – «степень срастания прилежащей стенки гидротеки». Длина пути определения в этом варианте равна 2.737. Можно построить оптимальный одноходовый ключ в диалоге систематика с компьютером. Систематик решил составить специальный вариант определителя для фертильных колоний и придал большие исходные веса трем рядам признаков, связанных с гонотеккой. В итоге на первое место был поставлен ряд 11 – «форма гонотеки». В этом варианте ключа средняя длина пути определения – 2.968. То есть, оба ключа примерно одинаковы по своим формальным характеристикам. В обоих приведенных нами машинных ключах среднее число

признаков в рядах лежит в диапазоне 3.15–3.35, что очень близко к рекомендованному в разделе 3 оптимуму.

В 1986 году была продолжена работа над компьютерным многоходовым политомическим ключом PISKEY на новом уровне (совместно с М.Б. Диановым).

Нельзя не упомянуть систему DELTA, которая получила широкое распространение в мире. Под этим названием фигурируют две разные сущности – формат таксономических описаний и одноименная программная система. Формат DELTA (DEscription Language for TAXonomy) – это интернациональный стандарт для обмена таксономическими данными и для использования их в компьютерных системах. Стандарт разработан в австралийской организации CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) и использован в целом ряде компьютерных систем и, в частности, в системе DELTA. DELTA System – набор программ, работающих с данными в формате DELTA:

- DeltaEditor – редактор данных в формате DELTA,
- Confor – преобразователь в другие форматы,
- Key – генератор диагностических ключей,
- IntKey – интерактивная программа идентификации.

На основе DELTA созданы описанные ниже определители жуков и их личинок.

Интересная и очень удобная для пользователей форма распространения компьютерных определителей – публикация их на компакт-дисках (CD-ROM и DVD-ROM). Одним из первых было монументальное руководство по личинкам жуков «The Beetles Larvae of the World» (Lawrence et al. 1995), выпущенное в Австралии. Оно включает уникальный по объему компьютерный многоходовый политомический ключ для 350 высших таксонов жуков всего мира. База данных определителя содержит 350 таксонов и 185 признаков и в этой гигантской матрице 70% ячеек заполнены данными о возможных состояниях признаков для конкретных таксонов. Для каждого таксона приводятся сведения о географическом распространении и биологии, а также ссылки на важнейшие публикации. Все данные о таксонах записаны в известном формате DELTA, а функции определителя выполняет программа INTKEY (Interactive Key). Годом позже появилось руководство по

жукам – «Wir bestimmen Käfer» («Мир жуков»), подготовленное в России и в Германии и выпущенное в Германии (Lobanov and Dianov 1996). Этот двуязычный (немецко-русский) диск демонстрирует разработанный авторами новый подход к созданию мультимедийных зоологических пособий на компакт-дисках. Позднее такой тип компьютерных пособий был назван гипербазой данных (Лобанов и Дианов 1998; 1999). На диске помещен иллюстрированный многовходовый ключ и разнообразная информация о 138 видах палеарктических жуков из 37 семейств. Функции определителя выполняет одна из версий программы PISCKEY. Позднее были выпущены определитель деревьев Германии (Schilowa 1997) на основе программы PISCKEY и определитель семейств жуков мировой фауны (Lawrence et al. 1999) на основе программы INTKEY (матрица данных содержит 320 признаков для 945 таксонов). Наконец, нельзя не отметить прекрасно выполненный определитель видов листоедов-скрытоглавов (Лопатин и Довгайло 2002) на основе оригинальной программы LYSANDRA.

В настоящее время, в связи с широким распространением Интернета, интерес к определителям на компакт-дисках упал. Интерактивные определители в мировой сети удобнее как для пользователей (широкая доступность), так и для составителей (возможность постоянного совершенствования и дополнения). Далее речь пойдет о выполненных в ЗИН РАН проектах этого класса.

С появлением Интернета стало возможным дистанционное использование компьютерных ключей пользователями, находящимися в любой точке планеты. Своевременная идентификация тех же чужеродных вселенцев и принятие соответствующих мер, предотвращающих их нежелательное распространение, зачастую могут сэкономить колоссальные финансовые и человеческие ресурсы. Это обстоятельство вызвало новую волну интереса к интерактивным ключам.

Первые опыты применения электронно-вычислительных машин (ЭВМ) для определения таксономической принадлежности биологических объектов были осуществлены в середине 60-х годов, когда ЭВМ еще были для биологов экзотической техникой. Однако эти опыты принесли обнадеживающие результаты (Лобанов 1983, Лобанов и Дианов 1995, Лобанов и Смирнов 2004, Свиридов 1976, Dallwitz 1974, Dallwitz, Paine and

Zurcher 2002, Lobanov, Stepanjants and Dianov 1996, Pankhurst 1975, Pankhurst 1991), которые с появлением и дальнейшим широким распространением Интернета позволили перейти к следующей задаче – разработке идеологии идеального определителя и программы для дистанционного определения (Вахитов и др. 2009, Кирейчук и др. 2011, Лобанов и др. 2005, Лобанов и др. 2006). В ходе подготовки к реализации задуманного, в течение 2002–2004 гг. был создан электронный Атлас жуков России и сопредельных стран, который размещен на колеоптерологическом сайте Зоологического института РАН: <http://www.zin.ru/Animalia/Coleoptera/rus/atlas.htm>, а в дальнейшем (2005), было разработано программное обеспечение к многовходовым политомическим определителям с использованием сети Интернет. Для решения этой задачи 6 лет назад к разработке первого варианта удалось привлечь профессиональных программистов из СПбГУ. В 2007 г. была создана и функционировала в Интернете программа WebKey-X. Она имела ряд недостатков, которые долго не удавалось устранить. Поэтому через три года программистом из Москвы А.А. Иночкиным был получен более приемлемый вариант интернет-ключа, с работой которого можно познакомиться в Интернете: <http://www.zin.ru/projects/webkey-x/superkey/>.

На рисунке 11 приведен скриншот первой страницы программы Superkey.

Конечно, компьютерные ключи – не панацея. Их составление – очень трудоемкая задача. Только несколько сотрудников ЗИН отваживались на это. Не всегда под рукой есть компьютер. А если он есть, то использовать его в тесном хранилище коллекций или на палубе экспедиционного судна при разборке улова труднее, чем компактную книгу. Поэтому текстовые ключи в бумажном варианте будут существовать еще долго.

Работа поддержана грантами РФФИ №№ 05-07-90179-а, 05-07-90354-а, 09-04-00789-а; проектом № 4 подпрограммы «Изучение и исследование Антарктики» ФЦП «Мировой океан» и программой Президиума РАН «Биоразнообразие». Кроме того, работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

ЛИТЕРАТУРА

Балковский Б.Е. 1962. О повышении диагностической значимости признаков, используемых для опре-

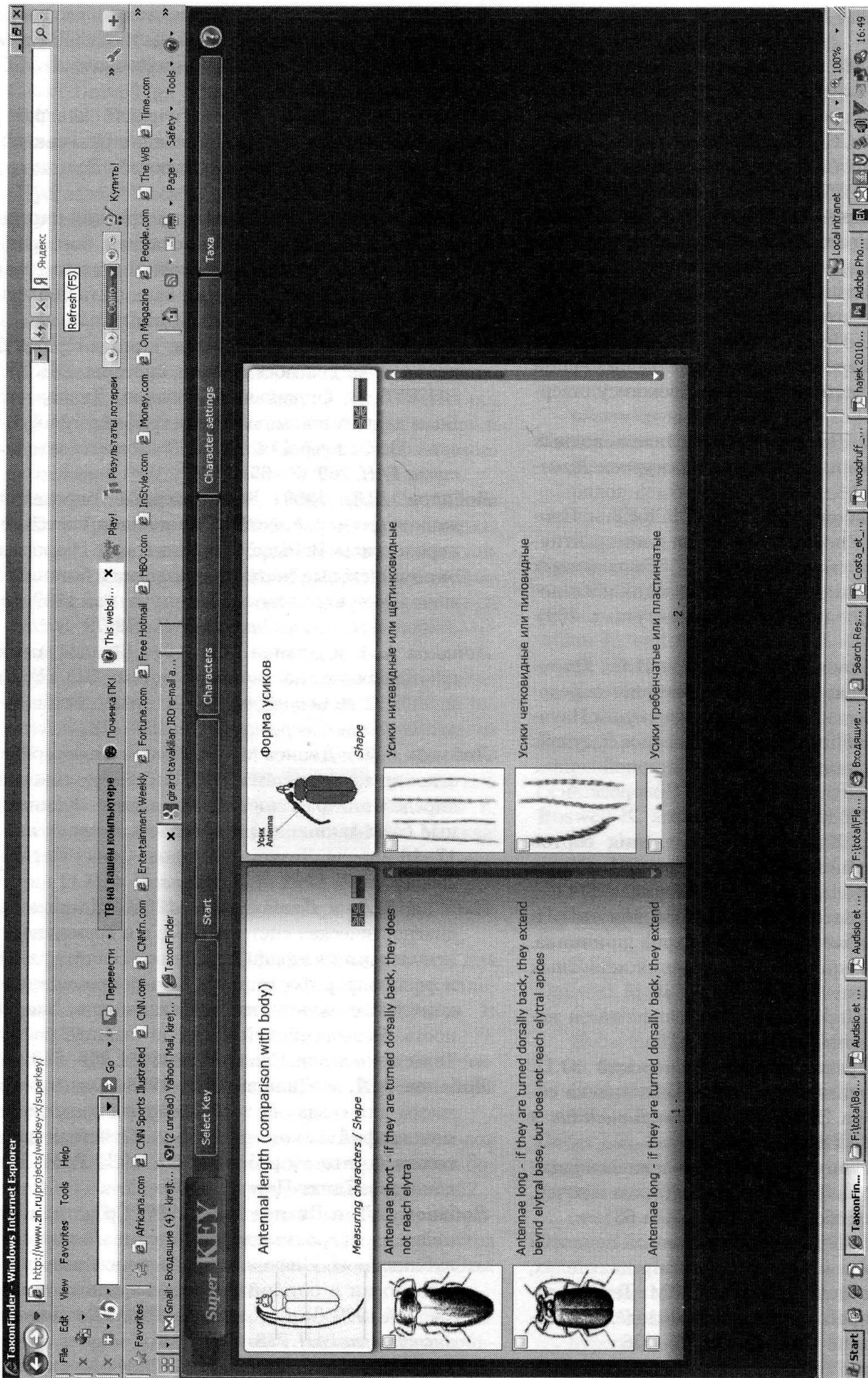


Рис. 11. Скриншот страницы интернет-определителя Superkey.
Fig. 11. A screenshot of page of Internet- identification key Superkey.

- деления растений. *Ботанический журнал*. 47(9): 1309–1314.
- Бауэр О.Н.** (ред.). 1984. Определитель паразитов пресноводных рыб фауны СССР. В: Шульман С.С. (ред.). Т. 1. Паразитические простейшие. *Определители по фауне СССР, издаваемые Зоологическим институтом АН СССР*. 140. Издательство Наука. Ленинград: 428 с.
- Вахитов А.Т., Граничин О.Н., Кирейчук А.Г. и А.Л. Лобанов.** 2009. Параллельный алгоритм обучения для интерактивного политомического определителя биологических видов. Научный сервис в сети ИНТЕРНЕТ: масштабируемость, параллельность, эффективность». Новороссийск, 21–26 сентября 2009 г. Труды Всероссийской суперкомпьютерной конференции. Издательство Московского университета: 332–334.
- Гамбарян П.П.** 1975. Числовой определитель водных цветковых Армении. *Биологический журнал Армении*. 28 (9): 108–111.
- Дианов М.Б. и Лобанов А.Л.** 1997. PISKEY – Программа для определения организмов с интерактивным использованием изображений // Базы данных и компьютерная графика в зоологических исследованиях (Труды Зоологического института, т. 269). С. 35–39.
- Кирейчук А.Г., Лобанов А.Л., Смирнов И.С., Иночкин А.А и Степаньянц С.Д.** 2011. Интернет-определители биологических объектов. 5 лет спустя Научный сервис в сети Интернет: экзафлопное будущее: Труды Международной суперкомпьютерной конференции (19–24 сентября 2011 г., г. Новороссийск). Издательство МГУ, Москва: 449–453.
- Кискин П.Х.** 1962. Ключ для определения сортов винограда в питомнике: Издательство «Штиинца» Академии наук Молдавской ССР, Кишинев. 111 с.
- Кискин П.Х.** 1966. Методы диагностики животных и растений на основе политомического принципа. Политомический принцип определения животных и растений. Кишинев, Штиинца: 19–40.
- Кискин П.Х.** 1967. Перфокарты, их назначение и использование. Кишинев, Штиинца. 124 с.
- Кискин П.Х., Печерская И.Н. и Печерский Ю.Н.** 1965. Автоматизация диагностического поиска сортов винограда на ЭВМ «Минск-1». *Виноделие и виноградарство СССР*. 1: 21–22.
- Лобанов А.Л.** 1972. Логический анализ и классификация существующих форм диагностических ключей. *Энтомологическое обозрение*. 51(3): 668–681.
- Лобанов А.Л.** 1974. Оценка диагностической ценности рядов признаков в многовходовых определителях, рассчитанных на использование ЭВМ. Тезисы докладов VI Коми республиканской молодежной научной конференции. Сыктывкар: 125–126.
- Лобанов А.Л.** 1975а. Результаты экспериментов с биологическими диагностическими системами на базе ЭВМ «Наири-С». Биологические исследования на Северо-Востоке Европейской части СССР *Ежегодник Института биологии Коми филиала АН СССР*. Сыктывкар: 162–168.
- Лобанов А.Л.** 1975б. Математический аппарат для расчета, оценки и сравнения конструктивных параметров диагностических ключей. *Зоологический журнал*. 54 (4): 485–497.
- Лобанов А.Л.** 1983. Принципы построения определителей насекомых с использованием электронных вычислительных машин. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук, ЗИН АН СССР. Ленинград: 19 с.
- Лобанов А.Л.** 1997. Диалоговые компьютерные биологические диагностические системы VIKY5 и VIKY6. В: Степаньянц, Лобанов, Дианов (ред.), Базы данных и компьютерная графика в зоологических Исследованиях. *Труды Зоологического института РАН*. 269: 61–65.
- Лобанов А.Л.** 1999. Компьютерные определители животных и растений: современное состояние и перспективы. В: Рысс, Смирнов (ред.). Информационно-поисковые системы в зоологии и ботанике. Тезисы международного симпозиума, май 1999. *Труды Зоологического института РАН*. 278: 79–80.
- Лобанов А.Л. и Дианов М.Б.** 1994. Диалоговая компьютерная диагностическая система VIKY и возможности ее использования в энтомологии. *Энтомологическое обозрение*. 73(2): 465–478.
- Лобанов А.Л. и Дианов М.Б.** 1995а. Компьютерная диагностическая система VIKY и ее использование в определении растений. II совещание «Компьютерные базы данных в ботанических исследованиях». 17–19 апреля. Тезисы докладов. Санкт-Петербург: 29–30.
- Лобанов А.Л. и Дианов М.Б.** 1995б. Компьютерная диагностическая система VIKY и возможности ее использования в защите растений. Защита растений в условиях реформирования агропромышленного комплекса: экономика, эффективность, экологичность. Всероссийский съезд по защите растений. Тезисы докладов. Санкт-Петербург: 548–549.
- Лобанов А.Л. и Дианов М.Б.** 1998. Комплекс программ для создания компьютерных зоологических монографий на компакт-дисках. Отчетная научная сессия по итогам работ 1997 г. ЗИН РАН. Тезисы докладов. Санкт-Петербург: 27–28.
- Лобанов А.Л. и Дианов М.Б.** 1999. Средства мультимедиа в электронных зоологических и ботанических публикациях. Информационно-поисковые системы в зоологии и ботанике. Международный симпозиум, май 1999. Тезисы доклада. *Труды Зоологического института РАН*. 278: 100.
- Лобанов А.Л. и Смирнов И.С.** 2004. Место и роль информационных технологий в исследованиях

- Зоологического института РАН. В: Алимов А.Ф., Степаньянц С.Д. (ред.). *Фундаментальные зоологические исследования: Теория и методы*. Москва – Санкт-Петербург, Товарищество научных изданий КМК: 283–318.
- Лобанов А.Л. и Степаньянц С.Д. 1993.** Оптимизация определителя семейств медуз подотряда Filifera (Hydrozoa, Athecata) с помощью компьютерной диагностической системы. В: Степаньянц С.Д. (ред.) Морской планктон. Систематика, экология, распределение. II *Исследования фауны морей*. 45(53): 38–50.
- Лобанов А.Л., Степаньянц С.Д. и Дианов М.Б. 1995.** VIKEY – диалоговая компьютерная программа для определения биологических объектов и ее использование в диагностике книдарий. В: Степаньянц С.Д. (ред.) Книдарии. Современное состояние и перспективы исследований. II. *Труды Зоологического института РАН*. 261: 20–70.
- Лобанов А.Л., Кирейчук А.Г., Смирнов И.С., Дианов М.Б. и Граничин О.Н. 2005.** Интернет и интерактивные определители биологических объектов. Научный сервис в сети ИНТЕРНЕТ: Труды Всероссийской научной конференции (19–24 сентября 2005 г., г. Новороссийск). Издательство МГУ. Москва: 132–134.
- Лобанов А.Л., Кирейчук А.Г., Смирнов И.С., Граничин О.Н., Вахитов А.Т. и Дианов М.Б. 2006.** К реализации идеального интерактивного определителя в Интернете для биологических объектов. Научный сервис в сети ИНТЕРНЕТ: Труды Всероссийской научной конференции (18–23 сентября 2006 г., г. Новороссийск). Издательство МГУ. Москва: 202–204.
- Лопатин И.К. и Довгайло К.Е. 2002** Жуки рода *Sturtocephalus* (Chrysomelidae) Палеарктики. CD-ROM. Минск.
- Райтвийр А. и Куль К. 1988.** Диалоговый ключ для определения грибов, реализованный на персональном компьютере. *Микология и фитопатология*. 1: 111–117.
- Свиридов А.В. 1973.** Проблема соотношения биологической диагностики и систематики. *Журнал общей биологии*. 34(6): 900–906.
- Свиридов А.В. 1976.** Материалы по истории методов диагностики биологических объектов *Научные доклады высшей школы. Биологические науки*. 8: 7–22.
- Свиридов А.В. 1978.** О некоторых актуальных вопросах теории идентификации биологических объектов с помощью ключей *Научные доклады высшей школы. Биологические науки*. 10: 15–28.
- Свиридов А.В. 1981.** Некоторые проблемы и перспективы теории идентификации биологических объектов с помощью ключей *Сборник трудов Зоологического музея МГУ*. 19: 18–37.
- Свиридов А.В. 1994.** Ключи в биологической систематике: теория и практика. – Издательство МГУ. Москва: 224 с.
- Смирнов И.С. и Лобанов А.Л. 1999.** Компьютерный определитель по офиурам как база данных для хранения таксономической информации. *Бюллетень Московского общества испытателей природы (МОИП). Отдел геологии*. 72(1): 87–88.
- Степаньянц С.Д. 1979.** Гидроиды вод Антарктики и Субантарктики. *Исследования фауны морей*. 22(30). Издательство Наука. Ленинград. 200 с.
- Степаньянц С.Д. 1997.** Идентификация семейств медуз и видов некоторых гидроидов с помощью системы VIKEY6. В: Степаньянц, Лобанов, Дианов (ред.). Базы данных и компьютерная графика в зоологических исследованиях. *Труды Зоологического института РАН*. 269: 151–153.
- Степаньянц С.Д. и Шейко (Боженова) О.В. 1989.** Пелагические книдарии. Определитель классов, отрядов, семейств. В: Степаньянц С.Д. (ред.) Морской планктон. Систематика, экология, распределение. *Исследования фауны морей*. 41(49): 100–131.
- Сумароков В.М. 1974.** Оптимальные деревья для организации и поиска информации *Управляющие машины и системы*. 3: 43–47.
- Allkin R. and White R.J. 1988.** Data management models for biological classification. In: Classification and Related Methods of Data Analysis. Amsterdam: North Holland Publishing: 75–90.
- Bisby F.A. 1988.** Databases, information systems and legume records. *Advances in Legume Biology*. St Louis. Missouri Botanical Garden: 187 p.
- Boswell K. and Gibbs A.J. 1986.** The VIDE data bank for plant viruses Development and Applications in Virus Testing. Association of Applied Biologists, UK: 283–287.
- Dallwitz M.J. 1974.** A flexible computer program for generating diagnostic keys. *Syst. Zool.* 1974. Vol. 23, N 1. P. 50–57.
- Dallwitz M.J., Paine T.A. and Zurcher E.J. 2002.** Interactive identification using the Internet In: Towards a global biological information infrastructure – challenges, opportunities, synergies, and the role of entomology, European Environment Agency Technical Report, 70. EEA, Copenhagen: 23–33.
- Dedet J.P., Lebbe J and Vignes R. 1990.** A multinational programme for computer identification of phlebotomine sandflies of America. *Bulletin de la Societe Francaise de Parasitologie*. 8(2):1131.
- Draper S.R. and Keefe P.D. 1989.** Machine vision for the characterization and identification of cultivars. *Plant Varieties and Seeds*. 2(1): 52–62.
- Estep K.W. 1989.** Creating and using taxonomic keys with hypercard. *Fisken Hav*. 1: 1–13.
- Fdez-Valdivia J., Perez de la Blanca N., Castillo P. and Gomez-Barcina A. 1992.** Line detection and texture

- analysis for automatic nematode identification. *Journal of Nematology*. **24**(4): 571–577.
- Galtsova V.V. and Kulangieva L.V. 1995.** Expert system for identification of free-living nematodes *9th International Meiofauna Conference*. Perpignan, France: 62.
- Galtsova V.V., Starobogatov Ya.I. and Kulangieva L.V. 1995.** The conceptual scheme of expert system for taxonomy of invertebrates (with special reference to nematodes and mollusks). Towards a regional ETI Branch in St. Petersburg: 21–22.
- Holmes B. and Hill L.R. 1985.** Computers in diagnostic bacteriology, including identification. *Computer-Assisted Bacterial Systematics*. 265–287.
- <http://www.zin.ru/Animalia/Coleoptera/rus/atlas.htm>, 2005.
- <http://www.zin.ru/projects/webkey-x/superkey/>. 2010.
- Katsimis C. and Poularikas A.D. 1986.** Pattern recognition of zooplankton images using circular sampling Pattern recognition of zooplankton images using circular sampling technique *Proceedings. SPIE*, **596**: 207–211.
- Lamarck J.-B. 1778.** Flore française. Paris. 456 p.
- Lawrence J.F., A.M. Hastings, M.J. Dallwitz, T.A. Paine and Zurcher. 1995.** The Beetles Larvae of the World. CD-ROM. Melbourne: CSIRO Publishing
- Lawrence J.F., A.M. Hastings, M.J. Dallwitz, T.A. Paine and Zurcher. 1999.** The Beetles of the World: A Key and Information System for Families and Subfamilies. CD-ROM. Melbourne: CSIRO Publishing.
- Leuschner D. and Sviridov A.V. 1986.** The mathematical theory of taxonomic keys. *Biometry Journal*. **28**(1): 109–113.
- Lobanov A. and Dianov M. 1996.** Wir bestimmen Käfer (Мир жуков). CD-ROM. Berlin, «dialobis edition».
- Lobanov A.L., Schilow W.F. and Nikritin L.M. 1981** Zur Anwendung von Computern für die Determination in der *Entomologie Deutsche Entomologische Zeitschrift, N.F.* **28**(1–3): 29–43.
- Lobanov A.L., Stepanjants S.D. and Dianov M.B. 1996.** Dialogue computer system BIKEY as applied to diagnostics of Cnidaria (illustrated an example of hydroids of the genus *Symplectoscyphus*). *Scientia Marina*. In: S.Piraino, F.Boero, J.Bouillon, P.F.S. Cornelius, J.M.Gili (Eds.). *Advances in Hydrozoan Biology*; **60** (1): 211–220.
- Miller G.A 1956.** The magical number seven, plus or minus two *Psychological Review*. **63**: 81–92.
- Miller M.G. and Day E.R 1990.** Interactive taxonomy: name that bug in three touches or less *American Entomologists*. **36**(3): 219–224.
- Pankhurst R.J. (Ed.). 1975.** Biological Identification with Computers. London: Academic Press. 333 p.
- Pankhurst R.J 1978.** Biological Identification. The principles and practice of identification methods in biology. London. Edward Arnold: 104 p.
- Pankhurst R.J. 1986.** A package of computer programs for handling taxonomic databases. *CABIOS*. **2**: 33–39.
- Pankhurst R.J. 1988.** Taxonomic biology seen as a database. *Classification and Related Methods of Data Analysis*: 709–716.
- Pankhurst R.J. 1991.** Practical taxonomic computing. Cambridge: Cambridge University Press: 202 p.
- Pankhurst R.J., Dallwitz M.J and Payne R.W. 1984.** Notice to users of computer programs for identification and description *Taxon*. **33**: 556.
- Payne R.W 1978.** GENKEY. A program for constructing and printing identification keys and diagnostic tables. Harpenden: Rothamsted Experimental Station: 54 p.
- Payne R.W. and Preece D. 1980.** Identification keys and diagnostic tables: a review. *Journal of the Royal Statistic Society*, series A. **143**(3): 253–292.
- Rubio F.F 1986.** Computerized key for the determination of Spanish Rhopalocera. *Servicio de Publicaciones*: 237
- Ryss A., Lobanov A. 1999.** Principles of taxonomic identification illustrated on nematode computer key *Problems of Nematology. Trudy Zoologicheskogo Instituta RAS. (Proceedings of the Zoological Institute RAS)*. **280**: 22–23.
- Ryss A., Lobanov A. and Dianov M. 1995a.** Identification key to Pratylenchus (Pratylenchidae) in the BIKEY dialogue computer diagnostic system. *International Nematology Symposium*. 23–30 September 1995. Abstracts of papers. St. Petersburg, Russia: 82–83.
- Ryss A., Sturhan D., Lobanov A. and Dianov M. 1995b.** Identification key to Pratylenchoides (Tylenchida) in the dialogue computer diagnostic system. *International Nematology Symposium*. 23–30 September 1995. St. Petersburg – Russia. Abstracts of papers: 80–82.
- Schalk P.H. 1993.** Computer-aided taxonomy. *Binary*, **4**: 124–126.
- Schilowa B. 1997.** Wir bestimmen Bäume. CD-ROM. Berlin, «dialobis edition».
- Sviridov A.V. and Leuschner D. 1986.** Optimization of taxonomic keys by means of probabilistic modelling *Biometrical Journal*. **28**(5): 609–616.
- Tilling S.M. 1984** Keys to biological identification: their role and construction. *Journal of Biological Education*. **18**: 293–304.
- Vignes R., Lebbe J. and Dedet J.P 1990.** Automatic generation of identification keys for French Guinea Phlebotomine sandflies. *Bulletin de la Societe Francaise de Parasitologie*. **8**(2): 1147.
- Watson L. 1981.** An automated system of generic descriptions for Caesalpinioidea, and its application to classification and key-making. *Advances in Legume Systematics*: 65–81.
- Winfield P.J., Allkin R. and Bisby F.A. 1987.** ALICE: Biological checklist and species diversity database system. Edinburgh: Agricultural Scientific Services. 27 p.