

Многоходовый политомический компьютерный ключ для определения астрагалов Сибири (*Astragalus* L., Fabaceae)

И. А. АРТЕМОВ

Центральный сибирский ботанический сад СО РАН
630090, Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101
E-mail: artemov@csbg.nsc.ru

АННОТАЦИЯ

Приводится описание многоходового политомического компьютерного ключа, предназначенного для определения 102 видов и подвидов астрагалов Сибири. При работе с программой на каждом шаге определения происходит редукция списка видов, сокращение списков состояний качественных признаков, пересчет диагностической ценности признаков и ранжирование признаков в соответствии с их диагностической ценностью. В программе предусмотрена возможность вернуться на предыдущие ступени определения, получить справочный текстовый и иллюстративный материал, воспользоваться интерактивным одноходовым дихотомическим ключом, внести исправления и дополнения в таблицу данных. Программа является локальной, создана в среде Microsoft Access 2002.

Ключевые слова: определение растений, многоходовый политомический компьютерный ключ, *Astragalus*, Сибирь.

Диагностика объектов является отправной точкой и основой любого биологического исследования. От верности определения таксономической принадлежности образцов зависит правомерность выводов, полученных на данном материале. В связи с этим задача надежной таксономической идентификации биологических объектов неизменно актуальна.

Существуют различные способы определения биологических объектов, равно как и различного рода инструментарий и вспомогательный материал, используемый при определении. Так, монограф группы или квалифицированный флорист, “с первого взгляда” определяющий вид растения, исходит из знания протолога, типового материала и гербарных сборов из разных точек ареала. Для неспециалистов публикуются иллюстрирован-

ные атласы с описаниями, рисунками и фотографиями сравнительно небольшого числа наиболее ярких или ценных представителей флоры. Однако в преобладающем большинстве случаев для определения растений используются ключи, опубликованные во флорах и определителях. Как правило, это одноходовые дихотомические ключи, т. е. ключи с жестко заданной последовательностью определения и двумя альтернативными вариантами выбора на каждой ступени [1, 2].

Для повышения надежности и эффективности одноходовых дихотомических ключей используются различные способы оптимизации, например уменьшение длины ключа [3]. Тем не менее единственный путь определения, предусмотренный в подобных ключах, зачастую сводит на нет все усилия их составителей, направленные на то, чтобы сделать определение быстрым и надежным. Это имеет

место, когда у образца отсутствуют органы, признаки которых требуется знать для прохождения текущей ступени, или когда определяющий недостаток хорошо знаком с морфологией группы и не вполне четко представляет, в какой степени признаки образца соответствуют признакам и их свойствам, приведенным в тезе и антитезе. При определении с помощью одноходовых ключей такие ситуации возникают постоянно. Способ их предотвращения со стороны составителя ключа – использование в тезе и антитезе нескольких признаков. Способ их преодоления со стороны пользователя – продолжить определение как по пути, задаваемым тезой, так и по пути, задаваемым антитезой. Первый способ делает ключ более надежным, но и более громоздким. Второй способ существенно увеличивает продолжительность определения, тем более что при работе с длинными ключами ситуации с неоднозначным прохождением ступени могут возникать неоднократно. Радикальным решением подобной проблемы является возможность произвольного выбора признаков, предусмотренная во многоходовых ключах.

Использование многоходовых ключей для идентификации биологических объектов, в том числе и растений, имеет довольно длинную историю и восходит к началу XX в. Первоначально это были “бумажные” цифровые политомические ключи и ручные перфокартные диагностические системы [2, 4, 5]. Успехи в использовании перфокартных определителей подготовили почву для создания компьютерных диагностических систем. Первый отечественный опыт в этой области – созданная в середине 60-х гг. программа для определения сортов винограда [6]. С тех пор теория и практика построения диагностических ключей существенно продвинулись. Биологическая диагностика оформилась в качестве самостоятельной дисциплины, являющейся прикладной ветвью систематики [7]. Созданы разнообразные диагностические системы, причем с массовым использованием персональных компьютеров внутренняя структура компьютерных ключей достигла “универсального оптимума” [8].

А. Л. Лобанов, проанализировав известные диагностические программы, делает вывод, что в основе “идеального” компьютерного

определителя должен лежать многоходовый политомический ключ [7]. Это обусловлено следующими преимуществами компьютерных многоходовых политомических ключей по сравнению с традиционными “бумажными” одноходовыми дихотомическими ключами:

1. Возможность быстрого определения образца при отсутствии у него каких-либо органов.

2. Возможность исправлять состояния признаков отдельных таксонов и вводить новые таксоны без изменения структуры ключа.

3. Возможность использования в диагностическом процессе признаков, имеющих у изменчивых таксонов перекрывающиеся состояния/значения.

4. Возможность оценки диагностической ценности признаков и их ранжирования на каждом шаге определения.

5. Широкие возможности по предоставлению дополнительной справочной информации [8, 9]. Для ботанических диагностических систем это могут быть тексты описаний растений, рисунки растений или отдельных органов, фотографии растений в природе и гербарных (в том числе типовых) образцов.

Недостатками компьютерных многоходовых политомических ключей по сравнению с “бумажными” одноходовыми дихотомическими ключами являются сложность и трудоемкость их создания [7, 9]. В идеальном случае для создания компьютерного ключа требуется совместная работа специалистов в области как таксономии, так и информационных технологий. Трудоемкость многоходового ключа обусловлена и тем, что в его основе лежит пантотомическая таблица, в которой приводится информация о состоянии/значении каждого признака для каждого таксона. При заполнении таблицы могут возникать вопросы, связанные с неоднозначностью терминов, используемых для характеристики состояний признаков, а также трудности, обусловленные неполнотой информации, например, когда в имеющихся описаниях вида отсутствуют сведения о некоторых признаках, используемых в таблице, а гербарный материал недоступен. Тем не менее трудно согласиться с мнением А. Л. Лобанова [7], что “с ростом числа включаемых в определитель таксонов затраты на создание одноходового текстового определителя растут в арифме-

тической прогрессии, а на создание многовходового компьютерного – в геометрической”. Опыт, полученный при программировании ключа для одной группы, автоматически может быть использован при создании ключей для других групп, следовательно, для второго и последующего компьютерных ключей часть работы, связанная с их программированием, будет иметь уже довольно рутинный характер и потребует существенно меньше времени и усилий. Что же касается единой системы признаков и их состояний, а также пантомической таблицы признаков, то они создаются при систематической обработке той или иной группы вне зависимости от того, предполагается ли при этом создание “бумажного” одновходового дихотомического или компьютерного многовходового политомического ключа. Еще одной особенностью компьютерных многовходовых ключей, которую можно рассматривать в качестве их недостатка по сравнению с бумажными дихотомическими ключами, является необходимость использования персональных компьютеров, которые, по крайней мере пока, не всегда удобны для определения растений в лаборатории, не говоря уже о работе в поле.

Несмотря на отмеченные недостатки компьютерных многовходовых ключей, в настоящее время имеется большое число интерактивных определителей растений. Большинство из них создано с использованием программ INTKEY, PANKEY, Naviskey, PollyClave, ActKey. На базе программы INTKEY создано более 20 определителей растений разных групп и регионов, в частности определитель “Festuca of North America” [10, 11]. С использованием программы ActKey создано более 80 интерактивных многовходовых ключей для определения семейств, родов и видов растений Китая, Северной Америки, Мадагаскара, Калимантана (Борнео) и всего мира. Это, например, программы “Brassicaceae: Genera of the World” и “Rosaceae: Potentilla of China” [12, 13]. Несколько многовходовых определителей создано с помощью программы PollyClave, в частности определитель растений по семенам и мелким плодам с целью изучения экологии семенного банка прибрежных местообитаний – “Seed

flora of La Pérouse Bay, Manitoba, Canada” [14–16]. Из отечественных ботанических компьютерных многовходовых диагностических систем нам известны программа с локальным доступом RECOFAM, предназначенная для определения 102 семейств двудольных Сибири [17], и доступная в интернете программа для определения 20 видов молочаев Русско-го Алтая [18].

В качестве тенденций развития компьютерных идентификационных систем следует отметить переход от локальных программ (INTKEY, PANKEY) к интернет-доступным ключам (определители на базе Naviskey, PollyClave, ActKey) и от хранения данных в виде текстовых файлов формата DELTA (Description Language for Taxonomy) [19] к реляционным базам данных (ActKey, DeltaAccess) [14, 20–22]. Следует отметить, что для создания идентификационных программ оказывается оправданным использование современных приложений, разработанных для управления реляционными базами данных. Так, система DeltaAccess и ее модуль Identify, предназначенный для интерактивной идентификации, созданы в среде Microsoft Access [20–22].

Принимая во внимание полезность компьютерных многовходовых определителей и очень малое число подобных отечественных программ, можно заключить, что их создание представляет несомненный интерес. При этом, имея в виду сравнительную трудоемкость интерактивных диагностических систем, в первую очередь следует обратить внимание на группы, компьютерные определители которых будут востребованы. Прежде всего это многовидовые роды, такие как *Astragalus*, *Oxytropis*, *Salix*, *Carex*, *Potentilla*. Определение видов этих родов традиционно вызывает трудности уже потому, что, чем длиннее ключ, тем больше вероятность ошибки. Создавая компьютерный ключ для сложных родов, следует как можно более полно использовать возможности интерактивных диагностических систем, оптимальный вариант которых представляет собой “многовходовый политомический диалоговый пошаговый компьютерный ключ с широким использованием изображений таксонов и их признаков, машинной оценкой и ранжированием

признаков на каждом шаге определения и набором приемов для повышения надежности определения” [7]. Именно этих принципов мы старались придерживаться при работе над компьютерным определителем астрагалов Сибири.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В качестве источника данных для программы-определителя использовались гербарные образцы астрагалов, собранные и определенные автором, материалы Гербария ЦСБС СО РАН (NS) и Гербария им. М. Г. Попова ЦСБС СО РАН (NSK), описания и иллюстрации астрагалов из “Флоры Сибири” [23], “Флоры Западной Сибири” [24], “Флоры Центральной Сибири” [25], “Флоры СССР” [26], “Флоры Казахстана” [27], “Flora of Alaska” [28], “Определителя растений Алтайского края” [29], “Красной книги РСФСР” [30], “Красной книги Республики Алтай” [31], “Красной книги Республики Тыва” [32], “Красной книги Алтайского края” [33], “Красной книги Республики Бурятия” [34], данные по географии и экологии видов из монографии “Legumes of Northern Eurasia” [35]. Использовались публикации, посвященные отдельным, недавно описанным видам [36], а также цветные рисунки астрагалов из иконотеки лаборатории гербарий ЦСБС СО РАН, выполненные Н. Прийдак.

В таблицу видов и их признаков вошли 102 вида и подвида астрагалов, к настоящему времени обнаруженные на территории Сибири. Включенные в программу-определитель виды и подвиды астрагалов принимались в объеме, принятом в “Конспекте флоры Сибири” [37].

Настоящая программа-определитель основана на использовании принципа многовходового политомического ключа, который позволяет пользователю на каждом шаге определения выбирать любые признаки из предложенного перечня, при этом преобладающее большинство качественных признаков представлено более чем двумя альтернативными состояниями. Программа является локальной, создана в среде Microsoft Access 2002 с применением языка программирования Visual Basic for Access (VBA).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Способ хранения данных. Основу программы составляет реляционная база данных (БД), представленная системой таблиц в формате MS Access. Это 25 таблиц состояний качественных признаков, таблица видов и их признаков, 3 таблицы иллюстраций. Для идентификации используются 32 количественных и качественных морфологических признака. В качестве дополнительного признака приводятся данные по географии видов – их встречаемость в рабочих флористических районах Сибири [23, 38] согласно схеме районирования, использованной во “Флоре Сибири” [39].

По большинству признаков виды растений, астрагалы в том числе, демонстрируют континуум возможных значений (в случае количественных признаков) или состояний (в случае качественных признаков). В связи с этим в таблице видов и их признаков предусмотрены поля, соответствующие нижнему и верхнему состоянию/значению признака. Например, у *Astragalus alopecurus* нижнее значение признака “Число пар листочков” составляет 17, а верхнее – 27; нижнее состояние признака “Форма соцветия” – соцветия “продолговато-головчатые – шаровидно-овальные (длина превышает ширину не более чем в 1,5 раза)”, а верхнее – соцветия “продолговато-овальные – укороченные (длина превышает ширину в 2–3 раза)”. На этом примере также видно, что термины, соответствующие б. м. сходным качественным состояниям признака, группировались и характеризовались более очевидными количественными соотношениями. Когда состояние/значение признака для данного вида было неизвестно, в поля вводились показатели, которые рассматриваются программой в качестве любого из возможных состояний/значений признака.

Алгоритм расчета диагностической ценности признаков. Оценка признаков на каждом шаге определения является одним из средств, повышающих эффективность компьютерных ключей. Для расчета диагностической ценности признаков за основу взят подход Маккакаро [3, 40], при котором признаки оцениваются исходя из того, насколько

ко дробно и равномерно они делят имеющийся набор таксонов. Это основано на положении, что более дробное и равномерное деление совокупности таксонов на каждой ступени ключа обеспечивает сокращение средней длины пути определения, что, по концепции Осборна [3, 41], уменьшает вероятность ошибки при определении образца.

Поскольку обычно тот или иной признак вида описывался несколькими состояниями/значениями, представляющими собой континуум, предложено для расчета диагностической ценности признака для каждой пары видов использовать показатель различия состояний признака I_d (index of difference), представляющий собой дополнение до 1 индекса общности Кульчинского (I_k) [42, 43]:

$$I_d = 1 - I_k,$$

$$I_k = a/2 (1/(a + b) + 1/(a + c)),$$

где a – число совпадающих состояний/значений признака для видов B и C ; b – число состояний/значений признака, свойственных виду B и не свойственных виду C ; c – число состояний/значений признака, свойственных виду C и не свойственных виду B .

Значение I_d изменяется от 0 (полное совпадение состояний/значений признака, разграничение видов по этому признаку невозможно, диагностическая ценность признака для двух данных видов нулевая) до 1 (полное несовпадение состояний/значений признака, разграничение видов по этому признаку возможно с вероятностью 100 %, диагностическая ценность признака для двух данных видов максимальна). При частичном перекрывании состояний/значений признака вероятность разграничения двух видов по данному признаку принимает значения больше 0 и меньше 100 %, а I_d – значения больше 0 и меньше 1.

Для расчета диагностической ценности признака для выборки из более чем двух видов использовалась формула В. И. Васильева [3, 44], представляющая собой отношение суммы показателей различия для всех возможных парных сочетаний видов выборки к общему числу возможных парных сочетаний:

$$D = \sum I_d / T(T - 1),$$

где $\sum I_d$ – сумма показателей различия состояний признака для всех возможных пар

выборки; T – число видов в выборке, $T(T - 1)/2$ – число возможных пар выборки.

Величина D изменяется от 0 (все виды выборки характеризуются одинаковыми состояниями признака) до 1 (все виды выборки характеризуются разными состояниями признака).

Следует обратить внимание на допущения, принятые при расчете показателя диагностической ценности признака:

1. При вычислении I_k для состояний/значений признака у двух видов все состояния/значения рассматриваются в качестве равновероятных, тогда как в природе средние значения в континууме состояний/значений встречаются гораздо чаще и в расчетах должны иметь больший вес.

2. При определении конкретного образца диагностически наиболее ценным может оказаться признак, имеющий уникальное состояние/значение у одного из видов выборки (например, особая форма бобов или необычно малое число листочков). Выбор такого признака и такого его состояния/значения позволит сразу определить образец (т. е. диагностическая ценность этого признака для этого вида будет максимальной). Однако диагностическая ценность данного признака, рассчитанная для всей выборки видов, вовсе не обязательно будет очень высокой. Пользователю следует иметь это в виду и при определении с помощью программы обращать особое внимание на наиболее “яркие” особенности образцов. В то же время не стоит забывать, что при выборе признака, имеющего нулевую диагностическую ценность, число видов выборки не уменьшится, тогда как выбор признака с диагностической ценностью, равной единице, приведет к однозначному определению вида.

Сценарий работы программы. Интерактивное определение вида происходит по следующему сценарию:

1. Пользователь выбирает качественный/количественный признак, состояние/значение которого у определяемого образца более или менее очевидно и который имеет высокую диагностическую ценность и вводит это состояние/значение.

2. Программой выбираются виды, у которых нижнее состояние/значение выбранного признака меньше или равно введенному

состоянию/значению и верхнее состояние/ значение признака, соответственно, больше или равно введенному состоянию/значению, а также виды, для которых состояние/ значение данного признака не известно. Формируется новый (сокращенный) список видов.

3. Программой в сокращенном списке видов для каждого качественного признака выбираются его наименьшее и наибольшее состояния. Для нового списка видов формируются новые, в большинстве случаев сокращенные списки состояний качественных признаков. Также для сокращенного списка видов производится пересчет диагностической ценности признаков и ранжирование списка признаков в соответствии с их диагностической ценностью.

4. Если определение не закончено, то осуществляется следующий шаг определения (см. п. 1–3).

Интерфейс основной формы. Определение видов происходит при работе с формой “Многоходовый политомический определитель астрагалов Сибири” (рис. 1). Основная часть формы представляет собой окно с полями качественных признаков и их состояний и полями для ввода значений количественных признаков. В форме имеются поля: со списком видов; с числом видов в текущем списке; выбранных в процессе определения при-

знаков; признаков и их диагностической ценности.

После ввода состояния/значения признака программа выполняет действия, описанные в п. 2–3 предыдущего раздела и визуализирует результаты шага определения. В результате в основном окне формы происходит обновление (сокращение) списков состояний для полей качественных признаков. Используемый признак помечается галочкой. В полях формы выводятся: сокращенный список видов, удовлетворяющих введенному параметру; общее число видов сокращенного списка; выбранные на данном шаге определения признак и его состояние/значение; список признаков и их диагностической ценности, рассчитанный для сокращенного списка видов и ранжированный по убыванию диагностической ценности признаков (рис. 2).

Ввод состояний/значений признаков осуществляется до тех пор, пока список видов в правом окне формы не сократится до одного вида. Для проверки правильности определения можно запросить дополнительную информацию. Для этого надо указать курсором на видовой эпитет. В результате откроются вспомогательные формы, содержащие текстовое описание вида, его рисунки и фотографии гербарных образцов (рис. 3). Следует отметить, что к вспомогательным фор-

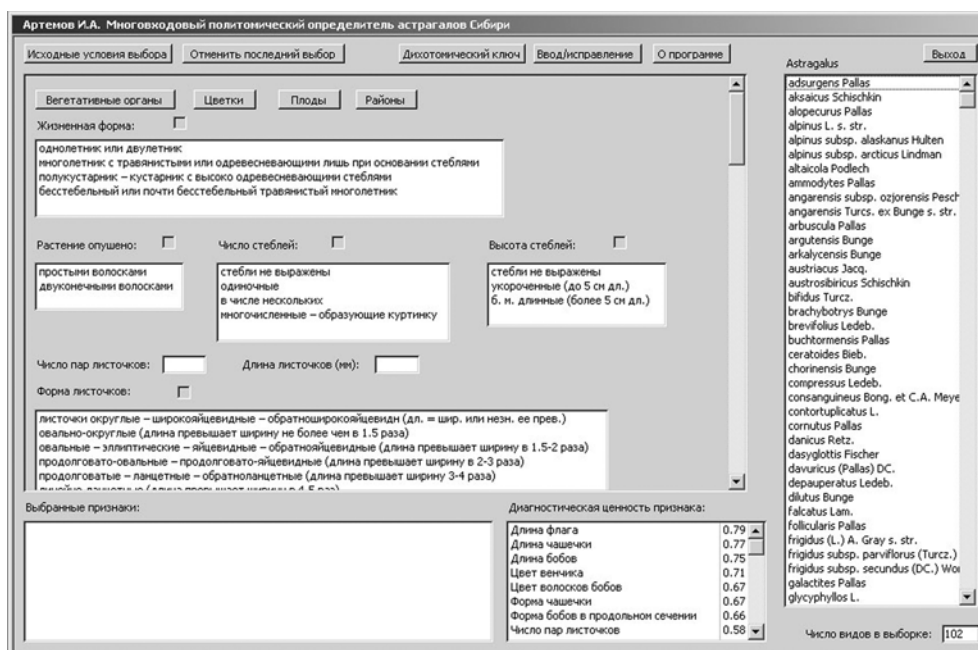


Рис. 1. Форма “Многоходовый политомический определитель астрагалов Сибири” (исходные условия)

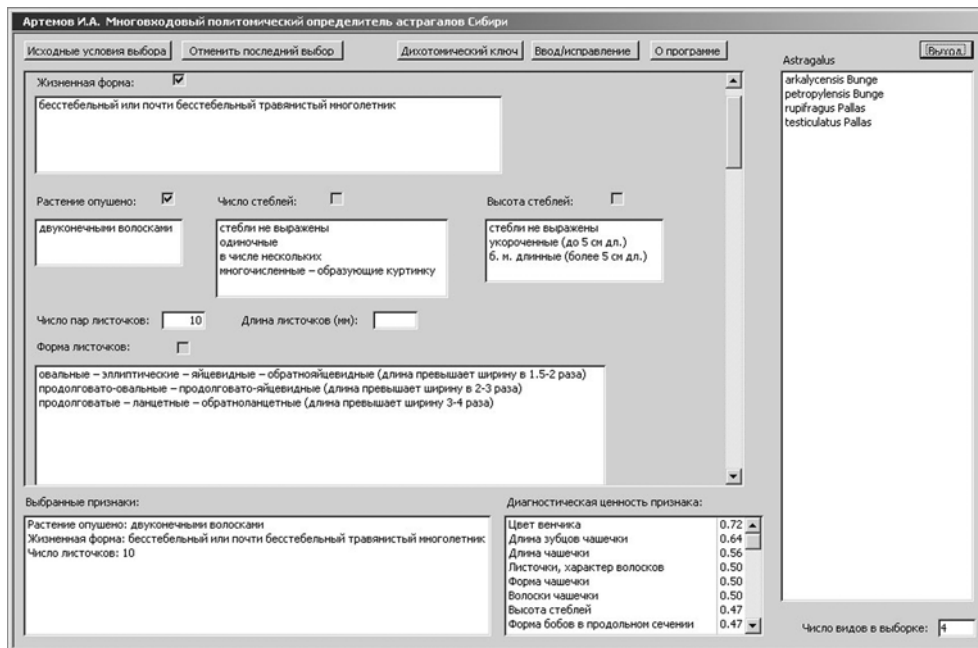


Рис. 2. Форма “Многоходовый полиномический определитель астрагалов Сибири” (состояние после трех шагов определения)

мам, содержащим информацию о том или ином виде, пользователь может обращаться на любом этапе определения, в частности, в том случае, когда число предлагаемых в программе признаков оказывается недостаточным для различения близких видов.

Если при введении очередного значения признака список видов оказывается пустым или же определение, по мнению пользователя, оказывается неверным или сомнительным, можно, нажимая кнопку “Отменить по-

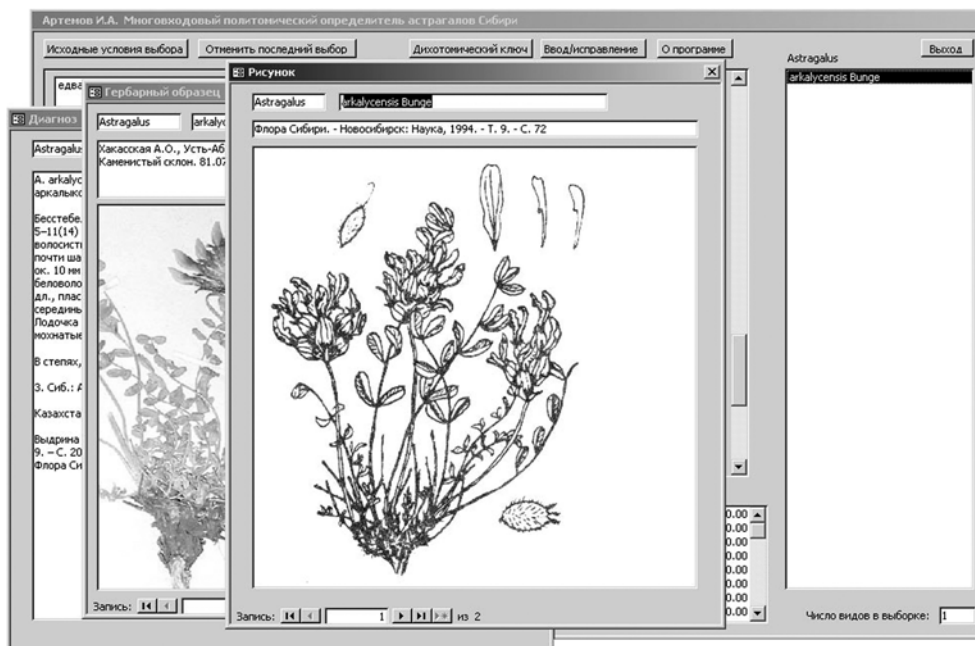


Рис. 3. Формы “Многоходовый полиномический определитель астрагалов Сибири”, “Диагноз”, “Гербарный образец”, “Рисунок” (результат определения)

следний выбор”, вернуться на шаг или несколько шагов определения назад.

Для нового определения или повторения определения с исходной позиции следует нажать кнопку “Исходные условия выбора”.

Использование одновходового дихотомического ключа. В тех случаях, когда определение образца с помощью одновходового политомического ключа не дает однозначного результата, может быть полезным обращение к традиционному одновходовому дихотомическому ключу, поскольку в последнем используется более широкий набор признаков и их состояний, некоторые из которых (и только они) необходимы для различения близких видов. При этом мы имели в виду, что в практике использования одновходовых дихотомических ключей бывает полезным проходить их не только “сверху вниз” – от начала к определяемому виду, но и “снизу вверх” – от предполагаемого вида на несколько предыдущих ступеней назад с целью выяснения, по каким признакам данный вид отличается от наиболее близких видов. Эти возможности реализованы в виде интерактивного одновходового дихотомического ключа в соответствующей вспомогательной форме, выход на которую предусмотрен из основной формы программы.

Исправление и ввод данных. Всякий ключ со временем требует внесения исправлений и дополнений. Это может быть связано, в частности, с описанием новых видов или с обнаружением новых местонахождений ранее известных видов.

Одним из достоинств компьютерного одновходового ключа является возможность внесения в таблицы данных исправлений и дополнений без каких-либо изменений самой программы. Поскольку программа “Многовходовый политомический определитель астрагалов Сибири” является локальной и в отличие от онлайн-программ не предполагает централизованного изменения, в ней предусмотрена возможность внесения исправлений и дополнений на уровне отдельного пользователя. Для этого пользователю следует перейти в форму “Ввод/исправление данных”. Выбрав запись нужного вида, пользователь может внести необходимые изменения в поля признаков и, перейдя на новую

(пустую) запись таблицы, ввести новый вид и его признаки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При создании программы “Многовходовый политомический определитель астрагалов Сибири” предпринята попытка как можно более полно использовать возможности персонального компьютера для определения растений. Компьютерный ключ астрагалов является интерактивным, многовходовым, политомическим, пошаговым (в процессе определения на каждом шаге происходит редукция списка видов, редукция списков состояний качественных признаков, пересчет диагностической ценности признаков и ранжирование признаков в соответствии с их диагностической ценностью). В программе предусмотрен набор приемов для ускорения и повышения надежности определения (возможность вернуться на предыдущие ступени определения, получить справочный текстовый и иллюстративный материал, воспользоваться интерактивным одновходовым дихотомическим ключом).

Наряду с перечисленными достоинствами программа имеет ряд относительных недостатков:

1. В программе отсутствуют рисунки, иллюстрирующие состояния качественных признаков.

2. Программа является локальной, т. е. недоступна в интернете. Однако благодаря этому свойству конкретный пользователь может вносить в программу исправления и дополнения, исходя из своего опыта и на основании новых данных.

3. Из-за большого числа использованных иллюстраций программа занимает 2,5 ГБ на жестком диске. Однако для современных персональных компьютеров это не является серьезным ограничением.

4. Так как программа работает в среде Microsoft Access 2002 (Office XP), на персональном компьютере должно быть установлено данное программное обеспечение или MS Access более поздних версий. Это условие является не столько недостатком, сколько стесняющим обстоятельством. При этом следует отметить, что MS Access представ-

ляет собой одну из самых распространенных систем управления базами данных.

Перечисленные недостатки не являются критическими, а опыт использования программы “Многоходовый политомический определитель астрагалов Сибири” подтвердил ее удобство и эффективность. Кроме того, следует иметь в виду, что даже идеальный ключ является лишь одним из инструментов определения растений и ни в коем случае не заменяет работу с гербарием (в том числе типовым) и знакомство с растениями в природе.

Очередным этапом работы в данном направлении является создание доступных в интернете и лишенных перечисленных недостатков компьютерных определителей ряда многовидовых родов флоры Сибири – *Potentilla*, *Carex*, *Salix* и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лобанов А. Л. Логический анализ и классификация существующих форм диагностических ключей // Энтомологическое обозрение. 1972. Т. 51, вып. 3. С. 668–681.
2. Свиридов А. В. Типы биодиагностических ключей и их применение. М.: Зоологический музей МГУ, 1994. 110 с.
3. Свиридов А. В. Ключи в биологической систематике: теория и практика. М.: Изд-во МГУ, 1994. 224 с.
4. Балковский Б. Е. Цифровой политомический ключ для определения растений. Киев: Наук. думка, 1964. 36 с.
5. Гвоздева Л. П., Джармагамбетов Т. Ж. Перфокартный определитель цветковых растений Казахстана и принципы его составления / Биологические науки. Вып. 1. Алма-Ата, 1974. С. 34–43.
6. Кискин П. Х., Печерская И. Н., Печерский Ю. Н. Автоматизация диагностического поиска сортов винограда на ЭВМ “Минск-1” // Виноделие и виноградарство СССР. 1965. № 1. С. 21–22.
7. Лобанов А. Л. Определители жуков и биологическая диагностика [Электронный ресурс]. URL: <http://www.zin.ru/Animalia/coleoptera/rus/syst8.htm> (дата обращения 05. 2007).
8. Лобанов А. Л., Рысс А. Ю. Компьютерные идентификационные системы в зоологии и ботанике: современное состояние и перспективы // Информационно-поисковые системы в зоологии и ботанике (тезисы Междунар. симпозиума): труды Зоологического института РАН. 1999. Т. 278. С. 17–29.
9. Лобанов А. Л. Принципы построения определителей насекомых с использованием электронных вычислительных машин: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Л., 1983. 19 с.
10. Aiken S. G., Dallwitz M. J., McJannet C. L., Consaul L. L. Biodiversity among *Festuca* (Poaceae) in North America: diagnostic evidence from DELTA and clustering programs, and an INTKEY package for interactive, illustrated identification and information retrieval // Canadian J. of Botany. 1997. Vol. 75, N 9. P. 1527–1555.
11. Dallwitz M. J. Descriptions, Illustrations, Interactive Identification, and Information Retrieval from DELTA Databases // DELTA – Description Language for Taxonomy [Электронный ресурс]. URL: <http://delta-intkey.com/www/data.htm> (дата обращения 05.2007).
12. Actkey [Электронный ресурс]. URL: <http://flora.huh.harvard.edu:8080/actkey> (дата обращения 11.05.2007).
13. Brach A. R., Song H. ActKey: a Web-based interactive identification key program // Taxon. 2005. Vol. 54, N 4. P. 1041–1046.
14. Chang E. R., Dickinson T. A., Jefferies R. L. Seed flora of La Pérouse Bay, Manitoba, Canada: a DELTA database of morphological and ecological characters // Canadian J. of Botany, 2000. Vol. 78, N 4. P. 481–496.
15. Barley M., Dickinson T. WEB-based interactive identification using NAVIKEY and POLLYCLAVE [Электронный ресурс]. URL: <http://www.botany.utoronto.ca/faculty/dickinson/IBC01.html> (дата обращения 05.2007).
16. Welcome to PollyClave. A multiple-entry identification key [Электронный ресурс]. URL: <http://prod.library.utoronto.ca:8090/polyclave> (дата обращения 05.2007).
17. Красинский В. И. Диагностика многомерных многозначных ботанических объектов на основе теории нечетких множеств – программа RECOFAM // Биометрика, 2000 [Электронный журнал]. URL: <http://www.biometrica.tomsk.ru/diagnoz.htm> (дата обращения 05.2007).
18. Байков К. С. Ключ для определения молочаев Русского Алтая // Электронный атлас “Биоразнообразие животного и растительного мира Сибири” [Электронный ресурс]. URL: <http://www-sbras.nsc.ru/win/elbib/atlas/key2> (дата обращения 05.2007).
19. Dallwitz M. J. A general system for coding taxonomic information // Taxon. 1980. Vol. 29, N 1. P. 41–46.
20. Hagedorn G. DeltaAccess – a SQL interface to DELTA, the Description Language for Taxonomy, implemented in Microsoft Access 97, 2000, and 2002 (= XP) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.diversityworkbench.net/OldModels/Descriptions/index.html> (дата обращения 05.2007).
21. Hagedorn G. DeltaAccess – a SQL interface to DELTA (Description Language for Taxonomy), implemented in Microsoft Access. Introduction [Электронный ресурс]. URL: http://www.diversityworkbench.net/OldModels/Descriptions/Docu160/DELTAACCESS_IN.html (дата обращения 05.2007).
22. Hagedorn G. DeltaAccess – a SQL interface to DELTA (Description Language for Taxonomy), implemented in Microsoft Access. Interactive identification [Электронный ресурс]. URL: http://www.diversityworkbench.net/OldModels/Descriptions/Docu160/DELTAACCESS_ID.html#Identify (дата обращения 05.2007).
23. Выдрин С. Н. *Astragalus* L. – Астрагал // Флора Сибири. Т. 9: Fabaceae (Leguminosae). Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1994. С. 20–74, 211–212.
24. Крылов П. Н. Флора Западной Сибири. Томск, 1933. Вып. 7. С. 1449–1817.
25. Пешкова Г. А. Семейство Fabaceae, или Leguminosae – Бобовые // Флора Центральной Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1979. Т. 2. С. 585–639.

26. Борисова А. Г., Васильченко И. Т., Гончаров Н. Ф. и др. Род 809. *Astragalus* L. // Флора СССР. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1946. Т. 12. 918 с.
27. Васильева А. Н., Гамаюнова А. П., Голоскоков В. П. и др. Астрагал – *Astragalus* L. // Флора Казахстана. Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1961. Т. 5. С. 90–330.
28. Hultén E. Flora of Alaska and Neighboring Territories. Stanford, California, 1968. 1008 p.
29. Определитель растений Алтайского края / И. М. Красноборов, М. Н. Ломоносова, Д. Н. Шауло и др. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал “Гео”, 2003. 634 с.
30. Красная книга РСФСР (растения) / под ред. А. Л. Тахтаджяна. М.: Россельхозиздат, 1988. 591 с.
31. Красная книга Республики Алтай. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений / А. Г. Манеев, И. Н. Пшеничная, Н. В. Федоткина и др. Новосибирск: ЦСВС СО РАН, 1996. 130 с.
32. Красная книга Республики Тыва: растения / И. М. Красноборов, Д. Н. Шауло, В. М. Ханминчун и др. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. 150 с.
33. Красная книга Алтайского края. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений / под ред. Р. В. Камелина. Барнаул: Изд-во АГУ, 1998. 306 с.
34. Красная книга Республики Бурятия. Редкие и исчезающие виды растений и грибов / Т. Г. Бойков, Ю. А. Рупышев, А. В. Суткин и др. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2002. 340 с.
35. Yakovlev G. P., Sytin A. K., Roskov Yu. R. Legumes of Northern Eurasia. A Checklist. Kew, 1998. 724 p.
36. Сытин А. К., Шауло Д. Н. Новый вид астрагала (*Astragalus* L., Fabaceae) из Республики Тува // Новости систематики высших растений. СПб.: Изд-во СПб. гос. хим.-фарм. академии, 2003. Т. 35. С. 128–131.
37. Конспект Флоры Сибири: Сосудистые растения / Л. И. Малышев, Г. А. Пешкова, К. С. Байков и др. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2005. 362 с.
38. Флора Сибири. Т. 14: Дополнения и исправления. Алфавитные указатели / М. В. Доронькин, А. В. Положий, В. И. Курбатский и др. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2003. 188 с.
39. Малышев Л. И. Предисловие // Флора Сибири. Lycopodiaceae – Hydrocharitaceae. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988. С. 5–11.
40. Maccacaro J. A. La misura della informazione contenuta nei criteri di classificazione // Ann. di Microbiol. ed Enzimol. 1958. Vol. 8. P. 231–239.
41. Osborne D. V. Some aspects of the theory of dichotomous keys // New Phytol. 1963. Vol. 62, N 2. P. 144–166.
42. Kulszynski S. Zespoli rozlin w Pienach // Bull. intern. acad. pol. sci. lett. Cl. sci. math. natur. Ser. B. 1927. Vol. 2. P. 57–203.
43. Песенко Ю. А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М.: Наука, 1982.
44. Васильев В. И. Распознающие системы. Киев, 1969. 292 с.

Multiple-Entry Polyclave Computer Key for Identification of the Siberian Species of *Astragalus* (Fabaceae)

I. A. ARTEMOV

*Central Siberian Botanical Garden SB RAS
630090, Novosibirsk, Zolotodolinskaya str., 101
E-mail: artemov@csbg.nsc.ru*

Description of the interactive multiple-entry polyclave electronic key for identification of 102 species and subspecies of Siberian *Astragalus* is presented. At every step of identification, the program reduces the species list, reduces the state lists for qualitative characters, recalculates diagnostic values of characters and ranks the characters by their diagnostic value. In the process of identification, a user can return to previous steps of identification, to get text descriptions and drawings of a species and the photos of herbarium specimens, to use an interactive monoentry dichotomous key, to change and input new data into the data table. The program is workstation-based and implemented in Microsoft Access 2002.

Key words: plant determination, multiple-entry polyclave electronic key, *Astragalus*, Siberia.