Authors Information

Elena Anatolyevna Ivantsova, Director of the Institute of Natural Sciences, Volgograd State University (RF, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 100), Doctor of Agricultural Sciences, tel. 8 (8442) 46-16-39, e-mail: ivantsova@volsu.ru.

Komarova Irina Anatolyevna, postgraduate student of the Department of Ecology and Environmental Management, Volgograd State University (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Ave., 100), tel. 8 (8442) 46-16-39, e-mail: komarova@volsu.ru.

Информация об авторах

Иванцова Елена Анатольевна, директор Института естественных наук Волгоградского государственного университета (РФ, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 100), доктор сельскохозяйственных наук, тел. 8 (8442) 46-16-39, e-mail: ivantsova@volsu.ru.

Комарова Ирина Анатольевна, аспирант кафедры экологии и природопользования Волгоградского государственного университета (РФ, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 100), тел. 8 (8442) 46-16-39, e-mail: komarova@volsu.ru.

DOI: 10.32786/2071-9485-2021-02-38

ONTOLOGICAL ENGINEERING IN THE FIELD OF COTTON BREEDING

O. V. Kochetkova, I.Y. Podkovuyrov, I.Y. Goncharov

Volgograd State Agrarian University, Volgograd

Received 10.03.2021

Submitted 11.05.2021

Abstract

Introduction. The introduction of cotton into production crops in southern Russia became possible thanks to the creation of new varieties *PGSSH 1* and *PGSSH 7* with a short growing season by scientists from the Volgograd State Agrarian University. As a result of many years of research, the biological potential of 21 varieties and hybrids has been analyzed, and a digital database of breeding characteristics has been collected. A new approach to the analysis and structuring of data from field experiments using digital technologies has been developed, which is an urgent task for breeding. It is based on the creation of an ontology, which made it possible to classify breeding traits in the order of their importance and semantic relationships. The purpose of the research is to formalize the knowledge and accumulated experience of experts in the field of cotton breeding in order to facilitate access to the accumulated information and its dissemination in the agricultural sector, which will reduce the costs caused by duplication of efforts and the repetition of past mistakes, as a result of which production in this area will become more efficient and cost effective. **Object.** The object of research is ontology, which provides the possibility of a comprehensive analysis of cotton breeding material for the creation of new varieties. **Materials and methods.** The research was carried out at the Department of Information Systems and Technologies and at the Center for Applied Genetics and Cotton Breeding in 2014-2020. Methods of ontological engineering, construction and visualization of subject ontologies, formation of queries to knowledge bases are applied. The study of the biological potential of varieties and hybrids was carried out in the collection on the experimental field of the University in the Educational research and production center «Gornaya Polyana». by methods of measurements and field observations of the growth, development and fruiting of cotton plants on light chestnut soils under long daylight conditions. **Results and conclusions.** The design and instrumental implementation of the ontology in the field of "Cotton Breeding" using the Protégé software environment has been carried out. It has been established that for the formation of an ontology, it is necessary to create the following classes: conditions of the growing area, types of selection, the possibility of hybridization and selection material. The cultivation of different varieties and hybrids in atypical regions allowed to elicit and analyze plant responses to stress, which were the basis for the analysis. In the classes of the ontological model, subclasses were distinguished; slots and class instances are defined; filled in the values of the attributes of the slots of the ontological model. To facilitate the work of the breeder with the ontology, template versions of queries have been created, which are data samples from the ontology accord-

ing to certain criteria of slot attributes. In addition, queries can be generated in real time. The model contains 4 classes, 35 subclasses, 37 instances, 22 instance slots, and 27 query templates. The use of this ontological model made it possible to assess the prospects of breeding material for hybridization and the creation of new varieties. It has been established that the following types of cotton are the best donors of economically valuable traits when breeding varieties for the south of Russia: treelike (*Gossypium arboreum*), herbaceous (*Gossypium herbaceum*) and Peruvian (*Gossypium barbadense*).

Key words: *cotton breeding, ontology, ontological engineering, knowledge management.*

Citation. Kochetkova O. V., Podkovuyrov I.Y., Goncharov I.Y. Ontological engineering in the field of cotton. *Proc. of the Lower Volga AgroUniversity Comp.* 2021. 2(62). 366-378 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2021-02-38.

Author's contribution. All authors of this study were directly involved in the planning, execution or analysis of this study. All authors of this article have read and approved the submitted final version.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest

УДК 004.822:631.53.011

ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ИНЖИНИРИНГ В ОБЛАСТИ СЕЛЕКЦИИ ХЛОПЧАТНИКА

О. В. Кочеткова, доктор технических наук, профессор
И. Ю. Подковыров, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
И. Ю. Гончаров, магистр

Волгоградский государственный аграрный университет, г. Волгоград

Дата поступления в редакцию 10.03.2021

Дата принятия к печати 11.05.2021

Актуальность. Внедрение хлопчатника в производственные посевы на юге России стало возможным благодаря созданию учёными ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ новых сортов ПГССХ 1 и ПГССХ 7 с коротким периодом вегетации. В результате многолетних исследований проанализирован биологический потенциал 21 сорта и гибрида, собрана цифровая база данных селекционных характеристик. Разработан новый подход к анализу, структурированию данных полевых опытов с применением цифровых технологий, что является актуальной задачей для селекции. Он основан на создании онтологии, которая позволила классифицировать селекционные признаки в порядке их значимости и семантических взаимосвязей. Цель исследований — формализация знаний и накопленного опыта экспертов в области селекции хлопчатника для упрощения доступа к накопленной информации и её распространения в сельскохозяйственной отрасли, что позволит снизить затраты, вызванные дублированием усилий и повторением прошлых ошибок, в результате чего производство в данной области станет более эффективным и рентабельным. **Объект.** Объектом исследований является онтология, обеспечивающая возможность комплексного анализа селекционного материала хлопчатника для создания новых сортов. **Материалы и методы.** Исследования выполнены на базе кафедры информационных систем и технологий и в центре прикладной генетики и селекции хлопчатника в 2014-2020 годах. Применены методы онтологического инжиниринга, построения и визуализации предметных онтологий, формирования запросов к базам знаний. Исследование биологического потенциала сортов и гибридов проведено в коллекции на опытном поле университета в УНПЦ «Горная поляна» методами измерений и натурных наблюдений за ростом, развитием и плодоношением растений хлопчатника на светло-каштановых почвах в условиях длинного светового дня. **Результаты и выводы.** Произведено проектирование и инструментальная реализация онтологии в области «Селекция хлопчатника» с использованием программной среды Protégé. Установлено, что для формирования онтологии необходимо создать следующие классы: условия района выращивания, виды селекции, возможность гибридизации и селекционный материал. Выращивание разных сортов и гибридов в нетипичных районах позволило вызвать и проанализировать ответные реакции на стресс растений,

которые были положены в основу анализа. В классах онтологической модели были выделены подклассы; определены слоты и экземпляры классов; заполнены значения атрибутов слотов онтологической модели. Для облегчения работы селекционера с онтологией созданы шаблонные варианты запросов, которые представляют собой выборки данных из онтологии по определенным критериям атрибутов слотов. Кроме того, запросы можно формировать и в реальном времени. Модель содержит 4 класса, 35 подклассов, 37 экземпляров, 22 слота экземпляров и 27 шаблонов запросов. Применение данной онтологической модели позволило оценить перспективность селекционного материала для гибридизации и создания новых сортов. Установлено, что наилучшими донорами хозяйственно ценных признаков при выведении сортов для юга России являются следующие виды хлопчатника: древовидный (*Gossypium arboreum*), травянистый (*Gossypium herbaceum*) и перуанский (*Gossypium barbadense*).

Ключевые слова: селекция хлопчатника, онтологический инжиниринг, сорта хлопчатника, системы управления знаниями.

Цитирование. Кочеткова О. В., Подковыров И. Ю., Гончаров И. Ю. Онтологический инжиниринг в области селекции хлопчатника. *Известия НВ АУК*. 2021. 2(62). 366-378. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-02-38.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Эффективная работа по созданию новых сортов и выращиванию хлопчатника требует накопления и распространения уникального опыта в этой области, создания определенного ресурса знаний [9]. В центре прикладной генетики и селекции хлопчатника Волгоградского ГАУ собрана коллекция лучших селекционных достижений. Исследование биологических особенностей 21 сорта и гибрида в течение 2014-2020 годов позволило собрать данные о реализации генетически заложенного потенциала в условиях светло-каштановых почв, что важно при выборе доноров хозяйственно ценных признаков [6].

Для повышения эффективности решения проблем, требующих сбора, обработки, поиска и представления информации, многие организации используют последние достижения в области цифровых технологий и систем управления знаниями. Так, в области сельского хозяйства сообщество практиков онтологий разработана онтология культур, в которой представлены описания агрономических, морфологических, физиологических, качественных, послеуборочных, абиотических и биотических признаков стресса сельскохозяйственных культур, что дает возможность исследователям агрегировать и сравнивать цифровые данные по проектам и местам [8]. Успешность использования цифровых ресурсов для аккумуляции и представления знаний определяется, прежде всего, выбором модели представления знаний, который должен базироваться на простоте понимания и единообразии их представления. Это упрощает механизм управления знаниями, обеспечивает относительную легкость процессов получения и интерпретации знаний для пользователей интеллектуальных систем и экспертов, чьи знания закладываются в будущую информационную систему [8]. Онтологии полностью соответствуют этим требованиям, и поэтому одной из перспективных и важных областей в области формализации знаний является онтологический инжиниринг — процесс проектирования и разработки онтологий, направленный на использование знаний компьютерных систем для решения сложных задач [5]. Онтология описывает основные понятия (положения) предметной области и определяет отношения между ними. Онтология вместе со многими отдельными экзем-

плярами классов составляет базу знаний, включает машинно-интерпретируемые формулировки основных понятий предметной области и взаимосвязи между ними, представляя общий словарь для ученых и специалистов [11].

Отсутствие единой базы знаний в области селекции хлопчатника порождает затраты, вызванные труднодоступностью накопленного опыта, дублированием усилий и повторением прошлых ошибок исследователей. Для решения этой проблемы целесообразно использовать онтологический инжиниринг, который позволит разработать и использовать онтологию предметной области. Задачи онтологического инжиниринга: повысить уровень интеграции информации, необходимой для принятия управленческих решений, повысить эффективность поиска информации и обеспечить возможность совместной обработки знаний на основе единого семантического описания пространства знаний [5].

Учитывая необходимость развития хлопководства и отсутствие интеллектуальных ресурсов для управления знаниями в области хлопководства, разработка онтологии является актуальной задачей.

Целью работы является формализация знаний и накопленного опыта экспертов в области селекции хлопчатника для упрощения доступа к накопленной информации и её распространения в сельскохозяйственной отрасли, что позволит снизить затраты, вызванные дублированием усилий и повторением прошлых ошибок, в результате чего производство в данной области станет более эффективным и рентабельным.

Материалы и методы. Полевые опыты по сортоизучению коллекции проведены в УНПЦ «Горная поляна» Волгоградского ГАУ [2]. Для анализа использовали следующие показатели: температурный режим, количество осадков и продолжительность вегетационного периода, методы выведения сортов, их ареалы возделывания, наследование хозяйственно ценных качеств (свойств экземпляров), число хромосом. При цифровой обработке полученных данных использовали следующие методы: анализ отечественных и зарубежных работ в области онтологического инжиниринга, построения и визуализации предметных онтологий, формирования запросов к базам знаний. Для поиска возможных решений применяли методы структурного и объектно-ориентированного анализа, планирования, алгоритмизации, теории систем и системного анализа. В результате анализа характеристик наиболее популярных инструментальных средств создания онтологий на основании оценок экспертов был выбран редактор Protégé, который является бесплатным продуктом, простым в использовании как для создателя онтологии, так и её конечного пользователя [3, 10].

Результаты и обсуждение. Онтологический инжиниринг включает в себя идентификацию основных классов сущностей при описании реальных взаимодействующих процессов, отношений между этими классами, а также совокупность свойств, определяющих их изменение и поведение во взаимодействии.

Элементы онтологии включают: концепты, которые отождествляются с классами, понятиями, сущностями, категориями; свойства концептов (слоты, атрибуты, роли); семантические отношения между концептами; ограничения.

Структура онтологии представляет собой семантическую сеть в виде ориентированного графа, вершинами которого являются классы, а ребра отражают семантические отношения между классами или экземплярами. Практически создание онтологий включает следующие четыре этапа: определение классов; организацию классов в некоторую иерархию (базовый класс → подкласс); определение слотов и их допустимых значений; заполнение значений слотов для экземпляров классов.

Итак, построение онтологии начинается с создания классов. Они описывают основные понятия предметной области. Так, класс «Селекционный материал» представляет все сорта хлопчатника. Класс может иметь подклассы, которые представляют бо-

лее конкретные понятия, чем суперкласс. Так, в созданном классе «Селекционный материал» все сорта представлены в подклассах: обычный (*Gossypium hirsutum*), древовидный (*G. arboreum*), травянистый (*G. herbaceum*) и перуанский (*G. barbadense*). Конкретные сорта являются экземплярами этого класса.

Условием выращивания хлопчатника является сумма активных температур (выше +12 °C) более 2700°C и длительность вегетационного периода более 110 дней. Поэтому основные районы его возделывания расположены в тропическом, субтропическом и умеренном климате. Нашими исследованиями [1, 4] установлено, что Волгоградская область является самым северным районом промышленного выращивания хлопчатника. Испытываемые в коллекции сорта в этом регионе подвержены действию комплекса факторов, вызывающих стресс и ответные реакции растений в виде проявления свойств экземпляров. Для предоставления этой информации был создан отдельный класс «Районы выращивания», для этого класса заданы свойства: Макс_Температура_(C), Мин_Температура_(C), Осадки_(мм в год) и др.

В задаче создания новых сортов одним из центральных вопросов является выбор метода селекции. Для его решения был создан класс «Виды селекции», который включает подклассы: гибридизация (процесс получения потомства от скрещивания разных генетических форм), отбор (выбор человеком наиболее ценных культур для селекции), мутагенез (внесение изменений в ДНК), полиплоидия (увеличение числа наборов хромосом в клетках организма). Данный класс позволяет сделать выбор в пользу одного из методов селекции.

В селекции хлопчатника классическим методом является гибридизация. Алгоритм его реализации позволяет выявить из анализируемых видов хлопчатника перспективных генетических доноров. В онтологии определены сведения о возможности гибридизации, которая характеризуется коэффициентом родства сортов. Чем его значение ближе к 1, тем больше процент совпадения по количеству хромосом и остальным характеристикам сорта. Созданный класс «Возможность гибридизации» имеет следующие подклассы: ДХ – древовидный хлопчатник, ПХ – перуанский хлопчатник, ОХ – обыкновенный хлопчатник, ТХ – травянистый хлопчатник.

Разработанная нами методика позволила установить, что для создания нового сорта с заданными свойствами экземпляров необходимо использовать гибридизацию среди сортов хлопчатника древовидного, травянистого и перуанского. Их скрещивание позволяет получить уникальные сочетания свойств, большую вариабельность у потомства для дальнейшего отбора селекционных образцов – кандидатов в сорта.

Для эффективной селекции были выделены 4 класса и 35 подклассов онтологической модели и организована иерархическая структура их подклассов. Это позволило построить структурные модели с различными уровнями глубины декомпозиции. Тем не менее, этого недостаточно, чтобы получить подробное представление о структурных элементах нового сорта хлопчатника и их связях. Для решения частных селекционных задач при помощи онтологической модели были выделены индивидуальные структурные единицы, которые представляют собой максимальный уровень глубины декомпозиции. Кроме того, для каждого класса определены свойства, так называемые «слоты», которые характеризуют структурные единицы по какой-либо функциональной особенности. Экземпляры класса служат для представления элемента описываемой предметной области, где класс выступает в виде шаблона, содержащего множество правил, определяющих то, каким образом может быть создан новый сорт (построен экземпляр).

Помимо экземпляров, класс имеет атрибуты, которые используются для хранения информации об экземплярах класса. Завершающим же этапом в детализации модели будет заполнение значений различных слотов для каждого экземпляра.

В онтологии по селекции хлопчатника конкретные сорта являются экземплярами подклассов, к которым они относятся. Так, сорта Аккурган-2, Наманган-77 и др. относятся к обыкновенному хлопчатнику (рисунок 1).

Ценность сорта хлопчатника заключается в его свойствах, которые селекционер закладывает в модели сорта и которые пытается получить через класс «Виды селекции». При создании нового сорта ПГССХ 7 были использованы свойства типов данных такие, как вегетационный период 110 дней, выход волокна – 36,2 %, длина волокна – 41- 42 мм, масса хлопка-сырца одной коробочки – 4,0 г. Сочетание в сорте данного набора типов данных было достигнуто использованием класса «Возможность гибридизации» при скрещивании *Gossypium hirsutum* и *G. barbadense*.

Рисунок 1 – Экземпляры подкласса «Обыкновенный хлопчатник»

Figure 1 – Instances of the subclass «Ordinary cotton»

На рисунке 2 представлены свойства экземпляров. Свойства типов данных (атрибуты класса) описывают связи между экземпляром и значением данных. Данные свойства распространяются на все экземпляры подкласса, для которого эти свойства установлены. К примеру, свойство «Величина коробочки» для класса «Обыкновенный хлопчатник» имеет значения: минимум – 0,5 см, максимум – 6 см (рисунок 3).

Значение «по умолчанию» для всех экземпляров данного класса устанавливается 3,5 см. Поскольку обычно сорта хлопчатника унаследуют признаки своего вида, в большинстве случаев сорта обыкновенного хлопчатника будут иметь величину коробочки примерно 3,5 см.

Сделано это для удобства, чтобы при добавлении нового сорта хлопчатника в онтологию не нужно было вводить все свойства заново. При необходимости для конкретного сорта можно задать свойства индивидуально.

Существует распространённое мнение, что онтологию можно построить по-разному и нет единственно правильного способа её построения. Каждый разработчик может, описывая одну и ту же предметную область, выделить разные классы и подклассы, а также другие структурные элементы. Кроме того, онтология может расширяться и дополняться, в ней могут выстраиваться новые семантические связи.

Рисунок 2 – Свойства экземпляров

Figure 2 – Properties of instances

Рисунок 3 – Окно программы для ввода свойства «Величина коробки»

Figure 3 – Window of the program for entering the property "Size of the box"

Результативность работы онтологии определяется правильностью создания запросов. Они в программной среде Protégé представляют собой выборки данных из библиотеки по определенным критериям атрибутов слотов. Запросы можно формировать как в реальном времени, так и с помощью заранее созданных шаблонов. Для того чтобы облегчить работу селекционера с онтологией по селекции хлопчатника, создано несколько шаблонных вариантов использования запросов.

Алгоритм создания запроса основан на выборе класса или подкласса, по экземплярам которого производился поиск решения. Далее необходим анализ слота (свойства), по которому сортировали экземпляры. Например, при создании сорта ПГССХ 7 проанализирован класс «Селекционный материал» по слоту «Количество хромосом», после этого был выбран оператор атрибута и задано интересующее нас значение выбранного ранее слота. В селекционных исследованиях рекомендуется использовать следующие операторы: contains, does not contain, is, is not, begins with, ends with.

Выбранному слоту в соответствии с выбранным оператором задаётся значение, по которому необходимо провести отбор (вид селекции). Например, для отбора тетраплоидов зададим значение слота «хлопчатник» с числом хромосом «52», а оператор «contains», который означает содержание выбранного значения в значении атрибута слота (рисунок 4).

Рисунок 4 – Окно редактирования и запуска запроса «Количество хромосом»

Figure 4 – Window for editing and launching the query «Number of chromosomes»

В онтологии реализована возможность выполнения запросов сразу по нескольким значениям слота. Задав в запросе параметры сортоотличительных признаков, обозначенных в модели создаваемого сорта, мы получим выборку сортов – генетических доноров. Это позволяет работать с генетическим материалом, имеющим необходимые качества, и сократить сроки создания сортов.

Имеется возможность создать практически неограниченное количество различных запросов. Например, сделать выборку сортов хлопчатника, у которого выход волокна составляет более 20 % или получить выборку сортов хлопчатника с длиной вегетационного периода менее 130 дней. Кроме того, можно создавать запросы, в которых задаются сразу несколько условий по различным слотам классов и их атрибутам. Рассмотрим один из таких примеров. Например, необходимо выбрать сорт хлопчатника с длиной волокон не менее 35 мм, который будет выдерживать температуру ниже +15 °С, длина вегетационного периода у которого составляет не более 120 дней, а урожайность – не менее 30 ц/га и. Для этого переходим на вкладку «Queries» (Запросы) и задаем запрос. После установки данных ограничений онтология выдала список сортов, которые соответствуют установленным ограничениям (рисунок 5).

Также, если у селекционера поставлена цель создания сорта хлопчатника с определёнными характеристиками, а для этого нужно учитывать количество хромосом, разработанная онтология позволяет это сделать. Нужно также задать отбор по требуемому количеству хромосом, и онтология выдаст сорта, которые можно скрещивать между собой.

Рисунок 5 – Окно сложного запроса

Figure 5 – Complex query window

Созданная авторами оригинальная структура онтологической модели является универсальной и может быть использована для анализа селекционного материала других культур с вводом соответствующих изучаемой культуре структурных элементов онтологии. Обобщенное инструментальное решение обеспечило всестороннее описание предметной области селекции хлопчатника посредством выявления скрытых взаимосвязей и взаимозависимостей в моделях исследуемой области, что облегчило навигацию по сложным схемам формализуемой предметной области.

Применение метода онтологического инжиниринга позволило выполнить интеграцию разнородных представлений отдельных аспектов селекции хлопчатника. Всесторонний анализ выполненных ранее научно-исследовательских работ в области селекции хлопчатника показал, что они требуют высокой квалификации разработчиков и длительных сроков создания. С одной стороны, это обусловлено сложностью предметной области как многокомпонентной информационной сущности, а с другой стороны – низким уровнем формализованности знаний в области селекции хлопчатника. Это приводит к низкой эффективности работ.

Созданная онтологическая модель и разработанная методика по системному проектированию селекции хлопчатника на основе онтологических моделей служит основой для формирования собственных высокоэффективных онтологических моделей, а также дополнения и расширения существующей модели. В результате селекции хлопчатника ежегодно увеличивается коллекция сортов и гибридов, что позволило расширять онтологическую модель, увеличивать многоаспектность анализа. В 2014 году начальная модель содержала элементы по 16 селекционным образцам, что позволило создать один новый сорт. В 2020 году количество селекционных образцов увеличилось до 21, что позволило вывести два новых сорта. Образование в результате такой работы нового селекционного материала приводит к расширению онтологии и увеличению многоаспектности выполнения запросов и получения результатов (таблица 1). На данном этапе разработки при объеме онтологической модели, содержащей 21 сорт, были созданы 27 шаблонов запросов для использования. Количество создаваемых шаблонов неограниченно и ежегодно пополняется с учетом возникновения новых целей селекции (для флористики, для декоративного садоводства, для выращивания на богаре и др.) и внесения изменений в структуру классов, подклассов, слотов, экземпляров и их атрибутов.

Перспективным направлением является объединение селекционных онтологических моделей из разных учреждений (например, Волгоградского ГАУ и Научно-исследовательского института селекции, семеноводства и агротехнологий хлопка Республики Узбекистан). Комплекс онтологических моделей позволит эффективно осуществлять координацию участников проекта и каталогизацию всей документации по селекции, выращиванию и первичной переработке хлопчатника, выступая в роли единого глоссария, описывающего понятия различных аспектов предметной области.

Агрономия и связанные с ней науки остро нуждаются не только в отдельных онтологиях, а в универсальном информационном ресурсе в виде портала, который предоставит пользователям возможность определять и выбирать онтологии для своих конкретных задач, а также предлагать общие услуги для их использования в поиске, аннотации или других научных целях. В настоящее время такие работы проводятся учеными Франции [7]. Созданная ими платформа AgroPortal в настоящее время включает 77 крупных и 11 частных онтологий. Онтологий по селекции и возделыванию хлопчатника на портале нет [7]. Разработчики портала приглашают создателей онтологий разместить свои разработки на этом портале.

Таблица 1 – Характеристика перспективных генетических доноров, отобранных по результатам онтологического анализа для создания новых сортов хлопчатника

Table 1 – Characteristics of promising genetic donors selected according to the results of ontological analysis to create new varieties of cotton

Сорта и линии / Varieties and lines	Скороспелость, дней / Precocity, days	Урожайность, ц/га / Yield, c / ha	Масса хлопка-сырца одной коробочки, г / Weight of raw cotton per fruit, g	Выход волокна, % / Fiber output, %	Технологические свойства волокна / Technological properties of fiber			Масса 1000 семян, г / Weight of 1000 seeds, g
					Длина, мм / Length, mm	Разрывная нагрузка, гс/текс / Breaking load, gs/tex.	Метрический номер / Metric number	
ПГССХ-1 / PGSSH-1	110	40-46	5,2	40,0	34,0	26,1	5800	130,0
Зеленый / Green	130	33-42	6,4	34,4	33,8	26,2	5250	120,0
Рыжий / Fox	126	36-45	5,8	37,4	35,2	26,0	6000	120,0
С-2522	128	37-44	5,6	35,4	33,9	25,9	5600	120,0
С-6524	126	38-45	5,4	36,2	34,1	26,0	5350	120,0
Бухоро-6 / Buhoro-6	130	32-38	5,5	37,3	33,3	25,6	5500	115,0
Бухоро-102 / Buhoro-102	128	32-39	5,4	34,3	36,5	25,3	5800	135,0
С-9070	119	33-39	5,4	33,3	36,5	25,5	6000	140,0
НСР ₀₅	1,23	3,71	0,28	1,54	0,69	0,33	64,8	4,72

Выводы. Таким образом, создан методический инструмент формализации знаний и накопленного опыта экспертов в области селекции хлопчатника для упрощения доступа к накопленной информации и её распространения в сельскохозяйственной отрасли. Разработанная онтология позволила решить проблемы эффективного выбора генетических доноров для селекции хлопчатника в работе по созданию новых сортов. На основе онтологического инжиниринга создана модель знаний, обеспечивающая описание предметной области селекции хлопчатника и проведение экспертной оценки коллекции сортов и гибридов. Основываясь на исследованиях по изучению онтологических моделей и селекции хлопчатника, были выделены классы для построения основы онтологической модели. Впоследствии определены слоты и экземпляры классов и заполнены значения атрибутов слотов, а также созданы шаблоны запросов. В результате поисковых запросов выделено восемь перспективных генетических доноров хлопчатника (ПГССХ 1, зелёный, рыжий, С-2522, С-6524, С-9070, Бухоро-6, Бухоро-102) для создания сортов нового поколения. Перспективы развития данного направления исследований заключаются в расширении созданной онтологической модели, в объединении баз знаний по анализируемому селекционному материалу разных научных учреждений, что позволит выявить новые возможности создания уникальных сортов хлопчатника, а также разместить созданную авторами онтологию на платформе AgroPortal.

Библиографический список

1. Изменчивость, наследование и наследуемость признака "выход волокна" у межсортовых, географически отдаленных гибридов F₁-F₂ хлопчатника вида *G.hirsutum* L. / У. Каюмов, В. А. Автономов, А. Е. Курбонов, Ш. Амантурдиев // Наука и мир. 2017. Т. 2. № 4 (44). С. 32-34.
2. Кочеткова О. В., Подковыров И. Ю., Кривопустенко А. Е. Функциональное моделирование процессов выращивания хлопчатника // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2017. № 3(47). С. 258-266.

3. Ломакин В. В., Михайлова С. В., Белоконь Ю. Ю. Построение формального описания профиля компетентности сотрудников IT-фирмы при помощи редактора онтологий Protégé // Научный результат. Информационные технологии. 2018. Т. 3. № 1. С. 11-18.
4. Перспективы развития хлопководства южных регионов Республики Узбекистан / О. Х. Кимсанбоев, В. А. Автономов, А. Е. Курбонов, Д. Д. Ахмедов // Наука и мир. 2017. Т. 1. № 7 (47). С. 51-53.
5. Сергиенко А. А., Гончаров И. Ю., Кочеткова О. В. Основные аспекты онтологического инжиниринга различных предметных областей // International Conference on Business Economics, Engineering Technology, Medical and Health Sciences, USA, Morrisville: международная научно-практическая конференция. http://scipro.ru/conf/proceedings_usa30112019.
6. Agrobiological assessment of cotton breeding material in light chestnut soils / A. S. Ovchinnikov, O. H. Kimsanbaev, V. A. Antonov, I. Y. Podkovyrov, T. M. Konotopskaya, D. Y. Ermak // E3S Web of Conferences. 2020. V. 203. P. 02010.
7. AgroPortal: A vocabulary and ontology repository for agronomy / C. Jonquet, A. Toulet, E. Arnaud, S. Aubin, P. Larmande // Computers and Electronics in Agriculture. 2018. Vol. 144. P. 126-143.
8. Arnaud E. Agricultural Ontologies in Use: New Crops and Traits in the Crop Ontology. October 2019. <https://bigdata.cgiar.org/blog-post/agricultural-ontologies-in-use-new-crops-and-traits-in-the-crop-ontology>.
9. Glinushkin A. P., Startsev V. I., Startseva L. V. Biological Aspects of Economic Efficiency of Crop Farming // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. V. 459(6). P. 062069.
10. Konys A., Dążek Z. Ontology Learning Approaches to Provide Domain-Specific Knowledge Base Procedia Computer // Science. 2020. Vol. 176. Pp. 3324-3334.
11. Ontology Design and Development / G. Tecuci, D. Marcu, M. Boicu, D. A. Schum // Publisher: Cambridge University Press, 2016. Pp. 174-201.

Conclusions. The authors have created a methodological tool for formalizing the knowledge and accumulated experience of experts in the field of cotton breeding to simplify access to the accumulated information and its dissemination in the agricultural sector. The developed ontology made it possible to solve the problems of effective selection of genetic donors for cotton breeding in the work on the creation of new varieties. On the basis of ontological engineering, a knowledge model has been created that provides a description of the subject area of cotton breeding and an expert assessment of the collection of varieties and hybrids. Based on research on the study of ontological models and cotton breeding, classes were identified to build the basis of the ontological model. Subsequently, the slots and class instances are defined and the values of the slot attributes are filled in, and the request templates are created. As a result of search queries, eight promising genetic donors of cotton were identified for the creation of new generation varieties. Prospects for the development of this area of research consist in expanding the created ontological model, in combining knowledge bases on the analyzed breeding material of different scientific institutions, which will reveal new possibilities for creating unique varieties of cotton, as well as place the ontology created by the authors on the AgroPortal platform.

References

1. Izmenchivost', nasledovanie i nasleduemost' priznaka "vyhod volokna" u mezhsortovyh, geograficheski otdalennyh gibridov F1-F2 hlochatnika vida *G.hirsutum* L. / U. Kayumov, V. A. Avtonomov, A. E. Kurbonov, Sh. Amanturdiyev // Nauka i mir. 2017. T. 2. № 4 (44). P. 32-34.
2. Kochetkova O. V., Podkovyrov I. Yu., Krivopustenko A. E. Funkcional'noe modelirovanie processov vyraschivaniya hlochatnika // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2017. № 3(47). P. 258-266.

3. Lomakin V. V., Mihajlova S. V., Belokon' Yu. Yu. Postroenie formal'no-go opisaniya profilya kompetentnosti sotrudnikov IT-firmy pri pomoschi redaktora ontologij Prot'g? // Nauchnyj rezultat. Informacionnye tehnologii. 2018. T. 3. № 1. P. 11-18.

4. Perspektivy razvitiya hlopkovodstva yuzhnyh regionov Respubliki Uzbe-kistan / O. H. Kimsanboev, V. A. Avtonomov, A. E. Kurbonov, D. D. Ahmedov // Nauka i mir. 2017. T. 1. № 7 (47). P. 51-53.

5. Sergienko A. A., Goncharov I. Yu., Kochetkova O. V. Osnovnye aspekty ontologicheskogo inzhiniringa razlichnyh predmetnyh oblastej // International Conference on Business Economics, Engineering Technology, Medical and Health Sciences, USA, Morrisville: mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya. http://scipro.ru/conf/proceedings_usa30112019.

6. Agrobiological assessment of cotton breeding material in light chestnut soils / A. S. Ovchinnikov, O. H. Kimsanbaev, V. A. Antonov, I. Y. Podkovyrov, T. M. Konotopskaya, D. Y. Ermak // E3S Web of Conferences. 2020. V. 203. P. 02010.

7. AgroPortal: A vocabulary and ontology repository for agronomy / C. Jonquet, A. Toulet, E. Arnaud, S. Aubin, P. Larmande // Computers and Electronics in Agriculture. 2018. Vol. 144. P. 126-143.

8. Arnaud E. Agricultural Ontologies in Use: New Crops and Traits in the Crop Ontology. October 2019. <https://bigdata.cgiar.org/blog-post/agricultural-ontologies-in-use-new-crops-and-traits-in-the-crop-ontology>.

9. Glinushkin A. P., Startsev V. I., Startseva L. V. Biological Aspects of Economic Efficiency of Crop Farming // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. V. 459(6). P. 062069.

10. Konys A., Drązek Z. Ontology Learning Approaches to Provide Domain-Specific Knowledge Base Procedia Computer // Science. 2020. Vol. 176. Pp. 3324-3334.

11. Ontology Design and Development / G. Tecuci, D. Marcu, M. Boicu, D. A. Schum // Publisher: Cambridge University Press, 2016. Pp. 174-201.

Authors Information

Kochetkova Olga Vladimirovna, Head of the Department of Information Systems and Technologies, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Volograd State Agrarian University" (400002, Volograd, Universitetskiy Avenue, 26), Doctor of Technical Sciences, Professor. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4892-189> E-mail: ovk555@bk.ru.

Podkovyrov Igor Yuryevich, Head of the Center for Applied Genetics and Cotton Breeding, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Volograd State Agrarian University" (400002, Volograd, Universitetskiy Avenue, 26), Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0505-4094>. E-mail: cottonvolgau@list.ru

Goncharov Ivan Yurievich, student of the federal state budgetary educational institution of higher education "Volograd State Agrarian University" (400002, Volograd, Universitetskiy Avenue, 26) E-mail: vanekgoncharov1996@yandex.ru

Информация об авторах:

Кочеткова Ольга Владимировна, заведующий кафедрой информационных систем и технологий федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет» (400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), доктор технических наук, профессор. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4892-189> E-mail: ovk555@bk.ru.

Подковыров Игорь Юрьевич, руководитель центра прикладной генетики и селекции хлопчатника федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет» (400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), кандидат сельскохозяйственных наук, доцент. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0505-4094>. E-mail: cottonvolgau@list.ru

Гончаров Иван Юрьевич, студент федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет» (400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26) E-mail: vanekgoncharov1996@yandex.ru