О функциональности единого цифрового пространства научных знаний

О. М. Атаева

ВЦ ФИЦ ИУ РАН

Н. Е. Каленов

МСЦ РАН

В. А. Серебряков

ВЦ ФИЦ ИУ РАН

А. Н. Сотников

МСЦ РАН

Аннотация. Объемы научной информации, представленной в мире в настоящее время, создает серьезные проблемы с ее переработкой и использованием. В этой связи возникает необходимость фильтрации научной информации и выделения из нее знаний, отличающихся новизной и уникальностью. Совокупность такой информации в цифровом виде вместе со средствами, обеспечивающими ее актуализацию, сохранность и предоставление пользователям определяется как единое цифровое пространство научных знаний. Оно состоит из совокупности тематических подпространств, относящихся к различным направлениям науки, построенных по единым принципам. Несмотря на то, что существуют отдельные примеры формализации знаний в разных предметных областях, обобщенный подход к определению цифрового пространства научных знаний отсутствует. В данной работе рассматриваются проблемы и задачи формирования такого пространства и разработки средств, обеспечивающих возможность исследования информации в нем.

Functionality of a common digital space of scientific knowledge

O. M. Ataeva

CC FRS CSC RAS

N. E. Kalenov

JSCC RAS

V. A. Serebryakov

CC FRS CSC RAS

A. N. Sotnikov

JSCC RAS

Abstract. The volume of scientific information appearing in the world today creates serious problems with its processing and use. In this regard, it becomes necessary to filter scientific information and extract from it knowledge that is novel and unique. The aggregate of such information in digital form, together with the tools to ensure its updating, preservation and provision to users, is defined as a common digital space of scientific knowledge. It consists of a set of thematic subspaces related to various areas of science, built on the same principles. Despite the fact that there are some examples of formalization of knowledge in different subject areas, there is no generalized approach to defining the digital space of scientific knowledge. This paper discusses the problems and tasks of the formation of a such space and the development of tools that provide the ability to study information in it.

1. Введение

Лавинообразное нарастание объемов научной информации, появляющейся в мире в виде печатных и цифровых публикаций, документальных и фактографических баз данных, создает серьезные проблемы с ее переработкой и использованием. Исследователю, занимающемуся той или иной научной проблемой, для ознакомления со всей информацией, относящейся к сфере его интересов, и выделения

необходимых и полезных сведений, требуется значительное время, отрывающее его от собственно научной деятельности. С другой стороны, отсутствие у него важных данных, полученных в его научной области, может привести к бессмысленной потере времени на исследования, результаты которых уже получены другими учеными.

В этой связи возникает необходимость фильтрации научной информации и выделения из нее знаний, отличающихся новизной и уникальностью. Для выхода на новый уровень в использовании возможностей бурно развивающихся сегодня технологий обработки информации, в первую очередь, необходим переход к семантически значимому представлению научных знаний, извлекаемых из информации в цифровой среде [1, 2].

Хотя каждая область науки имеет свою специфику, в современных условиях, характеризуемых мультидисциплинарностью исследований, взаимопроникновением научных направлений, необходимого эффекта можно достичь, только разработав универсальные подходы к хранению и представлению научных знаний. Эти подходы нашли свое отражение в концепции создания Единого цифрового пространства научных знаний (ЕЦПНЗ) [3, 4].

Развитие технологий позволяет шире взглянуть на определение ЕЦПНЗ и обобщить накопившийся опыт в реализации различных решений в этой области.

Далее представлен обзор основных понятий в этой области, использующихся как для представления элементов пространства, так и для обеспечения доступа к ним не только для человека, но и для программных агентов, что открывает широкие возможности их обработки и использования в различных областях потребления заинтересованными участниками научной деятельности.

2. Основные определения

Под *пространством научных знаний* понимается проверенная научным сообществом система знаний из разных областей науки.

Цифровое пространство научных знаний – цифровая среда, в которую входят проверенные научным сообществом информационные ресурсы и объекты, отражающие знания из различных областей науки.

Тематическое подпространство является частью общего пространства научных знаний, ограниченной рамками определенной предметной области. Несмотря на то, что существуют отдельные примеры формализации знаний в разных предметных областях [5, 6–15], обобщенный подход к определению цифрового пространства научных знаний отсутствует.

Под Единым цифровым пространством научных знаний (ЕЦПНЗ) будем понимать цифровую среду, интегрирующую достоверную научную информацию из различных областей знаний, вместе со средствами, обеспечивающими ее актуализацию, сохранность и предоставление пользователям. ЕЦПНЗ входит составной частью в «электронное пространство знаний», формирование которого является важной проблемой, поднимаемой в ряде программных документов, связанных с развитием информационного общества и цифровой экономики.

ЕЦПНЗ состоит из совокупности тематических подпространств, относящихся к различным направлениям науки, построенных по единым принципам.

Анализ примеров формализации пространства знаний [16, 17] в различных областях свидетельствует о том, что основными составляющими ЕЦПНЗ в целом и каждого его тематического подпространства в частности являются – онтология и контент.

Онтология включает универсальное описание структуры данных ЕЦПНЗ. Это многоуровневая система понятий, описывающая классы объектов, отражаемых в каждом подпространстве, виды связей между этими классами и их объектами как внутри одного подпространства, так и между подпространствами, а также правила отражения объектов в ЕЦПНЗ.

Контент ЕЦПНЗ – это собственно научная информация (объекты, свойства, онтологии), а также терминологическое описание области знания [15, 18–23], (тезаурусы, слова-

ри, классификаторы). В состав контента, в частности, входит совокупность цифровых копий объектов реального мира и описание профилей их метаданных [23, 24].

Локальное подпространство ЕЦПНЗ — некоторая «изолированная» часть ЕЦПНЗ (возможно, политематическая), обладающее теми же свойствами, что и общее пространство. Локальное подпространство:

- определено на некотором подмножестве данных (контента) ЕЦПНЗ;
- построено по тем же принципам, что и ЕЦПНЗ;
- предназначено для использования группой пользователей;
- может существовать в отрыве от самого ЕЦПНЗ, не нарушая при этом структуры системы знания, содержащегося в нем;
- динамически связано с основным (базовым) ЕЦПНЗ средствами импорта / экспорта.

Интеграция — это процесс связывания данных из внешних источников с контентом ЕЦПНЗ.

Конструирование ЕЦПНЗ — процесс отображения состояния предметной области в цифровое представление, доступное для исследования и машинной обработки.

Семантическая библиотека — инструмент конструирования ЕЦПНЗ, обеспечивающий:

- формирование тематического подпространства (ТП) ЕЦПНЗ, включающее автоматизированную обработку и загрузку в ТП контента с установлением всех онтологических связей между его элементами;
- накопление и редактирование новой информации;
- многоаспектный поиск данных и навигацию по контенту ЕЦПНЗ;
- формирование локального подпространства по заданным характеристикам.

3. Онтология ЕЦПНЗ

Первым шагом на пути реализации ЕЦПНЗ является разработка его онтологии. Под онтологией в данном контексте будем понимать многоуровневую систему понятий, опи-

сывающих ресурсы и объекты предметных областей, концептов, терминов и связей между ними, характеризующуюся открытой иерархической и динамичной структуризацией, ориентированную как для хранения существующих знаний, так и для извлечения новых.

Онтология ЕЦПНЗ имеет три уровня (рис. 1).

Первый уровень. Концептуализация ЕЦПНЗ. На этом уровне описываются основные понятия, составляющие ЕЦПНЗ. Первый уровень онтологии ЕЦПНЗ включает следующие понятия.

- *Информационный объект* — цифровая копия объекта реального мира или специально созданный цифровой объект, отражающий определенные свойства реального объекта.

- *Идентификатор* информационного объекта — элемент данных, позволяющий однозначно идентифицировать объект в ЕЦПНЗ.

Рис. 1. Уровни онтологии ЕЦПНЗ

- *Тематическое подпространство* — совокупность информационных объектов с их свойствами и связями, относящихся к некоторому научному направлению.

- *Локальный класс объектов* — объекты, относящиеся к одному тематическому подпространству.

- *Универсальный класс объектов* — объекты, связанные с несколькими тематическими подпространствами. К универсальным классам относятся такие объекты, как персоны, публикации, документы, события, организации и т. п.

- *Атрибуты цифрового объекта* — структурированные свойства (метаданные), характеризующие объект с точки зрения задач ЕЦПНЗ.

- *Профиль метаданных* — набор атрибутов (с указанием их обязательности), описывающий объекты того или иного класса.

- *Предметная онтология (тезаурус)* тематического подпространства — совокупность индексов классификационных систем, ключевых терминов с их тезаурусными связями, относящихся к данному научному направлению.

- *Предметная онтология ЕЦПНЗ* — совокупность предметных онтологий отдельных подпространств.

- *Тезаурусные связи* — связи между двумя элементами предметной онтологии с заданным набором значений, который может устанавливаться внутри данного тематического подпространства.

- *Атрибутные связи* — связи между различными объектами как внутри одного класса, так и между объектами различных классов.

- *Тип атрибутных связей* — принимает одно из двух значений: однозначная связь (объект А связан связью b только с одним объектом В того или иного класса) и многозначная связь (объект А может быть связан связью b с несколькими объектами заданного подмножества В). Между объектом «город» и «страна» из класса «географические понятия» — однозначная связь, в то время как обратная связь «страна» — «город» — многозначная.

• Вид атрибутивных связей — конкретные отношения между различными объектами одного или различных классов, как локальных, так и универсальных. Между объектами универсальных классов «персона» и «публикация» могут быть многозначные связи вида «автор», «редактор», «составитель» и т. п. Между музейным объектом и персоной могут быть связи вида «автор модели», «автор сбора», «даритель» и т. п.

На втором уровне онтологии конкретизируются понятия первого уровня применительно к общему пространству и тому или иному тематическому подпространству, в частности, в соответствии с определением, данным на первом уровне, определяются тезаурусы конкретных предметных областей. Конкретные локальные классы объектов определяются спецификой той области науки, к которой они относятся. Для микробиологии это могут быть штаммы, коллекции и базы данных микроорганизмов; для языкознания — словари, языки, корпуса текстов и т. п., для химии — реакции, вещества, химические элементы и т. п.

На третьем онтологическом уровне устанавливаются профили метаданных объектов ЕЦПНЗ и связи между ними. В качестве примеров однозначных атрибутивных связей внутри одного класса можно привести связи публикаций различного уровня: статья (аналитический уровень) связана связью «опубликована в...» с определенным выпуском журнала (монографический уровень), который, в свою очередь, связан с описанием журнала (сводный уровень).

4. Уровни проектирования и функциональности программного обеспечения ЕЦПНЗ

Результатом проектирования ЕЦПНЗ должен являться «трехслойный» программный комплекс, слои которого соответствуют уровням онтологии пространства и обладают соответствующей функциональностью. Проектирование ЕЦПНЗ включает три уровня:

— Общесистемный (основанный на онтологии первого уровня), предназначен для работы специалистов в области

информатики — системных аналитиков широкого профиля. Он предоставляет инструментарий для формирования и редактирования основных словарей системы, типов и видов связей между объектами и т. п.

— Тематический слой программного комплекса, определяемый вторым уровнем онтологии, обладает функциональностью, обеспечивающей формирование тематических подпространств в той или иной области науки. Он ориентирован на работу авторизованных пользователей — специалистов в конкретной научной области. На этом уровне они определяют основные понятия подпространства и связи между ними, описывают и подключают необходимые источники данных, используя введенные понятия первого и второго уровней онтологии, получают доступ к пакетной загрузке данных. В рамках этого слоя формируются пользовательские интерфейсы системы, специфичные для тематического подпространства.

— Прикладной (реализация конкретных решений, принятых на первом и втором уровне), разрабатываемый специалистами в области создания программных комплексов. Этот слой программного комплекса базируется на третьем уровне онтологии и предоставляет доступ к ЕЦПНЗ внешним пользователям. Функциональность этого слоя включает обеспечение возможности многоаспектного поиска данных внутри ЕЦПНЗ, их визуализации и экспорта, навигации по пространству. На этом уровне пользователь может организовывать данные в коллекции, классифицировать их по разным признакам, формировать то или иное локальное подпространство.

5. Проблемы создания ЕЦПНЗ

Поскольку ЕЦПНЗ является принципиально новой информационной средой, на пути его реализации имеется ряд существенных проблем.

Проблемы формализации

В настоящее время отсутствуют общепризнанные подходы к определению контента ЕЦПНЗ, с учетом того, что

конкретные научные знания специфичны для отдельных областей науки. Достаточно сложной является проблема выделения подпространства ЕЦПНЗ, относящегося к отдельной предметной области, поскольку отсутствует формальный общепризнанный подход к этой проблеме; казалось бы, для решения этой задачи можно было бы опираться на существующие классификационные системы (такие как ГРНТИ, УДК, МКИ и т. п.), однако, как показывает анализ [22], ни одна классификация не обеспечивает необходимой полноты и точности отражения научных знаний в той или иной области.

Лингвистические проблемы

Основой каждого тематического подпространства является предметная онтология — расширенный тезаурус со специфичными для каждой области науки видами связей между его элементами, исчерпывающим образом описывающий данную предметную область. Для формирования подобных тезаурусов и их динамической поддержки необходима разработка специальной методологии, основанной на технологиях Semantic Web.

Проблема экспертизы.

ЕЦПНЗ должно содержать достоверную научную информацию с минимальным дублированием как собственно данных, так и их источников. Соответственно, необходимо разработать механизм отбора материалов, предназначенных для включения в ЕЦПНЗ. Одной из составляющих такого механизма должен быть экспертный отбор.

Проблемы формирования контента и интеграции данных

Отсутствует унифицированный подход к интеграции данных из различных источников в единую информационную среду. В большинстве источников данных, подлежащих загрузке в то или иное тематическое подпространство ЕЦПНЗ, отсутствуют средства экспорта в каком-либо унифицированном формате. Для извлечения и загрузки в тематическое подпространство ЕЦПНЗ формализованных данных, соответствующих требованиям онтологий, в каждом конкретном случае необходимо обладать специализированными техниче-

скими знаниями и использовать специальные программные средства.

6. Вопросы интеграции данных

Рассмотрим концепцию взаимодействия программного комплекса с внешними источниками данных. Загрузка данных из внешних источников в пространство знаний (или выгрузка) осуществляются через ее онтологию. В число первоочередных задач по созданию средств интеграции данных ЕЦПНЗ входят следующие.

Разработка онтологии процесса интеграции. Она должна быть связана с онтологией ЕЦПНЗ и включать такие понятия, как: Отображение, Источник, Связь и другие.

Разработка требования к источнику. Интегрируемый источник данных должен быть снабжен семантическим слоем. Каждый объект в источнике должен обладать набором свойств для его однозначной идентификации и уникальным идентификатором URI.

Построение отображения. Отображение строится на уровне концептуальных понятий предметной области, при этом:

- вводится набор стандартных операций для очистки и приведения данных;
- вводится набор правил, по которым объект из источника можно представить в рамках понятий предметной области.

7. Инструментарий ЕЦПНЗ

Основные технологические требования к инструментарию ЕЦПНЗ;

- универсальность — возможность описания разных типов ресурсов;
- структурированность — поддержка связей между ресурсами;
- адаптируемость — возможность портирования на различные платформы;

– динамичность — возможность адаптации системы к эволюции ресурсов и настройки интерфейсов пользователя.

Функциональность инструментария ЕЦПНЗ

Основная функциональность должна обеспечивать решение следующих задач:

- формирование многоуровневой модели предметной области;
- интеграция источников данных;
- предоставление пользовательских и машиночитаемых интерфейсов.

Список функций:

- создание/просмотр/редактирование:
 - информационных ресурсов и их экземпляров;
 - тезауруса;
 - коллекций информационных объектов;
- подключение источников данных;
- пакетная загрузка данных, составляющих контент библиотеки;
- атрибутивный/семантический/полнотекстовый поиск;
- предоставление данных в машиночитаемом формате;
- выделение дополнительных связей между экземплярами;
- информационных ресурсов;
- поддержка семантических меток для описания тематической направленности.

Основные принципы реализации инструментария поддержки локального подпространства ЕЦПНЗ

Функционирование ЕЦПНЗ основывается на следующих принципах персональной открытой семантической цифровой библиотеки [27]:

1. Библиотека должна поддерживать возможность использования медийных ресурсов или ссылки на них при описании объектов, включая текст, изображения, 3D-модели, аудио- и видеофайлы или любую их комбинацию.

2. Типы используемых ресурсов и связи между ними должны быть описаны средствами системы в рамках определенных понятий, составляющих семантическое описание ресурсов контента библиотеки. Набор этих понятий тематически ограничивается терминами предметной области из некоторого тезауруса.

3. Библиотека должна являться интеграционным узлом, предоставляя возможность связывания данных локального подпространства с данными из разных источников, в частности, представленных в виде, соответствующем требованиям Linked Open Data (LOD). Также должна обеспечиваться возможность извлечения данных этой библиотеки в структурированном формате.

4. Пользователи библиотеки должны иметь возможность организовывать свои локальные подпространства коллекции по интересующему их научному направлению, добавляя новые термины в предметный тезаурус, таким образом уточняя область своих интересов. Также пользователи должны иметь возможность осуществлять поиск не только среди объектов в рамках системы, но и по источникам данных без необходимости использования специальных знаний для поисковых запросов. Персональная открытая семантическая цифровая библиотека должна поддерживать:

– ввод и редактирование разнородных цифровых объектов (таких как текст, изображение, аудио- и видеофайлы, 3D-модели объектов и явлений);

– настраиваемые возможности импорта и экспорта данных, представленных в форматах, соответствующих требованиям Semantic Web;

- многоаспектный поиск данных и навигацию по связанным объектам;
- визуализацию данных с учетом специфики предметных областей;
- авторизацию пользователей с настраиваемыми правами доступа к тем или иным данным;
- защите информации от несанкционированного доступа;
- возможность оперативного восстановления данных при технических сбоях.

8. Первоочередные задачи по проектированию ЕЦПНЗ

1. Разработка онтологии первого уровня ЕЦПНЗ, содержащей общие для различных научных областей понятия, на основе которых можно отразить знания из некоторой области науки в ЕЦПНЗ.

2. Выработка требований к интеграции источников данных и обеспечение решения задачи интеграции данных на основе разработанной онтологии.

3. Выработка конкретных требований к семантической библиотеке, используемой как инструмент построения подпространства ЕЦПНЗ и обеспечивающей навигацию по нему. Такая библиотека должна быть снабжена средствами интеграции источников данных; должна поддерживать механизмы связывания данных библиотеки с данными из других источников; обладать настраиваемыми пользовательскими интерфейсами; обеспечивать импорт / экспорт данных в машиночитаемых форматах.

9. Заключение

Разработка и поддержка ЕЦПНЗ является задачей национального масштаба. К ней должны быть привлечены ведущие организации в области информационных технологий (в части определения онтологии первого уровня), и в различных областях науки (для разработки онтологий

второго уровня отдельных тематических подпространств), основные организации-хранители научных ресурсов (библиотеки, архивы, музеи).

В последние годы создан определенный задел в области разработки онтологии первого уровня для ЕЦПНЗ. В рамках проекта, поддержанного РФФИ по конкурсу «КОМФИ» (18-00-00376 (К)) силами сотрудников МСЦ РАН (филиала ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН), ФИЦ «Информатика и управление», ИНИОН РАН и БЕН РАН разработаны концепция формирования ЕЦПНЗ и основные элементы его архитектуры, создана модель предметной онтологии на примере микробиологии и языкознания [1, 2, 20]. В рамках государственного задания № 0580-2021-0016 специалистами МСЦ РАН отрабатывается технология формирования цифровых объектов различного вида, моделируются процессы интеграции данных в рамках электронной библиотеки «Научное наследие России» [18–20, 23].

Специалистами ФИЦ «Информатика и управление» РАН при поддержке РФФИ (проекты № 20-07-00324, 18-00-00297) ведутся активные исследования по созданию и развитию открытой семантической библиотеки LibMeta [25–29].

Литература

1. Губанов Н. И., Губанов Н. Н., Волков А. Э. «Критерии истинности и научности знания» Философия и общество, 2016 № 3 (80). С. 78–95.
2. Ильин В. В., Калинин А. Т. Природа науки: Гносеологический анализ. М.: Высшая школа, 1985. 230 с.
3. Антопольский А. Б., Каленов Н. Е., Серебряков В. А., Сотников А. Н. О едином цифровом пространстве научных знаний // Вестник Российской академии наук, 2019. — Т. 89. — № 7. С. 728–735.
4. Антопольский А. Б. и др. Принципы построения и структура единого цифрового пространства научных знаний (ЕЦПНЗ) // Научно-техническая информация. Сер. 1, 2020. — № 4. — С. 9–17.
5. Муромский А. А., Тучкова Н. П. Представление математических понятий в онтологии научных знаний // Онтология проектирования, 2019. Т. 9. № 1 (31). С. 50–69.
6. Гуревич И. Б., Трусова Ю. О. Тезаурус и онтология предметной области «Анализ изображений» // Всероссийская конф. с междунар. участием «Знания — Онтологии — Теории» (ЗОНТ-09).

Новосибирск: Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН, 2009. 10 с.

7. Hlava M. M. K. The Taxobook: History, Theories, and Concepts of Knowledge Organization, Part 1 of a 3-Part Series // Synthesis Lectures on Information Concepts, Retrieval, and Services., 2014. Т. 6. № 3. С. 1–80.

8. Hlava M. M. K. The Taxobook: Principles and practices of building taxonomies, part 2 of a 3-part series // Synthesis Lectures on Information Concepts, Retrieval, and Services, 2014. Т. 6. № 4. С. 1–164.

9. Hlava M. M. K. The Taxobook: Applications, Implementation, and Integration in Search: Part 3 of a 3-Part Series // Synthesis Lectures on Information Concepts, Retrieval, and Services, 2014. Т. 6. № 4. С. 1–156.

10. Бездушный А. Н., Жижченко А. Б., Кулагин М. В., Серебряков В. А. Интегрированная система информационных ресурсов РАН и технология разработки цифровых библиотек. Программирование, 2000, 4, с. 3–14.

11. Ахлёстин А. Ю., Лаврентьев Н. А., Фазлиев А. З. Систематизация научных графических ресурсов по молекулярной спектроскопии // Научный сервис в сети Интернет: труды XIX Всероссийской научной конференции (18–23 сентября 2017 г., г. Новороссийск). М.: ИПМ им. М. В. Келдыша, 2017. С. 34–42.

12. Сотников А. Н. и др. Принципы построения и формирования электронной библиотеки «Научное наследие России» // Программные продукты и системы, 2012. № 4. С. 6

13. Елизаров А. М. и др. Онтологии математического знания и рекомендательная система для коллекций физико-математических документов // Докл. РАН. 2016. Т. 467. № 4. С. 392–395.

14. Митрофанова О. А., Константинова Н. С. Онтологии как системы хранения знаний // Всероссийский конкурсный отбор обзорно-аналитических статей по приоритетному направлению «Информационно-телекоммуникационные системы». 2008. С. 54

15. Муромский А. А., Тучкова Н. П. О тезаурусе для предметной области «Обыкновенные дифференциальные уравнения». Вычисл. центр им. А. А. Дородницына РАН, 2004. 55 с.

16. ГОСТ 7.0–99 Межгосударственный стандарт ГОСТ 7.0–99 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Информационно-библиотечная деятельность, библиография. Термины и определения» (введен в действие постановлением Госстандарта РФ от 7 октября 1999 г. N 334-ст).

17. Костин В. В. Обзор семантических моделей, описывающих научные публикации и научно-исследовательскую деятельность // Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции. 2014.

18. Kalenov N., Sobolevskaya I., Sotnikov A., Kirillov S. The use of 3D visualization technology web-collections for the formation of virtual

exhibitions // CEUR Proceedings of the 21st Conference on Scientific Services & Internet, 2020. Vol. 2543. P. 382–390.

19. Kalenov N., Sobolevskaya I., Sotnikov A. Mathematical modeling of the processes of interdisciplinary collections formation in the digital libraries environment // CEUR Proceedings of the 21st Conference on Scientific Services & Internet, 2020. Vol. 2543. P. 391–398.

20. Kalenov N., Sobolevskaya I., Sotnikov A. Hierarchical Representation of Information Objects in a Digital Library Environment // Communications in Computer and Information Science, 2019. Vol. 1093. P. 93–104.

21. Dextre Clarke S. G., Zeng M. L. From ISO 2788 to ISO 25964: The evolution of thesaurus standards towards interoperability and data modeling // Information Standards Quarterly (ISQ). 2012. T. 24. № 1.

22. Цветкова В. А., Харыбина Т. Н., Мохначева Ю. В., Бескаравайная Е. В., Митрошина И. Ю. Особенности совмещения классификационных систем и формирования массива ключевых слов для определения пространства знаний по микробиологии // Научные и технические библиотеки, 2019. № 11. С. 25–43. DOI 10.33186/1027-3689-2019-11-25-43.

23. Каленов Н. Е., Соболевская И. Н., Сотников А. Н. Иерархические уровни представления информационных объектов в среде электронных библиотек // Информация и инновации, 2018. Т. 13, – № 2. С. 25–31.

24. Gruber T. Ontology of folksonomy: A mash-up of apples and oranges // International Journal on Semantic Web and Information Systems (IJSWIS), 2007. Т. 3. № 1. С. 1–11.

25. Антопольский А. Б., Атаева О. М., Серебряков В. А. Среда интеграции данных научных библиотек, архивов и музеев «LibMeta» // «Информационные Ресурсы России», 2012. № 5. С. 8–12.

26. Серебряков В. А., Атаева О. М. Основные понятия формальной модели семантических библиотек и формализация процессов интеграции в ней // Программные продукты и системы, 2015. № 4. С. 180–187.

27. Атаева О. М., Серебряков В. А. Персональная открытая семантическая цифровая библиотека LibMeta. Конструирование контента. Интеграция с источниками LOD // Информ. и её примен., 2017. Т. 11. № 2. С. 85–100.

28. Атаева О. М. Информационная модель семантической библиотеки LibMeta // Программные продукты и системы, 2016. № 4. С. 36–44.

29. Атаева О. М., Серебряков В. А. Онтология цифровой семантической библиотеки LibMeta // Информатика и её применения, 2018. Т. 12. С. 2–10.

References

1. Gubanov N. I., Gubanov N. N., Volkov A. E. «Kriterii istinnosti i nauchnosti znaniya» *Filosofiya i obshchestvo*, no. 3 (80), 2016, pp. 78–95: <https://cyberleninka.ru/article/n/kriterii-istinnosti-i-nauchnosti-znaniya>
2. Il'in V. V., Kalinkin A. T. *Priroda nauki: Gnoseologicheskij analiz*. M.: Vysshaya shkola, 1985. 230 s.
3. Antopolskiy A. B., Kalenov N. E., Serebryakov V. A., Sotneykov A. N. Common digital space of scientific knowledge // *Vestn. Ros. akad. nauk*. 2019. T. 89. № 7. S. 728–735.
4. Antopolskiy A. B. and Principy postroeniya i struktura edinogo cifrovogo prostranstva nauchnyh znaniy Nauchno tekhnicheskaya informaciya. Ser. 1. 2020. № 4. S. 9–17.
5. Muromskiy A. A., Tuchkova N. P. Predstavlenie matematicheskikh ponyatij v ontologii nauchnyh znaniy // *Ontologiya proektirovaniya*. 2019. T. 9. № 1 (31). S. 50–69.
6. Gurevich I. B., Trusova YU. O. Tezaurus i ontologiya predmetnoj oblasti “Analiz izobrazhenij” // *Vserossijskaya konf. s mezhdunar. uchastiem “Znaniya – Ontologii – Teorii” (ZONT-09)*. Novosibirsk: Institut matematiki im. S. L. Soboleva SO RAN, 2009. 10 s.
7. Hlava M. M. K. The Taxobook: History, Theories, and Concepts of Knowledge Organization, Part 1 of a 3-Part Series // *Synthesis Lectures on Information Concepts, Retrieval, and Services*. 2014. T. 6. № 3. C. 1–80.
8. Hlava M. M. K. The taxobook: Principles and practices of building taxonomies, part 2 of a 3-part series // *Synthesis Lectures on Information Concepts, Retrieval, and Services*. 2014. T. 6. № 4. C. 1–164.
9. Hlava M. M. K. The Taxobook: Applications, Implementation, and Integration in Search: Part 3 of a 3-Part Series // *Synthesis Lectures on Information Concepts, Retrieval, and Services*. 2014. T. 6. № 4. C. 1–156.
10. Bezdushnyj A. N., Zhizhchenko A. B., Kulagin M. V., Serebryakov V. A. Integrirovannaya sistema informacionnyh resursov RAN i tekhnologiya razrabotki cifrovyyh bibliotek. *Programmirovaniye*, 2000, 4, s. 3–14.
11. Ahlyostin A. YU., Lavrent'ev N. A., Fazliev A. Z. Sistematizaciya nauchnyh graficheskikh resursov po molekulyarnoj spektroskopii // *Nauchnyj servis v seti Internet: trudy XIX Vserossijskoj nauchnoj konferencii (18–23 sentyabrya 2017 g., g. Novorossiysk)*. M.: IPM im. M. V. Keldysha, 2017. S. 34–42. URL: <http://keldysh.ru/abrau/2017/39.pdf> doi:10.20948/abrau-2017-39
12. Sotnikov A. N. i dr. Principy postroeniya i formirovaniya elektronnoj biblioteki «Nauchnoe nasledie Rossii» // *Programmnye produkty i sistemy*. 2012. № 4.
13. Elizarov A. M. i dr. Ontologii matematicheskogo znaniya i rekomendatel'naya sistema dlya kollekcij fiziko-matematicheskikh dokumentov // *Dokl. RAN*. 2016. T. 467. № 4. S. 392–395.

14. Mitrofanova O. A., Konstantinova N. S. Ontologii kak sistemy hraneniya znaniy // Vserossiyskiy konkursnyy otbor obzorno-analiticheskikh statej po prioritetnomu napravleniyu «Informacionnotelekomunikacionnye sistemy». 2008. S. 54.
15. Muromskij A. A., Tuchkova N. P. O tezauruse dlya predmetnoj oblasti «Obyknovennyye differencial'nye uravneniya». Vychisl. centr im. A. A. Dorodnicyna RAN, 2004. S. 55.
16. GOST 7.0-99 Mezhdgosudarstvennyj standart GOST 7.0-99 «Sistema standartov po informacii, biblioteknomu i izdatel'skomu delu. Informacionno-bibliotekhnaya deyatel'nost', bibliografiya. Terminy i opredeleniya» (vveden v dejstvie postanovleniem Gosstandarta RF ot 7 oktyabrya 1999 g. N 334-st).
17. Kostin V. V. Obzor semanticheskikh modelej, opisyvayushchih nauchnye publikacii i nauchno-issledovatel'skuyu deyatel'nost' // Elektronnye biblioteki: perspektivnye metody i tekhnologii, elektronnye kollekcii. 2014.
18. Kalenov N., Sobolevskaya I., Sotnikov A., Kirillov S. The use of 3D visualization technology web-collections for the formation of virtual exhibitions // CEUR Proceedings of the 21st Conference on Scientific Services & Internet, 2020. Vol. 2543. P. 382-390.
19. Kalenov N., Sobolevskaya I., Sotnikov A. Mathematical modeling of the processes of interdisciplinary collections formation in the digital libraries environment // CEUR Proceedings of the 21st Conference on Scientific Services & Internet, 2020. Vol. 2543. P. 391-398.
20. Kalenov N., Sobolevskaya I., Sotnikov A. Hierarchical Representation of Information Objects in a Digital Library Environment // Communications in Computer and Information Science, 2019. Vol. 1093. P. 93-104.
21. Dextre Clarke S. G., Zeng M. L. From ISO 2788 to ISO 25964: The evolution of thesaurus standards towards interoperability and data modeling // Information Standards Quarterly (ISQ). 2012. T. 24. № 1.
22. Tsvetkova V., Kharybina T., Mokhnacheva Yu., Beskaravaynaya E., Mitroshina I. Combining classification systems and building the array of keywords for defining the space of microbiological knowledge. Scientific and Technical Libraries. 2019;(11):25-43. (In Russ.) <https://doi.org/10.33186/1027-3689-2019-11-25-43>
23. Kalenov N. E., Sobolevskaya I. N., Sotnikov A. N. Ierarhicheskie urovni predstavleniya informacionnyh ob»ektov v srede elektronnyh bibliotek // Informaciya i innovacii, 2018. T. 13, — № 2. S. 25-31. DOI:10.31432/1994-2443-2018-13-2-25-31
24. Gruber T. Ontology of folksonomy: A mash-up of apples and oranges // International Journal on Semantic Web and Information Systems (IJSWIS). 2007. T. 3. № 1. C. 1-11.

25. Antopol'skij A. B., Ataeva O. M., Serebryakov V. A. Sreda integracii dannyh nauchnyh bibliotek, arhivov i muzeev «LibMeta» // «Informacionnye Resursy Rossii» № 5, 2012.

26. Serebryakov V. A., Ataeva O. M. Osnovnye ponyatiya formal'noj modeli semanticheskikh bibliotek i formalizaciya processov integracii v nej // Programmnye produkty i sistemy. 2015. № 4. S. 180–187.

27. Ataeva O. M., Serebryakov V. A. Personal'naya otkrytaya semanticheskaya cifrovaya biblioteka LibMeta. Konstruirovanie kontenta. Integraciya s istochnikami LOD // Inform. i eyo primen., 11:2 (2017), 85–100.

28. Ataeva O. M. Informacionnaya model' semanticheskoy biblioteki LibMeta // Programmnye produkty i sistemy. 2016. № 4. S. 36–44.

29. Ataeva O. M., Serebryakov V. A. Ontologiya cifrovoj semanticheskoy biblioteki LibMeta // Informatika i eyo primeneniya. 2018. T. 12. S. 2–10.