

# Международная виртуальная обсерватория: десять лет спустя\*

© О.Ю. Малков<sup>1,2</sup>, О.Б. Длужневская<sup>1</sup>, О.С. Бартунов<sup>3</sup>, И.Ю. Золотухин<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт астрономии РАН, <sup>2</sup>Физический факультет МГУ, г. Москва

<sup>3</sup>Государственный астрономический институт им. Штернберга, г. Москва  
malkov@inasan.ru

## Аннотация

Международная виртуальная обсерватория представляет собой реализацию концепции электронной науки в астрономии. Это мощная виртуальная среда, предназначенная для увеличения возможностей астрономических исследований и научного выхода данных. Виртуальная обсерватория интегрирует в единую среду гигантские астрономические архивы и базы данных, распределенные по всему миру, а также инструменты анализа данных и вычислительный сервис, используя при этом набор однородных стандартов и технологий. Международная виртуальная обсерватория объединяет все значительные национальные и международные проекты по созданию виртуальных обсерваторий, основная цель которых – объединить существующие архивы наземных и космических инструментов и обеспечить исследователям и общественности удобный доступ к ним. Эта задача представляется весьма значительной не только из-за колоссального объема астрономических данных, но и их спектрального разнообразия (от рентгена до радио). Каждый спектральный диапазон предоставляет свою, уникальную информацию о небесном объекте или явлении; при этом требуется специализированная экспертиза для правильной интерпретации. Вся эта информация также интегрируется в Международной виртуальной обсерватории и позволяет синтезировать данные, чтобы использовать их в конкретных научных приложениях.

Для функционирования Международной виртуальной обсерватории необходим набор однородных стандартов и технологий, которые разрабатывает, внедряет и поддерживает Альянс «Международная Виртуальная обсерватория» – международный союз национальных обсерваторий, призванный координировать деятельность по стандарти-

зации описания, поиска, доступа и публикации данных. Одним из основателей и важным участником Альянса является Российская виртуальная обсерватория.

Проект «Международная виртуальная обсерватория» появился 10 лет назад, и основные его достижения в науке и технологии обсуждаются в настоящей работе. Разработаны стандарты для доступа к большим астрономическим массивам данных различной организации: каталогам, изображениям, спектрам и рядам наблюдений. Сюда включены стандарты для метаданных, форматов данных, языка запросов и пр. Разработаны сервисы для объединения больших распределенных наборов данных, полученных в различных спектральных диапазонах и с различным разрешением. Обеспечиваются эффективные механизмы для публикации данных и результатов их обработки. Инструменты анализа данных включают в себя выборку требуемых источников, измерение параметров, классификацию, извлечение данных из каталогов, изображений и пр., а также средства многопараметрической визуализации и статистического анализа. Обсуждается также развитие прототипов сервисов виртуальной обсерватории и использование средств, применяемых для анализа данных в существующих центрах данных и обсерваториях.

## 1 Международная виртуальная обсерватория

В конце прошлого века в связи со значительными достижениями в наблюдательных, регистрирующих и вычислительных технологиях астрономия столкнулась с лавинообразным увеличением количества получаемых данных. Эти наборы данных покрывают небо в различных диапазонах длин волн, от гамма- и рентгеновского диапазона, через ультрафиолетовый, оптический и инфракрасный, до радио-диапазона. Для решения большинства астрофизических задач даже сейчас накопленного наблюдательного материала уже достаточно. С учетом появления недорогих технологий хранения данных и наличия высокоскоростных сетей концепция

---

Труды 12<sup>й</sup> Всероссийской научной конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции» – RCDL'2010, Казань, Россия, 2010

мульти-терабайтных, бесшовных интероперабельных баз данных уже не является надуманной. Все большее и большее количество астрономических каталогов становятся взаимосвязанными, поисковые машины все более и более усложняются, а результаты анализа таких данных становятся столь же богатыми, как и для данных, полученных с реальных телескопов. Предназначенные для обзоров телескопы наземного и космического базирования могут поставлять изображение всего неба за несколько дней и производить, таким образом, данные в объемах, измеряемых в петабайтах. Эти технологические достижения фундаментально изменяют характер астрономических исследований, а эти изменения радикально влияют на социологию самой астрономии.

За прошедшие годы концепция Виртуальной обсерватории (ВО, Virtual Observatory, VO), призванная удовлетворить существующим требованиям к управлению данными, их анализу и распространению, завоевала широкую популярность. ВО – это система, в которой распределенные по всему миру гигантские астрономические архивы и базы данных интегрированы в единую среду вместе с инструментами анализа данных и вычислительным сервисом. Современная астрономия стоит у границ новых открытий, возможности которых предоставляются современными информационными технологиями, а также политической и технической международной кооперацией.

Необходимо отметить, что Виртуальная обсерватория является мощным инструментом демократизации астрономии, поскольку даже небольшие научные, а также образовательные астрономические учреждения получают, по существу, те же возможности для проведения научных исследований на современном наблюдательном материале, что и ведущие астрономические организации мира.

Собственно Виртуальная обсерватория представляет собой реализацию концепции электронной науки в астрономии; это мощная виртуальная среда, предназначенная для увеличения возможностей астрономических исследований и научного выхода данных. В несколько упрощенном описании увеличение научного выхода данных означает получение большего количества научных результатов (например, опубликованных статей или представленных докладов на конференциях) с каждого гигабайта данных, приходящих с данного конкретного инструмента. Это, в конечном счете, означает увеличение влияния каждого гигабайта данных на общее развитие науки – в точности так же, как публикация научной работы помимо журнала еще и на сервере препринтов увеличивает ее влияние и роль в отрасли.

В традиционном подходе к научной работе львиная доля времени и усилий исследователя затрачивается на разнообразные низкоуровневые операции: конвертация форматов, редукция данных и подготовка их к научному анализу, поиск информации, написание сценариев автоматизированной об-

работки для многократных операций и другие действия. Их повторное использование зачастую ограничено или вовсе не представляется возможным. При этом собственно интеллектуальные усилия, анализ и интерпретация подготовленного научного материала, имеющие решающее значение во всем процессе, занимают несравнимо меньшее время. Миссией Виртуальной обсерватории в широком смысле является разделение творческого, интеллектуального, высокоуровневого процесса от низкоуровневых операций, которые должны либо происходить прозрачно (незаметно) для исследователя, либо быть максимально пригодными для повторного использования в ходе работы над последующими научными задачами. Таким образом, на первое место выходят абстрагированные от конкретных инструментов и наблюдателей данные, готовые к научному использованию, сервисы для доступа к ним и широкий набор соглашений для обеспечения прозрачности рутинных операций. Всем этим в той или иной степени занимается Виртуальная обсерватория. Ее успехи к настоящему моменту и само текущее положение дел уже несет в себе новые возможности для эффективных научных исследований, обходящихся без рутинной низкоуровневой составляющей.

К настоящему времени в мире созданы и функционируют 17 национальных и международных проектов Виртуальных обсерваторий. Их осуществление не лимитируется национальными границами. В проектах используются наблюдательные данные в широком диапазоне длин волн, полученные с космических и наземных инструментов, используемых международным астрономическим сообществом. Цель каждого проекта – вооружить астрономов мощными механизмами современного исследования наблюдательных данных, механизмами, которые могут быть использованы и нашими коллегами из смежных наук.

Для того чтобы Международная виртуальная обсерватория (МВО) стала реальностью, необходимо определить ее задачи и шаги, требующиеся для их достижения, как координируемые международные усилия. Каждый из существующих национальных проектов имеет собственные научные и технологические задачи. В то время как это разнообразие представляется достаточно благотворным для успеха МВО, существуют также некоторые общие элементы, которые необходимо согласовывать для эффективного конструирования МВО. Большинство таких общих элементов связано со стандартами данных и интерфейсов. Другой вид общих (или используемых совместно) элементов – это пакеты программ и библиотеки исходных текстов. Еще один пример целесообразности международного сотрудничества – проблемы безопасности, финансирование, другие политические вопросы. Достаточно рано на пути создания МВО должны быть решены вопросы стандартов интероперабельности используемых источников данных. Чрезвычайно целесообразными для приобретения доверия широ-

ких слоев астрономического сообщества представляются демонстрации новых возможностей виртуальных обсерваторий на различных уровнях сложности. Необходимо предоставить возможности для открытого обмена информацией и опытом между различными ВО проектами. Следовательно, требуется разработать прозрачный для сообщества путь к созданию МВО. Некоторые цели на этом пути уже достигнуты, другие будут достигнуты в ближайшем будущем. ВО сообщество, таким образом, потребовало механизма для облегчения международного сотрудничества в деле достижения общих целей.

Таким механизмом явился Альянс «Международная виртуальная обсерватория» (International Virtual Observatory Alliance, IVOA, <http://ivoa.net>). Идея объединить усилия национальных проектов и создать МВО обсуждалась уже на XXIV Генеральной ассамблее Международного астрономического союза (август 2000). Альянс включает в себя представителей всех финансируемых ВО проектов, которые встречаются и общаются на регулярной основе для согласования решений по общим проблемам и достижения консенсуса при выработке общего базиса, без чего МВО не сможет функционировать. Совещания Альянса происходят два раза в год, причем, поскольку эта международная организация обладает высоким научным авторитетом и пользуется в мире заслуженным признанием, эти мероприятия проходят на высоком уровне с участием руководителей академий наук и государственных деятелей высокого уровня. Принять у себя совещание Альянса считается большой честью для приглашающей организации, и каждый раз вопрос решается путем конкурса приглашений. В сентябре 2006 года совещание Альянса прошло в Москве, в Институте Астрономии РАН, ГАИШ МГУ и здании Президиума РАН.

Виртуальную обсерваторию иногда называют всемирной сетью (World Wide Web, WWW) для астрономов. И на самом деле между ними существует замечательное сходство.

а) IVOA играет ту же самую роль для ВО, что и W3C (World Wide Web Consortium, консорциум всемирной сети) для WWW: это административные организации, ответственные за разработку и внедрение стандартов обмена различными видами информации между сторонами-участниками соответствующих процессов. В качестве примеров в данном случае можно привести спецификации HTML/ XHTML, разработанные W3C, и стандарт VOTable, разработанный IVOA.

б) Ресурсы являются неотделимой частью обеих концепций. В случае WWW ими являются (1) веб-сайты; (2) порталы и директории; (3) веб-сервисы. В Виртуальной обсерватории на их месте стоят (1) архивы данных; (2) сервисы доступа к каталогам (например, SDSS) (3) астрономические веб-сервисы.

в) Инструменты доступа к ресурсам являются еще одним краеугольным камнем в основании ВО и WWW: (1) в WWW мы имеем веб-браузеры (например, internet explorer, firefox, safari), тогда как в ВО

вместо них используются браузеры данных (например, astrogrid vo desktop, cds aladin, nvo datascope); (2) искушенные пользователи достаточно часто используют средства для работы с ресурсами из командной строки – curl или wget в WWW и аналогично stilts или astro-runtime в ВО; (3) наконец, существуют специализированные клиенты, которые используют WWW/ВО-протоколы в качестве инфраструктуры и/или транспорта данных, например, picasa и google earth и их аналоги в ВО, например, visivo.

В последние годы Виртуальная обсерватория достигла существенного прогресса. Со стороны IVOA мы имеем достаточно широкий набор стандартов, которые охватывают форматы данных (VOTable), описания метаданных ресурсов (Resource Metadata), модель данных для одномерных спектров (Spectrum Data Model) и значительно более сложную и емкую Characterisation Data Model, язык запросов к данным (ADQL), протоколы доступа к спектрам и изображениям (SIAP, SSAP), протокол коммуникаций между различными приложениями на рабочей станции пользователя (SAMP), механизмы аутентификации и авторизации, и другие. Многие стандарты находятся еще на разных стадиях разработки. К настоящему моменту в Виртуальной обсерватории стало возможным работать даже с чрезвычайно сложными наборами данных – например, 3D-спектроскопией и результатами N-body симуляций.

В то же самое время разработчики приложений создали впечатляющий набор ВО-инструментов, начиная от самых общих и заканчивая узкоспециализированными клиентскими средствами.

Поставщики данных и сервисов внесли свой вклад в ВО, предоставляя доступ к огромным коллекциям и архивам данных в диапазоне длин волн от радио до гамма. Совсем недавно стали появляться сервисы доступа к теоретическим моделям (например, коллекция теоретических спектров звездных атмосфер в Spanish-VO или синтетические модели звездных популяций PEGASE в VO-France, доступ к результатам космологических симуляций в Italian VO). Также нельзя не упомянуть первые прототипы сервисов для анализа данных и научно-значимых сервисов, ассоциированных с архивами данных, например моделирование спектрофотометрических свойств взаимодействующих галактик в базе данных GalMer.

## 2 Российская виртуальная обсерватория

Виртуальные обсерватории начали создаваться в разных странах с 2000 года, и одной из первых была Российская виртуальная обсерватория (РВО). Инициаторами создания РВО стали Центр астрономических данных Института астрономии РАН и Специальная Астрофизическая обсерватория РАН. В настоящее время проект РВО осуществляется на основе Соглашения, подписанного директорами Института Астрономии РАН, Института Проблем Информ-

матики РАН, Государственного астрономического института имени Штернберга МГУ и Специальной астрофизической обсерватории РАН.

Научный совет по астрономии Отделения физических наук Российской академии наук в декабре 2001 года одобрил инициативу создания Российской виртуальной обсерватории, конечной целью которой является обеспечение российским астрономам доступа к обширным источникам данных и метаданных, создаваемых в результате работы наблюдательных проектов. Работы по созданию РВО являются важнейшей частью плана научно-исследовательских работ Секции 13 «Базы данных и информационное обеспечение» Научного совета по астрономии ОФН РАН.

Актуальность создания РВО определяется, в первую очередь, тем, что с распадом СССР российская астрономия практически лишилась инструментальной базы – обсерваторий на юге СССР. Весьма затруднена или вообще оказалась невозможной научная работа в Абастуманской астрофизической обсерватории в Грузии, Шемахинской обсерватории в Азербайджане, Майданакской обсерватории в Узбекистане. Закрыта наблюдательная станция Санкт-Петербургского университета в Бюракане, станция Шорбулак Главной астрономической обсерватории на Памире, туманны перспективы, ожидающие Крымскую астрофизическую обсерваторию – бывшую лучшую обсерваторию Советского Союза. Оставшаяся в России Специальная астрофизическая обсерватория на Северном Кавказе не в состоянии полностью обеспечить наблюдательные потребности столичных и региональных астрономических учреждений. Оптимальным выходом из сложившейся ситуации является интеграция российского астрономического сообщества в мировую информационную сеть астрономических данных, прежде всего, в западные наблюдательные архивы.

Вклад РВО в задачу объединения мировых астрономических ресурсов может быть весьма значителен. В России действует около 30 астрономических институтов и организаций, многие из которых располагают обширными архивами данных и сотрудничают с ИНАСАН в создании РВО. Одним из преимуществ российских астрономических данных является возможность создания объединенных с данными обсерваторий других стран продолжительных рядов наблюдений. Это обусловлено тем, что многие обсерватории в России, которая занимает 9 часовых поясов по долготе и простирается до почти сороковой параллели по широте, расположены на противоположной относительно большинства крупных мировых обсерваторий стороне земного шара.

Основными целями Проекта РВО являются предоставление российскому астрономическому сообществу удобного и эффективного механизма доступа к зарубежным источникам данных и объединение российских астрономических информационных ресурсов как важного компонента для интеграции в Международную виртуальную обсерваторию [1].

Для предоставления российским астрономам удобного доступа к зарубежным источникам данных в Центре астрономических данных (ЦАД) ИНАСАН размещен ряд зеркал известных зарубежных баз данных и поддерживается их функционирование (ADS, VizieR, INES). Планируется зеркалировать в ЦАД другие популярные зарубежные астрономические информационные ресурсы, в том числе важнейшую базу звездных данных SIMBAD. В ближайшее время в ЦАД будет размещена База данных о двойных звездах BDB. Предусмотрено также зеркалирование в ЦАД некоторых популярных российских астрономических информационных ресурсов, доступ к которым на месте их создания по каким-либо причинам затруднен.

ЦАД также предоставляет доступ к астрономическим off-line ресурсам, так как в фондах Центра постоянно пополняется коллекция компакт-дисков, издаваемых, преимущественно, ведущими западными обсерваториями и содержащих астрономические каталоги, базы данных, архивы изображений и другие виды ресурсов, а также вычислительные средства работы с данными.

Проблема интеграции и предоставления зарубежному сообществу исчерпывающего описания формы и содержания российских астрономических информационных ресурсов, выполненных по стандартам Международной виртуальной обсерватории, также решается в рамках информационной системы ЦАД. В частности, завершена работа по созданию структурированного перечня российских (и ряда стран бСССР) астрономических Интернет-ресурсов, ряда ресурсов, предоставляемых в режиме off-line и ресурсов, находящихся в стадии разработки [2]. Перечень, содержащий более 50 оригинальных ресурсов астрономических данных, получил высокую оценку зарубежных коллег. Он будет постоянно пополняться.

Одним из обязательств ЦАД перед международным сообществом является обработка, проверка и передача в Страсбургский Центр Данных таблиц данных из статей, опубликованных в русских астрономических журналах и звездных каталогах, подготавливаемых в российских астрономических организациях, в том числе и каталогов, созданных сотрудниками ЦАД. В ЦАД создаются англоязычные машиночитаемые версии опубликованных российских каталогов, а также осуществляется консультативная помощь авторам при подготовке каталогов.

Создан исчерпывающий двуязычный список российских астрономических учреждений. В список также включены некоторые астрономические организации стран бывшего СССР. Планируется модернизация этого списка с целью облегчения доступа к информации об организациях как отечественным, так и зарубежным пользователям.

В Институте проблем информатики (ИПИ) РАН реализована архитектура промежуточного слоя предметных посредников для решения научных задач над множеством интегрируемых неоднородных распределенных информационных ресурсов в гиб-

ридной грид-инфраструктуре. Архитектура реализована как объединение системы поддержки Виртуальной обсерваторий АстроГрид, разработанной в Великобритании, и средств поддержки предметных посредников, созданных в ИПИ РАН. Реализован подход, при котором для класса приложений определяется спецификация соответствующей этому классу предметной области независимо от существующих информационных ресурсов. Существенно, что такая спецификация одновременно является концептуальной схемой посредников, обеспечивающих взаимодействие приложений с конкретными информационными ресурсами. Создание прототипа гибридной архитектуры потребовало сопряжения исполнительных механизмов двух инфраструктур (АстроГрида и средств поддержки предметных посредников), разработки средств переписывания запросов к посредникам в планы их реализации над конкретными информационными ресурсами, создания адаптеров для сопряжения конкретных информационных ресурсов с посредниками. Одновременно с этим для указанной инфраструктуры разработан прототип средств Унификатора информационных моделей, позволяющий создавать расширяемую каноническую информационную модель, применяя автоматизированные средства приведения различных моделей ресурсов (структурированных, объектных, процессных, онтологических) к канонической модели [3].

Проблема эффективного комплексного использования нескольких астрономических ресурсов с помощью создания посредников, которые поддерживают взаимодействие между исследователем и соответствующими источниками данных и сервисов для данного класса задач, решалась в Специальной астрофизической обсерватории (САО) РАН. Основной задачей проекта «Большое Трио», осуществляемого в САО РАН, является анализ источников радиоизлучения в области неба, исследованной в глубоком обзоре с телескопом РАТАН-600 в 1980 году, с целью получения максимальной информации об источниках. Применение для этой цели предметного посредника описано в [4].

В течение ближайших лет в рамках проекта Российская виртуальная обсерватория предполагается осуществить оцифровку фотографических пластинок, накопленных в российских обсерваториях (и некоторых обсерваториях СНГ). В настоящее время работа ведется совместными усилиями ИНАСАН и ГАИШ. Аналогичная работа ведется в обсерваториях Болгарии, Венгрии и Германии. Сканы заносятся в базу данных, разработанную в Астрономическом институте Болгарской Академии наук. Работы по сохранению информации стеклянных библиотек выполняются под эгидой Международного астрономического союза.

Результаты деятельности по проекту РВО отражены на постоянно обновляющемся веб-сайте РВО <http://www.inasan.rssi.ru/rus/rvo>.

### 3 Научные исследования с Международной виртуальной обсерваторией

После нескольких лет интенсивного технологического развития ресурсы Виртуальной обсерватории достигли уровня зрелости, достаточного для их каждодневного использования в научных исследованиях. Виртуальная обсерватория находится на той стадии развития, когда астрономы начинают прозрачно для себя использовать её в рутинной научной работе. В данном разделе приводятся несколько проектов разного уровня, основанных на использовании ресурсов Виртуальной обсерватории, которые ведут к научно значимым результатам и практически полностью основываются на повторном использовании существовавших ранее данных.

Первой работой с научно-значимым результатом стало открытие коричневых карликов в совместном исследовании обзоров 2MASS и SDSS [5] с последующим подтверждением их природы спектроскопическими наблюдениями на телескопе Кека. За этой работой последовало открытие оптически слабых запыленных квазаров (т. н. квазаров II типа) в работе [6], которая стала примером исследования во многих диапазонах длин волн, выполненного полностью в рамках инфраструктуры VO. Три года спустя исследования запыленных AGN (Active Galaxy Nuclei, активные ядра галактик) были продолжены [7]. Несколько уникальных объектов с помощью инструментов VO было открыто представителями испанской Виртуальной обсерватории [8, 9].

Многие другие исследования использовали инструменты и инфраструктуру Виртуальной обсерватории в сочетании с доступом к непубличным данным для их анализа. Например, в [10] авторы использовали механизмы Виртуальной обсерватории для обнаружения и доступа ко всей имеющейся информации об определенном объекте.

Отождествление рентгеновских двойных систем в оптическом и ИК диапазонах представляет собой работу большой важности, поскольку в силу естественных причин координаты многих подобных объектов известны с невысокой степенью точности, что затрудняет их дальнейшие исследования. Между тем обнаружение их оптических двойников не только открывает новые возможности для изучения (с помощью, например, спектральных исследований) малочисленных популяций рентгеновских двойных, но и несет в себе информацию об их оптической светимости. Она может быть использована для уточнения моделей генерации оптического излучения в аккреционных дисках, равно как и для наложения физических ограничений на конфигурации двойных систем и эволюционные процессы, протекающие в них. В традиционном подходе к данной задаче требуются значительные наблюдательные усилия для отождествления каждого объекта. Однако анализ архивных данных, использование современных фотометрических обзоров плоскости Галактики и методов Виртуальной обсерватории зачастую позволяют избежать необходимости в проведе-

нии новых наблюдений и выполнить отождествление только лишь на основе повторного использования уже существующих данных. В результате применения этого подхода в оптическом и ИК диапазонах было отождествлено несколько рентгеновских двойных систем из плоскости и балджа Галактики [11].

Обсуждая уровень наших знаний о галактических рассеянных звездных скоплениях, необходимо заметить, что в настоящее время известно лишь около 2% от их общего ожидаемого числа. Информация о них накапливалась десятилетиями и даже столетиями в результате усилий множества исследователей. Существующий набор информации о галактических рассеянных звездных скоплениях обладает по этой причине в высшей степени неоднородными свойствами и, следовательно, малопригоден для систематического анализа. В [12] предлагается однородный метод поиска и единообразного определения основных физических параметров рассеянных скоплений. Его применение к участку  $16 \times 16$  градусов небесной сферы из обзора 2MASS позволило утроить количество достоверной информации о звездных скоплениях в этой области. Кроме того, данный метод лег в основу Каталога рассеянных скоплений ГАИШ, в который входит сейчас более 200 новых рассеянных скопления, открытых по данным обзора 2MASS. Множество рассеянных скоплений было открыто также по данным из каталога ASCC [13].

Для понимания строения и эволюции Галактики необходимо иметь представление о ее газо-пылевой составляющей, проявляющейся, в частности, как поглощающая свет звезд материя. В [14] впервые было предложено построить трехмерную модель межзвездного поглощения по многоцветной фотометрии сотен миллионов звезд, содержащихся в современных больших фотометрических обзорах. Разработанная процедура позволяет оценить спектральные классы этих звезд, расстояния до них и значения межзвездного поглощения, для чего, в частности, используются современные инструменты работы с данными, предлагаемые Виртуальной обсерваторией. Разработано программное обеспечение, позволяющее получать значение межзвездного поглощения как функцию небесных координат и расстояния и сравнивать результат с существующими моделями. Методика была апробирована на небольшой площадке на небесной сфере и будет применена к обзорам 2MASS, SDSS, DENIS, UKIDSS, GALEX, USNO-B и ряду других в областях их осуществления. Полученная трехмерная модель может быть использована для решения ключевых задач звездной астрономии и планирования космических миссий.

В области внегалактических исследований важную методическую роль играет возможность сравнения фотометрической информации разных выборок галактик. Из-за эффектов красного смещения, разница звездных величин двух идентичных галактик, удаленных на разные расстояния от наблюдате-

ля, не соответствует только разнице расстояний и значений межзвездного поглощения. Проблема отнесения фотометрических измерений к единой лабораторной системе решается с помощью  $k$ -поправок, но существовавшие до настоящего времени способы их вычисления либо обладают существенными ошибками, либо требуют избыточной информации о каждой конкретной галактике, что вызывает зачастую непреодолимые сложности. В результате анализа большой однородной выборки близких галактик из обзоров SDSS и UKIDSS, принятого в рамках работы [15], оказалось возможным предложить простую аналитическую аппроксимацию для вычисления  $k$ -поправок, которая, вне всякого сомнения, в силу своей простоты и точности будет востребована во многих будущих внегалактических исследованиях. С помощью полученных результатов произведено исследование оптических и ИК цветов близких галактик на большой выборке объектов, что позволило провести предварительную интерпретацию в рамках современных моделей звездного населения и указать на недостатки этих моделей.

Свойства компактных эллиптических галактик (пример – спутник Туманности Андромеды галактика M32) до недавнего времени можно было изучать лишь на шести известных объектах. Инструменты Виртуальной обсерватории позволили увеличить их популяцию как минимум на 20 объектов и примерно столько же кандидатов в эти небольшие, но чрезвычайно плотно населенные галактики [16]. Это позволяет гораздо увереннее сравнивать (и объяснять) их наблюдательные свойства – в частности, обилие звезд с высоким содержанием металлов – с предсказаниями эволюционных моделей.

Нельзя не упомянуть о серьезных достижениях Виртуальной обсерватории на поприще клиентского программного обеспечения, предназначенного непосредственно для взаимодействия с исследователем. Примером может служить работа [17] об анализаторе SED (Spectral Energy Distribution, распределение энергии в спектре) в Виртуальной обсерватории, то есть о сервисе внутри Виртуальной обсерватории, предназначенном для анализа данных, и его применении к конкретному исследовательскому проекту. Эта отрасль планомерно развивается, заполняя все новые и новые ниши, связанные с рутинной астрономической работой. Кажется, уже не осталось ни одной сферы деятельности, в которую не добрались бы VO-приложения, помогая за считанные минуты решать задачи, на которые пару десятилетий лет назад потребовались бы месяцы и даже годы. Отдельные приложения перестают быть средствами для быстрого просмотра данных, развиваясь в мощные пакеты для специализированного анализа. Приложения, существовавшие в эпоху до Виртуальной обсерватории, обзаводятся VO-функциональностью, интегрируясь в общее поступательное движение. В последние два года наметилась отчетливая тенденция к объединению разнородных специализированных VO-приложений в

единую мощную виртуальную среду на рабочей станции пользователя, благодаря появлению общих протоколов обмена данных между гетерогенным программным обеспечением. Это дает уникальную возможность прозрачно объединять отдельные средства анализа и даже исследователей, удаленных друг от друга, в единый организм, способный работать с данными на качественно новом уровне, не заботясь о низкоуровневых проблемах, сконцентрировавшись на чисто исследовательских задачах.

Данный краткий обзор новейших исследований с применением Виртуальной обсерватории свидетельствует о ее готовности к более широкому использованию. В ближайшее время появятся работы, эксплуатирующие VO на качественно более сложном уровне, с применением более утонченных и общих моделей данных и технологических достижений.

#### 4 Заключение

Традиционная парадигма открытий астрономических объектов подразумевает изобретение, создание и использование новых телескопов и наблюдательных методов. Виртуальная обсерватория позволяет видоизменить эту концепцию, поскольку для новых открытий используются существующие данные из архивов и каталогов. Собственно, этот подход применим не только к астрономии. Он может быть реализован в любой науке, где данные выставляются во всеобщий доступ. Этой модели все больше следуют и физики, и геологи, и представители других наук, однако, астрономы раньше других поняли преимущества такой открытости (при этом сохраняются и вполне объяснимы временные моратории на публикацию данных и прочие «катавизмы»).

Основная же трудность подобного подхода заключается в том, что объем публикуемых данных начинает существенно превосходить возможности их обработки любыми стандартными методами. Системы автоматического поиска и анализа имеющихся в публичном пространстве данных, которые предоставляет Виртуальная обсерватория, являются единственным выходом из сложившейся ситуации.

Создание первой очереди Международной Виртуальной обсерватории предполагается закончить в ближайшее время. В результате осуществления этого проекта российские астрономы смогут с помощью средств Российской Виртуальной обсерватории получить всю доступную в данное время в мире информацию для интересующих их объектов. Виртуальная обсерватория переросла «демонстрационный» уровень и стала реальным исследовательским инструментом: в работе обсуждаются научные результаты, базирующиеся на «сквозном» использовании инструментов виртуальной обсерватории. В дальнейшем Международная виртуальная обсерватория будет пополняться новыми данными и сервисами, позволяющими решать актуальные научные проблемы.

Мы благодарим наших коллег по проекту Российская виртуальная обсерватория за постоянную помощь и сотрудничество.

#### Литература

- [1] Dluzhnevskaya O. et al. // *Astronomical and Astrophysical Transactions*. – 2003. – V. 22. – P. 375.
- [2] Malkov O., Dluzhnevskaya O., Kovaleva D. // 21st Int. CODATA Conf., Kyiv, Oct 2008. – P. 357. – ISBN 966-8993-86-0.
- [3] Kalinichenko L., Stupnikov S., Martynov D. SYNTHESIS: a language for canonical information modeling and mediator definition for problem solving in heterogeneous information resource environments. – Moscow: IPI RAS, 2007. – 171 p.
- [4] Zhelenkova O. et al. // *ASP Conf.*, 2006. – Ser. 351. – P. 244.
- [5] Berriman B. et al. *IAU JD 8. Large Telescopes and Virtual Observatory*, 2003. – P. 60.
- [6] Padovani P. et al. // *A&A*. – 2004. – V. 424. – P. 545.
- [7] Richards A. et al. // *A&A*. – 2007. – V. 472. – P. 805.
- [8] Caballero J., Dinis L. // *AN*. – 2008. – V. 329. – P. 801.
- [9] Caballero J., Solano E. // *A&A*. – 2008. – V. 485. – P. 931.
- [10] Chilingarian I., Mamon G. // *MNRAS*. – 2008. – V. 385, L83.
- [11] Zolotukhin I., Revnivtsev M., Shakura N. // *MNRAS*. – 2010. – V. 401, L1.
- [12] Kuposov S., Glushkova E., Zolotukhin I. // *A&A*. – 2008. – V. 486. – P. 771.
- [13] Piskunov A. et al. // *A&A*. – 2006. – V. 445. – P. 545.
- [14] Malkov O. // 2003, *Baltic Astronomy*. – 2003. – V. 12. – P. 514.
- [15] Chilingarian I., Melchior A.-L., Zolotukhin I. // *MNRAS*. – 2010 (in press).
- [16] Chilingarian I. et al. // *Science*. – 2009. – No 326. – P. 1379.
- [17] Bayo A. // *A&A*. – 2008. – V. 492. – P. 277.

#### International Virtual Observatory: 10 years after

O. Malkov, O. Dluzhnevskaya, O. Bartunov,  
I. Zolotukhin

International Virtual Observatory (IVO) is a collection of integrated astronomical data archives and software tools that utilize computer networks to create an environment in which research can be conducted. Several countries have initiated national virtual observatory programs that will combine existing databases from ground-based and orbiting observatories and make them easily accessible to researchers. As a result, data from all the world's major observatories will be available to all users and to the public. This is significant not only

because of the immense volume of astronomical data but also because the data on stars and galaxies have been compiled from observations in a variety of wavelengths: optical, radio, infrared, gamma ray, X-ray and more. Each wavelength can provide different information about a celestial event or object, but also requires a special expertise to interpret. In a virtual observatory environment, all of this data is integrated so that it can be synthesized and used in a given study.

The International Virtual Observatory Alliance (IVOA) represents 17 international projects working in coordination to realize the essential technologies and interoperability standards necessary to create a new research infrastructure. Russian Virtual Observatory is one of the founders and important members of the IVOA.

The International Virtual Observatory project was launched about ten years ago, and major IVO achievements in science and technology in recent years are discussed in this presentation. Standards for accessing large astronomical data sets were developed. Such data sets can accommodate the full range of wavelengths and observational techniques for all types of astronomical data: catalogues, images, spectra and time series. The described standards include standards for metadata, data formats, query language, etc. Services for the federation of massive, distributed data sets, regardless of the wavelength, resolution and type of data were developed. Effective mechanisms for publishing huge data sets and data products, as well as data analysis toolkits and services are provided. The services include source extraction, parameter measurements and classification from data bases, data mining from image, spectra and catalogue domains, multivariate statistical tools and multi-dimensional visualization techniques. Development of prototype VO services and capabilities implemented within the existing data centers, surveys and observatories are also discussed.

We show that the VO has evolved beyond the demonstration level to become a real research tool. Scientific results based on end-to-end use of VO tools are discussed in the presentation.

---

\* Работа поддержана РФФИ (проекты 08-02-00371, 09-02-00520, 10-02-00426, 10-07-00342), программой «Научные школы» (НШ-4354.2008.2), ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы (контракт П1195), а также Федеральным агентством по науке и инновациям (02.740.11.0247)