

Международная виртуальная обсерватория: первое десятилетие*

Д.А. Ковалева, О.Б. Длужневская, О.Ю. Малков

Институт астрономии РАН, МГУ имени М.В. Ломоносова
dana@inasan.ru, olgad@inasan.ru, 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. Проект «Международная виртуальная обсерватория» появился 10 лет назад, и основные его достижения в науке и технологии обсуждаются в настоящей работе.

1. Международная виртуальная обсерватория

1.1. Концепция Международной виртуальной обсерватории

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. Причем специфика астрономических данных состоит в том, что поскольку астрономические явления переменны, данные со временем не обесцениваются. Для решения большинства астрофизических задач даже сейчас накопленного наблюдательного материала уже достаточно. 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. Одновременно, 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.

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 науч-

ному 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.

1.2. Альянс «Международная виртуальная обсерватория»

К настоящему времени в мире созданы и функционируют 19 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.

Для того чтобы Международная виртуальная обсерватория (МВО) стала реальностью, необходимо определить ее задачи и шаги, требующиеся для их достижения, как координируемые международные усилия. Механизмом для облегчения международного сотрудничества в деле достижения общих целей, для координирования научных и технологических задач национальных проектов и обеспечения их интероперабельности стал Альянс «Международная виртуальная обсерватория» [10]. 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.

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 [24]. 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. Одновременно, разработчики приложений создали впечатляющий набор ВО-инструментов, начиная от самых общих и заканчи-

вая 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 испанской ВО [21]; или доступ к результатам космологических симуляций в итальянской ВО [11]. 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 GalMag в рамках французской ВО [9].

2. Российская виртуальная обсерватория

2.1. Статус Российской виртуальной обсерватории

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 Информатики 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. 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.

2.2. Деятельность РВО

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 [7].

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, VALD). В настоящее время ведутся работы по модернизации и размещению в ИНАСАН Базы данных о двойных звездах BDB. Решается также проблема интеграции и предоставления зарубежному сообществу исчерпывающего описания формы и содержания российских астрономических информационных ресурсов, выполненных по стандартам Международной виртуальной обсерватории. В частности, создан и поддерживается структурированный перечень российских (и ряда стран бывшего СССР) астрономических Интернет-ресурсов данных [16]. Ведется обработка, проверка и передача в Страсбургский Центр Данных таблиц данных из статей, опубликованных в русских астрономических журналах, и звездных каталогов, подготавливаемых в российских астрономических организациях, создаются англоязычные машиночитаемые версии опубликованных российских каталогов, а также осуществляется консультативная помощь авторам при подготовке каталогов.

В Институте проблем информатики (ИПИ) РАН реализована архитектура промежуточного слоя предметных посредников для решения научных задач над множеством интегрируемых неоднородных распределенных информационных ресурсов в гибридной грид-инфраструктуре. Архитектура реализована как объединение системы поддержки Виртуальных обсерваторий АстроГрид, разработанной в Великобритании, и средств поддержки предметных посредников, созданных в ИПИ РАН. Создание прототипа гибридной архитектуры потребовало со-

пряжения 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 [12].

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 [18]. 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.

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 веб-сайте РВО [25].

3. Научные результаты с МВО

После нескольких лет интенсивного технологического развития ресурсы Виртуальной обсерватории достигли уровня зрелости, достаточного для их каждодневного использования в научных исследованиях. Можно привести в качестве примеров 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 такой работой стало открытие коричневых карликов в совместном исследовании обзоров 2MASS и SDSS [2] 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 [17], которая стала примером исследования во многих диапазонах длин волн, выполненного полностью в рамках инфраструктуры ВО. Три года спустя исследование запыленных AGN (Active Galaxy Nuclei, активные ядра галактик) были продолжены [20].

Несколько уникальных объектов с помощью инструментов ВО было открыто представителями испанской Виртуальной обсерватории [3], [4].

В традиционном подходе к задаче отождествления рентгеновских двойных систем в оптическом и ИК диапазонах требуются значительные наблюдательные усилия для каждого объекта. Однако анализ архивных данных, использование современных фотометрических обзоров плоскости Галактики и методов Виртуальной обсерватории зачастую позволяют избежать необходимости в проведении 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 [23].

Материалы Виртуальной Обсерватории часто оказываются особенно ценными для решения звездноастрономических задач. Так, существующий набор информации о галактических рассеянных звездных скоплениях обладает в высшей степени неоднородными свойствами и, следовательно, мало пригоден для систематического анализа. В [13] предложен однородный метод поиска и единообразного определения основных физических параметров рассеянных скоплений, который лег в основу Каталога рассеянных скоплений ГАИШ [8], включающий сейчас более 200 новых рассеянных скопления, открытых по данным обзора 2MASS. Множество рассеянных скоплений было открыто также по данным из каталога ASCC [19].

В [22] были исследованы очень яркие AGB-звезды в Магеллановых облаках, M31 и M33 по данным Виртуальной Обсерватории (2MASS + VizieR). По результатам исследования составлен каталог звезд, изучались их функции светимости и пространственные распределения в разных галактиках.

С использованием данных ВО (2MASS, DENIS, Tycho-2, а также рентгеновские, инфракрасные и спектральные архивы) авторы публикации [4] при исследовании областей вокруг молодых звезд из пояса Ориона по избытку ИК-излучения, наличию лития в абсорбции и раннему спектральному типу обнаружили 136 экстремально молодых объекта, 2 молодых коричневых карлика и 289 других кандидатов в члены ассоциаций, а также сделали важные выводы о структуре и свойствах исследованных регионов.

Среди новейших примеров получения научных результатов с помощью данных ВО работа [14], разделивших по кинематическим характеристикам на основании данных Виртуальной Обсерватории объекты, принадлежащие к комплексу звездообразования в Волке, от объектов фона, среди множества звездных и дозвездных кандидатов, открытых в последние годы по данным телескопа Spitzer.

Для понимания строения и эволюции Галактики необходимо иметь представление о ее газо-пылевой составляющей, проявляющейся, в частности, как

поглощающая свет звезд материя. В работе [15] 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, разницы звездных величин двух идентичных галактик, удаленных на разные расстояния от наблюдателя, 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 [6], 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. Работа [5] стала первой публикацией о результатах, полученных с ВО, в междисциплинарном журнале.

В работе широко использованы данные и технологии Виртуальной обсерватории (ConeSearch, запросы в VizieR, NED, архив HLA), теоретическая составляющая ВО (GalMer).

Нельзя не упомянуть о серьезных достижениях Виртуальной обсерватории на поприще клиентского программного обеспечения, предназначенного непосредственно для взаимодействия с исследователем. Примером может служить работа [1] 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.

По состоянию на июнь 2011 года, 146 публикаций в ADS упоминают в аннотации проект Виртуальная Обсерватория. Не менее 30 из них являются полноценными астрономическими исследованиями, опубликованными в международных рецензируемых журналах.

4. Заключение

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. Развиваются прототипы сервисов виртуальной обсерватории и средства, применяемые для анализа данных в центрах данных и обсерваториях.

Создание первой очереди Международной Виртуальной обсерватории предполагается закончить в ближайшее время. Обзор новейших исследований с применением Виртуальной обсерватории свидетельствует о ее готовности к более широкому использованию.

Литература

- [1] Bayo, A. et al. VOSA: virtual observatory SED analyzer. An application to the Collinder 69 open cluster // *Astronomy & Astrophysics*. 2008. V. 492. P. 277.
- [2] Berriman, B. et al. Discover of Brown Dwarfs with Virtual Observatories // *IAU JD 8. Large Telescopes and Virtual Observatory*. 2003. P. 60.
- [3] Caballero, J. A revisit to agglomerates of early-type Hipparcos stars / Caballero J., Dinis L. // *Astronomische Nachrichten*. 2008. V. 329. P. 801.
- [4] Caballero, J. Young stars and brown dwarfs surrounding Alnilam (ϵ Orionis) and Mintaka (δ Orionis) / Caballero J., Solano E. // *Astronomy & Astrophysics*. 2008. V. 485. P. 931.
- [5] Chilingarian, I. et al. A Population of Compact Elliptical Galaxies Detected with the Virtual Observatory // *Science*. 2009. V. 326. P. 1379.
- [6] Chilingarian, I. Analytical approximations of K-corrections in optical and near-infrared bands / Chilingarian I., Melchior A.-L., Zolotukhin I. // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2010. V. 405. P. 1409.
- [7] Dluzhnevskaya, O. et al. The Russian virtual observatory: information hub // *Astronomical and Astrophysical Transactions*. 2003. V. 22. P. 375.
- [8] Glushkova, E.V. et al. SAI Open Clusters Catalog (Glushkova+, 2009) 2009yCat.5132....0G
- [9] Horizon GALMER Database Access [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://galmer.obspm.fr/>.
- [10] International Virtual Observatory Alliance: About IVOA [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.ivoa.net/pub/info/>.
- [11] ITVO Theoretical Data Services - Cosmological simulations [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://vobs.astro.it/index.php?option=com_content&view=article&id=20&Itemid=53.
- [12] Kalinichenko, L. SYNTHESIS: a language for canonical information modeling and mediator definition for problem solving in heterogeneous information resource environments / Kalinichenko L., Stupnikov S., Martynov D. // *IPI RAS. Moscow*. 2007. P. 171.
- [13] Kopusov, S. Automated search for Galactic star clusters in large multiband surveys. I. Discovery of 15 new open clusters in the Galactic anticenter region / Kopusov S., Glushkova E., Zolotukhin I. // *Astronomy & Astrophysics*. 2008. V. 486. P. 771.
- [14] Lopez Marti B. A proper motion study of the Lupus clouds using Virtual Observatory tools / Lopez Marti B., Jimenez-Esteban F., Solano E. // *Astronomy & Astrophysics*. 2011. V. 529. P. 108.
- [15] Malkov, O. Interstellar Extinction from Large Surveys // *Baltic Astronomy*. 2003. V. 12. P. 514.
- [16] Malkov, O. Russian and fSU astronomical resources to be integrated into the IVO / Malkov O., Dluzhnevskaya O., Kovaleva D. // *21st Int. CODATA Conf. Kyiv*. 2008. P. 357. ISBN 966-8993-86-02.
- [17] Padovani, P. et al. Discovery of optically faint obscured quasars with Virtual Observatory tools // *Astronomy & Astrophysics*. 2004. V. 424. P. 545.
- [18] Parijskij, Yu.N. et al. Spectroscopy of "Big Trio" objects using the "Scorpio" spectrograph of the 6-m

- telescope of the Special Astrophysical Observatory // *Astronomy Reports*, 2010. V. 54. P. 675.
- [19] Piskunov, A. et al. Revisiting the population of Galactic open clusters // *Astronomy & Astrophysics*. 2006. V. 445. P. 545.
- [20] Richards, A. et al. Using VO tools to investigate distant radio starbursts hosting obscured AGN in the HDF(N) region // *Astronomy & Astrophysics*. 2007. V. 472. P. 805.
- [21] S3 interface – Synthetic photometry server [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://svo.cab.inta-csic.es/theory/s3if/index.php?serv=http://svo.cab.inta-csic.es/theory/db2vo4/syph.php>.
- [22] Tsalmantza, P. et al. Luminous AGB stars in nearby galaxies. A study using virtual observatory tools // *Astronomy & Astrophysics*. 2006. V. 447. p. 89.
- [23] Zolotukhin, I. Infrared identification of 4U1323-619 revisited / Zolotukhin I., Revnivitsev M., Shakura N. // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2010. V. 401. P. L1.
- [24] Малков, О.Ю. Международная виртуальная обсерватория - 10 лет спустя. / Малков О.Ю., Длужневская О.Б., Бартунов О.С., Золотухин И.Ю. // *Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции: Тр. XII Всерос. науч. конф. RCDL2010* / Ред. А.Е. Елизаров, А.Г. Абросимов. Казань: Казанский государственный университет, 2010. С. 45.
- [25] Российская виртуальная обсерватория [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.inasan.rssi.ru/rus/rvo>.

International Virtual Observatory: first decade completed

D.A. Kovaleva, O.B. Dluzhnevskaya, O.Yu. Malkov

International Virtual Observatory represents an implementation of the concept of electronic science to Astronomy. This is a powerful virtual medium directed to increase possibilities of astronomical investigation and scientific data result. The International Virtual Observatory has started 10 years ago, and in this publication, we discuss main achievements of project in science and technology.

* Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 09-02-00520, 10-02-00426.