



ИПМ им.М.В.Келдыша РАН

Абрау-2016 • Труды конференции



М.В. Кулагин, В.А. Серебряков

**Информационное пространство РАН
(Проекты и реализация, 1998-2013)**

Рекомендуемая форма библиографической ссылки

Кулагин М.В., Серебряков В.А. Информационное пространство РАН (Проекты и реализация, 1998-2013) // Научный сервис в сети Интернет: труды XVIII Всероссийской научной конференции (19-24 сентября 2016 г., г. Новороссийск). — М.: ИПМ им. М.В.Келдыша, 2016. — С. 194-222. — doi:[10.20948/abrau-2016-40](https://doi.org/10.20948/abrau-2016-40)

Размещена также [презентация к докладу](#)

Информационное пространство РАН

(Проекты и реализация, 1998-2013)

М.В. Кулагин¹, В.А. Серебряков²

¹ Межведомственный суперкомпьютерный центр РАН-филиал
ФГУ ФИЦ НИИСИ РАН

² Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН
ФГУ ФИЦ ИУ РАН

Аннотация. В докладе приводится информация о предпосылках и реалиях создания Единого информационного пространства Российской академии наук, и совокупности проектов, в рамках которых оно было реализовано. Результаты данной работы создают основу для формирования электронной инфраструктуры научных исследований в составе высокопроизводительных вычислительных систем, информационных ресурсов и объединяющих их сетевых решений.

Ключевые слова: интеграция данных, распределенные цифровые ресурсы, цифровые библиотеки, научный интернет, информационная инфраструктура.

1. Введение

Во второй половине 90-х годов стала очевидной необходимость интеграции разнородных информационных ресурсов, накопленных в Российской академии наук за прошедшие годы, в единое информационное пространство РАН, что должно было способствовать существенному повышению эффективности и уровня проводимых научных исследований и связи науки с приложениями, что особенно важно в условиях развивающейся экономики. Интернет, который к этому времени начал осваиваться научно-образовательным сообществом России, уже воспринимался как реальная платформа для такой интеграции. Интернет, как *открытая* коммуникационная среда, предоставил сообществу уникальную возможность неограниченного обмена информацией в глобальном масштабе.

Работы в направлении создания систем, интегрирующих информационные ресурсы РАН, были начаты в 1998 году. Благодаря поддержке Межведомственной программы «Национальная сеть компьютерных телекоммуникаций для науки и высшей школы» был реализован пилотный проект «*Интегрированная система информационных ресурсов (ИСИР) РАН*». Успешное завершение этого проекта позволило развернуть работы по интеграции разнородных научных информационных ресурсов в общеакадемическую научную информационную систему. Телекоммуникационной платформой для этой системы, стала уже создаваемая национальная академическая компьютерная сеть.

В 2001 году по инициативе Отделения математики РАН была принята новая программа целевых расходов Президиума РАН «Информатизация научных учреждений и Президиума РАН». Главной задачей этой программы стала поэтапная интеграция информационных ресурсов организаций РАН в объединенное информационное пространство - *Единую информационную систему (ЕИС) РАН*. Координация этих работ осуществлялась Советом РАН «Научные телекоммуникации и информационная инфраструктура». Основная часть работ по собственно разработке системы была выполнена в отделе Систем Математического Обеспечения ВЦ РАН и отделе информационных технологий ЦНТК РАН.

Первоочередной задачей проекта ЕИС РАН стала разработка концептуальной основы и инфраструктуры для интеграции разнородных информационных и вычислительных ресурсов организаций РАН в единое информационное пространство. Единое информационное пространство (информационную инфраструктуру фундаментальных и прикладных исследований РАН) должны составлять всевозможные цифровые библиотеки, информационные и вычислительные системы организаций РАН, использующие как собственные принципы организации, так и, по возможности, технологию открытой архитектуры проекта ЕИС или непосредственно ее релизы. В результате, был подготовлен системный проект, который определил структуру системы, как таковой, типы информационных ресурсов, участвующих в системе, общую функциональность компонентов системы. В проекте также были отражены принципы организации распределенности системы и интеграции в систему уже существующих ресурсов.

В предлагаемой статье рассматривается история развития информационно-телекоммуникационной системы РАН, как она складывалась за прошедшие годы. Сначала дается исторический очерк развития собственно коммуникационной сети, а затем приводится обзор информационного обеспечения научных потребностей РАН, реализованных на основе этой коммуникационной сети.

2. Телекоммуникационная платформа

В конце 80-х и начале 90-х годов ряд научно-образовательных организаций, в том числе и организаций РАН, по собственной инициативе начали создавать центры доступа в сеть Интернет. Эти работы проводились при поддержке зарубежных партнеров, заинтересованных в более тесном научном сотрудничестве с российскими коллегами. Как правило, партнеры обеспечивали главное – каналы доступа в международные сети (на первых порах) на очень льготных условиях.

Эти организации предоставили доступ в Интернет и другим научно-образовательным организациям и, фактически, стали первыми Интернет сервис-провайдерами в России. Их роль в освоении Интернета на начальном этапе трудно переоценить.

Следует также отметить и роль Международного научного фонда (Фонд Дж. Сороса - Институт «Открытое общество»), который предоставил средства на создание и поддержку современной, для того времени, телекоммуникационной транспортной инфраструктуры. Так Южная Московская Опорная Сеть (ЮМОС) стала «центром притяжения» для научно-образовательных организаций на Юго-западе Москвы, где расположены МГУ, значительная часть институтов РАН и научные организации других ведомств.

Далее событием в развитии системы телекоммуникаций научно-образовательного сообщества России стало утверждение в 1995 году Межведомственной программы «Национальная сеть компьютерных телекоммуникаций для науки и высшей школы» (НСКТ НВШ).

По инициативе РАН и РФФИ вопрос об актуальности такой программы и выделении средств на ее реализацию отдельной строкой в бюджете страны обсуждался в Госдуме РФ весной 1995 года, когда и было принято соответствующее решение. Программа была ориентирована на создание и развитие общероссийской *научной информационной телекоммуникационной платформы* и способствовала решению стратегических задач научно-образовательного сообщества России в целом. Координация программы и ее финансирование были возложены на Миннауки России.

В рамках программы НСКТ НВШ была создана сеть RbNet – российская опорная телекоммуникационная сеть науки и образования, базирующаяся в основном на арендованных у РОСТЕЛЕКОМ каналах связи и объединившая более 50 научных и образовательных центров и ряд научных центров РАН. Сетевое оборудование в эти центры было поставлено Институтом «Открытое общество». В Москве, в рамках программы НСКТ НВШ, была создана и Северная Московская опорная сеть (СМОС), которая обеспечивала коннективность для научно-образовательных организаций в центральной и северной части Москвы.

Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ) по соглашению Институтом «Открытое общество» объявил конкурс на подключение к ЮМОС, в результате которого организациям были выделены гранты на такое подключение. В результате, количество научно-образовательных организаций, получивших доступ к сети, уже во второй половине 90-х существенно выросло (рис. 2.1).

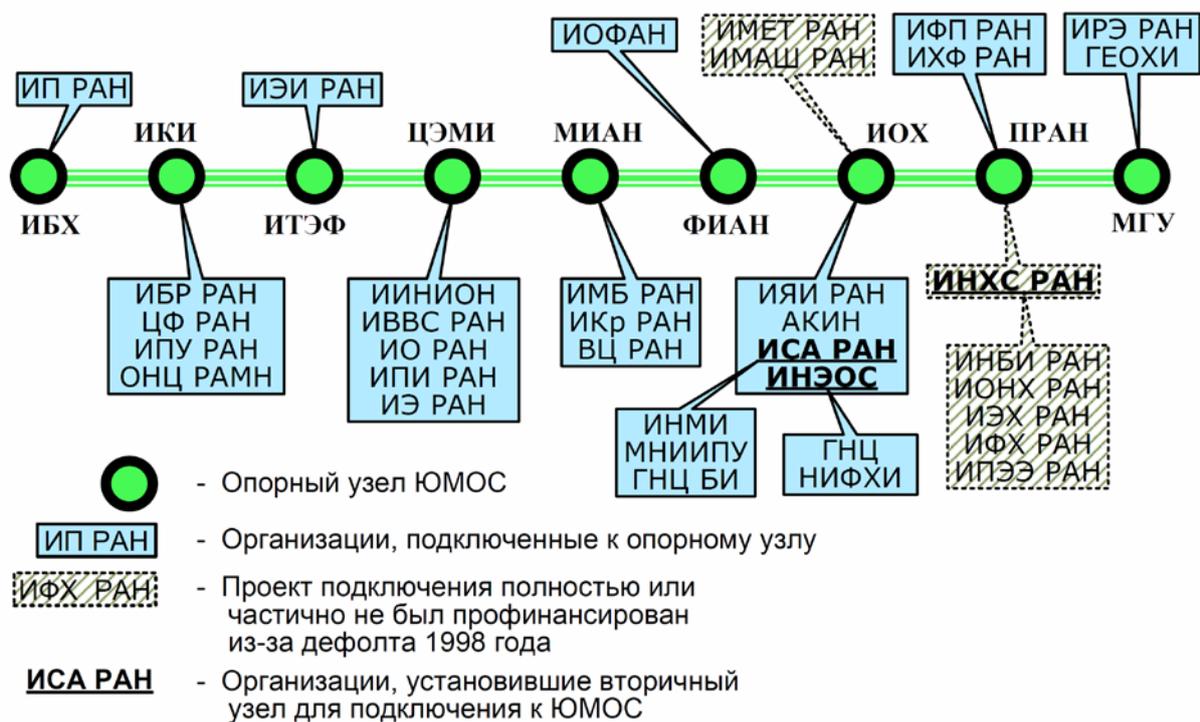


Рис. 2.1. Организации, подключенные к ЮМОС при поддержке РФФИ 1995-1998 г.

Развитие российского научного Интернет стало стимулом к созданию цифровых информационных ресурсов, разработке программного обеспечения для формирования, поддержки и предоставления доступа к ним через Интернет. Для этого из программы НСКТ НВШ также выделялись средства не только на оборудование, но и создание, доступных через Интернет, разнообразных информационных ресурсов.

С целью обеспечения координации работ в области научных телекоммуникаций и информационных технологий в 1997 году вышло постановление Президиума РАН о создании Центра научных телекоммуникаций и информационных технологий (ЦНТК) РАН и была принята программа целевых расходов Президиума РАН «Научные телекоммуникации». Целевая программа была ориентирована, прежде всего, на реализацию крупных инфраструктурных проектов и позволила кардинально изменить ситуацию с созданием научной корпоративной телекоммуникационной сети РАН. Региональным отделениям РАН было предложено создать аналогичные программы.

В ноябре 1998 года был создан Совет РАН «Научные телекоммуникации и информационная инфраструктура». В состав Совета вошли руководители и ведущие специалисты в области телекоммуникаций и информационных технологий РАН, а также и других ведомств. Основной задачей Совета стала разработка единой технической политики и координация работ в области создания, развития и обслуживания системы научных телекоммуникаций и

информационной инфраструктуры РАН. Разработанная в течение 1997 - 1998 г.г. концепция развития научных телекоммуникаций РАН определила основные цели и ближайшие задачи в области развития научных телекоммуникаций. В целом, положения концепции сформулированы следующим образом:

Создание объединенной (в масштабе страны) высокоскоростной, открытой, масштабируемой сетевой структуры, как телекоммуникационной основы единого информационного пространства РАН, обеспечивающего ученым, научным коллективам и организациям доступ к удаленным информационным и вычислительным ресурсам, уникальному экспериментальному оборудованию, как в нашей стране, так и за рубежом, организацию оперативного обмена научной информацией и создание, на основе современных информационных технологий, условий для проведения совместных научно-исследовательских работ.

Реализация положений концепции предполагала решение следующих задач:

- Обеспечение московских организаций и организаций центрального региона адекватной внешней коннеktivностью для доступа к региональным и международным сетям. (На начальном этапе первоочередной задачей стала поддержка подключения московских организаций РАН к опорной сети ЮМОС).
- Оснащение московских организаций и организаций центрального региона современным телекоммуникационным и компьютерным оборудованием, обеспечивающим развитие сетей в соответствии с текущими потребностями.
- Стимулирование разработки и внедрения прогрессивных телекоммуникационных и информационных технологий.

В течение 1997-1999 г.г. были успешно решены задачи скоростного подключения к ЮМОС ряда крупнейших институтов РАН, оснащения опорных узлов новейшим телекоммуникационным и компьютерным оборудованием, что позволило перейти на новые технологии скоростного обмена данными. В частности, за счет средств Целевой программы были завершены и проекты РФФИ по подключению институтов РАН, не завершенные из-за финансового дефолта 1998 года. В число таких проектов вошел и проект подключения к ЮМОС группы институтов РАН на Ленинском проспекте, 29-33. В результате ЮМОС, которая использовала протокол FDDI (100 Мбит/сек), перестала справляться с возрастающей нагрузкой.

В 1999 году был введен в строй Межведомственный суперкомпьютерный центр (МСЦ), для которого необходимо было обеспечить высокоскоростной удаленный доступ к его ресурсам и системе распределенных вычислений, основанной на высокоскоростной телекоммуникационной сети, связывающей существующие суперкомпьютерные установки (в Москве – ИПМ РАН, ИММ РАН, ИАП РАН), а также в Черноголовке, Новосибирске, Екатеринбурге, Владивостоке.

С целью перехода на более высокие скорости передачи в 1998 году было достигнуто соглашение с Институтом «Открытое общество» об использовании резервных волокон ЮМОС для реализации пилотного сегмента, на основе перспективной в то время технологии АТМ. РАН предоставила для этой работы необходимое оборудование, которое было установлено на узлах ЮМОС: ММТС-9, МИАН и ПРАН. МГУ также предоставил для этих целей свой АТМ коммутатор.

В 1999 году пилотный сегмент был введен в строй. На этом этапе АТМ сегмент ЮМОС позволил значительно разгрузить основную часть опорной сети и позволил накопить необходимый опыт для ее дальнейшего развития.

Однако в конце 1999 года институт «Открытое общество» прекратил поддержку научных телекоммуникационных проектов и передал ЮМОС автономной некоммерческой организации (АНО) «Телекоммуникации для науки и общества», в состав учредителей которого, РАН не была включена. Соответственно, РАН уже не могла финансировать проекты, связанные с модернизацией ЮМОС.

2.1. Опорная телекоммуникационная сеть РАН-МГУ

В сложившихся обстоятельствах весной 2000 года руководством РАН и Минпромнауки России было принято решение о совместном финансировании проекта новой опорной сети, получившей название «Опорная телекоммуникационная сеть РАН - МГУ» (ОТС РАН - МГУ). Министерство выделило средства на прокладку волоконно-оптических кабелей новой сети, РАН обеспечила в рамках своей Целевой программы оснащение опорных узлов ОТС необходимым телекоммуникационным оборудованием. Первоначально на ОТС было организовано девять опорных узлов, которые были размещены в тех же организациях РАН, что и узлы сети ЮМОС, что в дальнейшем существенно облегчило переход организаций РАН в новую транспортную сеть.

В отличие от ЮМОС, для ОТС РАН-МГУ была предложена радиально-кольцевая топология соединения узлов (рис. 2.1).

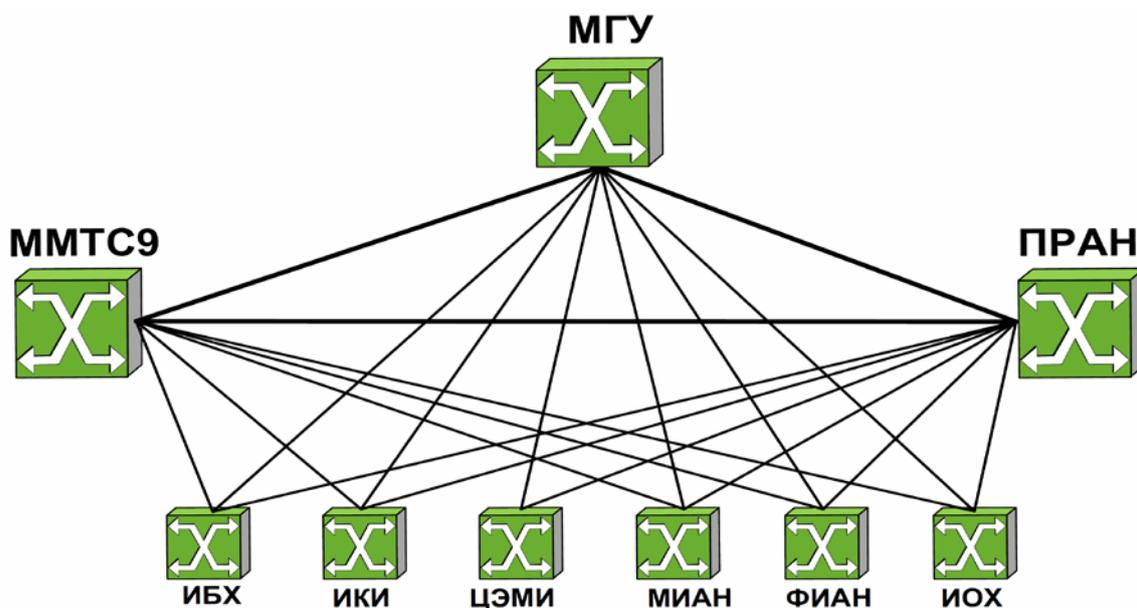


Рис. 2.1 Опорная телекоммуникационная сеть РАН-МГУ

На первом этапе (2001 год) транспорт в ОТС был реализован на основе протоколов АТМ, что обеспечило повышение общей пропускной способности транспортной сети до величины более 300 Мбит/сек при обмене данными между узлами даже на начальном уровне (STM-1). В этот период ЮМОС и ОТС РАН-МГУ использовались параллельно.

В тот же период были реализованы проекты реконструкции компьютерных сетей главного здания РАН на Ленинском проспекте, 32а (2000 - 2001 г.г.) и комплекса зданий Президиума РАН - Ленинский проспект, 14 (2002 - 2004 г.г.).

В главном здании была построена новая структурированная кабельная сеть. Для магистральной (вертикальной) части были проложены ВОЛС от Центра управления сетью ЦНТК РАН (корпус «Г») во все корпуса главного здания РАН. В корпусах ВОЛС терминируются на «этажные» коммутаторы, к которым присоединены локальные сети организаций - горизонтальная часть структурированной кабельной сети.

Новая кабельная структура, смогла обеспечить реализацию индивидуальных политик безопасности в локальных сетях различных организаций и изоляции внутреннего трафика локальных сетей, а также обеспечить доступ в Интернет и в других корпусах, в том числе и в конференц-залах в корпусах «Б», «Г» и «Д». В кампусной сети впервые была применена технология Гигабитного Ethernet (GbE).

Технология GbE к этому моменту уже имела статус международного стандарта для сетей масштаба предприятия, что полностью соответствовало условиям проекта. С учетом того, что число рабочих мест во всем комплексе может доходить до тысячи и более, была предложена радиальная структура опорной магистрали комплекса. Это обеспечило разделение транспортных

потоков и гарантировало магистраль от перегрузок. Применение стандарта GBE для реализации сети комплекса оказалось чрезвычайно привлекательным.

Применение аппарата «виртуальных локальных сетей» в сочетании с GBE обеспечило возможность консолидации распределенных локальных сетей организаций в единые распределенные локальные сети, что значительно облегчило управление этими сетями и их поддержку. Значительно, более высокая пропускная способность технологии GBE по сравнению с АТМ (STM-1), высокая масштабируемость и функциональность, а также более низкая стоимость оборудования GBE в расчете на одно рабочее место послужили основанием тому, что дальнейшее развитие ОТС, было решено реализовать путем постепенного перехода на технологию GBE.

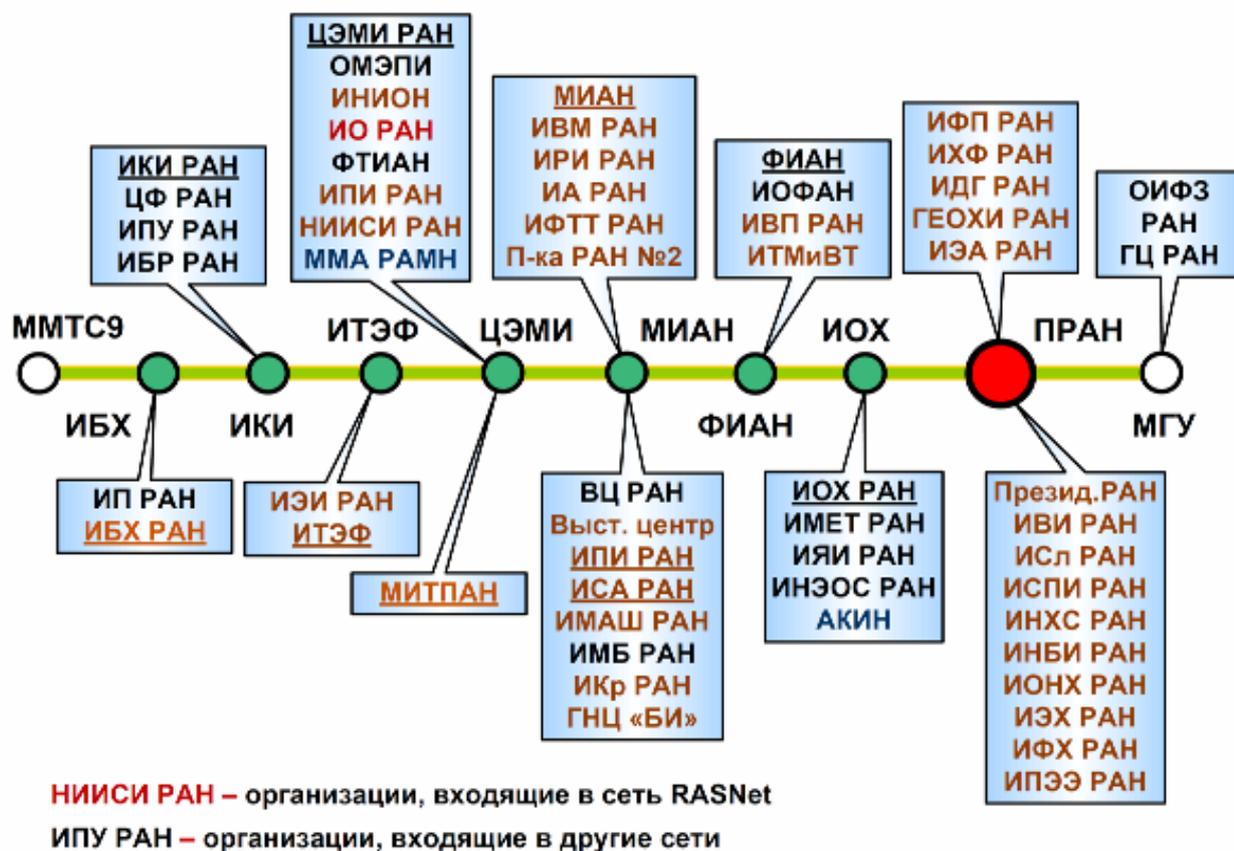


Рис. 2.2. Организации, подключенные к ОТС РАН-МГУ - 2004 год.

В 2002 - 2004 году в рамках новой Целевой программы «Информатизация научных учреждений и Президиума РАН» была создана информационная система Президиума РАН, одновременно была проведена и реконструкция кампусной сети комплекса Президиума РАН (Ленинский проспект, 14). Между корпусами Президиума были проложены ВОЛС, объединившие локальные сети всех подразделений. Для локальных сетей в корпусах были проложены структурированные кабельные сети, обеспечившие возможность установки персональных компьютеров на всех рабочих местах. Существенно обновлен парк персональных компьютеров, серверов и активного оборудования сети,

обновлено системное и прикладное программное обеспечение. Подключение кампусной сети Президиума РАН к ОТС было также выполнено по технологии GBE.

В течение 2002-2004 годов при финансовой поддержке Целевой программы к структуре ОТС РАН-МГУ были подключены и организации, расположенные в зоне доступности ОТС, но еще не подключенные к ее узлам. Всего к 2004 году к ОТС РАН-МГУ было присоединено более пятидесяти организаций (рис. 2.2).

2.2. Второй этап расширения ОТС

К 2004 году основные задачи, которые ставились при создании ОТС РАН - МГУ, в основном, были решены. К ОТС были подключены большинство организаций РАН, расположенных в зоне ее доступности. Модернизация активного оборудования узлов позволила существенно увеличить пропускную способность сети, была увеличена емкость региональных и международных каналов. Это обеспечило адекватную телекоммуникационную поддержку фундаментальных исследований в различных областях знаний. Существенно, что РАН в рамках сообщества российских научно-образовательных сетей смогла значительно расширить свое участие в международных телекоммуникационных проектах, наиболее значимыми из которых, стало создание совместных научных каналов Россия - Европа и Россия - США. (О расширении международной коннективности см. далее – п. 3.3)

Однако коннективность для организаций РАН, расположенных вне зоны доступности ОТС РАН-МГУ, оставалась неудовлетворительной. Организации, расположенные в центральной части и на севере Москвы, и институты научных центров в Московской области использовали для доступа в ОТС виртуальные каналы МТК «КОМКОР», или подключались к другим коммерческим провайдерам, которые лишь предоставляли доступ в Интернет, но не обеспечивали возможность эффективно использовать возможности академической сети.

Институты, участвующие в Программах фундаментальных исследований Президиума РАН: (Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша, Институт математического моделирования, Институт физики атмосферы, Геологический институт и т. д.) испытывали серьезные потребности в расширении емкости каналов, используемых для организации распределенной или удаленной обработки научных данных, доступу к ресурсам МСЦ РАН и мировым научным информационным центрам.

Такие же проблемы испытывала и Библиотека по естественным наукам (БЕН) РАН. Библиотека расположена в центре Москвы и является одним из важнейших научных информационных центров РАН.

В 2003 году Рабочей группой Целевой программы «Телекоммуникации» было одобрено предложение о поэтапном расширении ОТС РАН-МГУ в

направлении центра Москвы. В 2004 году ЦНТК РАН был подготовлен проект расширения ОТС в центральной части Москвы - *ОТС Центр-Север*.

На начальном этапе реализации проекта в 2004 году была проложена ВОЛС до Института физики атмосферы (Пыжевский пер. д.3) и построена кампусная сеть для всех институтов, расположенных в этом районе. В ИФА был создан опорный узел.

От этого узла в дальнейшем была проложена ВОЛС к БЕН РАН, где также был создан первый опорный узел сети Центр-Север. БЕН получила скоростной доступ к ОТС РАН. К узлу БЕН было подключено большинство академических институтов в центральной части Москвы. От БЕН магистральный кабель новой сети был проложен до узла в ИПМ РАН и заканчивался на ММТС-10.

В 2006 году Объединенному Институту высоких температур РАН было выделено финансирование на подключение к ОТС РАН. На эти средства был проложен кабель от ОИВТ до ММТС-10.

К 2007 году без прямого доступа к ОТС РАН оставались только Институт системного программирования (ИСП) РАН, площадки Института социологии и Института проблем информатики, которые продолжали использовать виртуальные каналы «КОМКОР». В 2007 от узла ОТС ИФА году был проложен кабель с узлами в Институте Латинской Америки, Институте астрономии, ИСП РАН и площадками Института проблем информатики и Института социологии, что позволило окончательно отказаться от аренды виртуальных каналов. Через узел ИСП РАН к ОТС РАН получил доступ Институт медико-биологических проблем. Это соединение было предоставлено компанией «СИНТЕРА» в рамках проекта «Университетский кластер», участником которого были МСЦ и ИСП РАН. Емкость этого канала составляла 1Гбит/сек.

В тот же период к ОТС РАН были присоединены Троицкий, Черноголовский и Пущинский Научные центры РАН.

В результате завершения проекта «Центр-Север» к ОТС РАН было подключено еще более 29 организаций.

На рис. 2.3 показано расположение опорных узлов транспортной сети ОТС РАН в Москве и Московском регионе.

К началу 2013 года к ОТС РАН в Москве и Подмосковье присоединено более девяноста институтов РАН. Большая часть этих институтов обслуживается сетью RASNet (рис. 2.4).

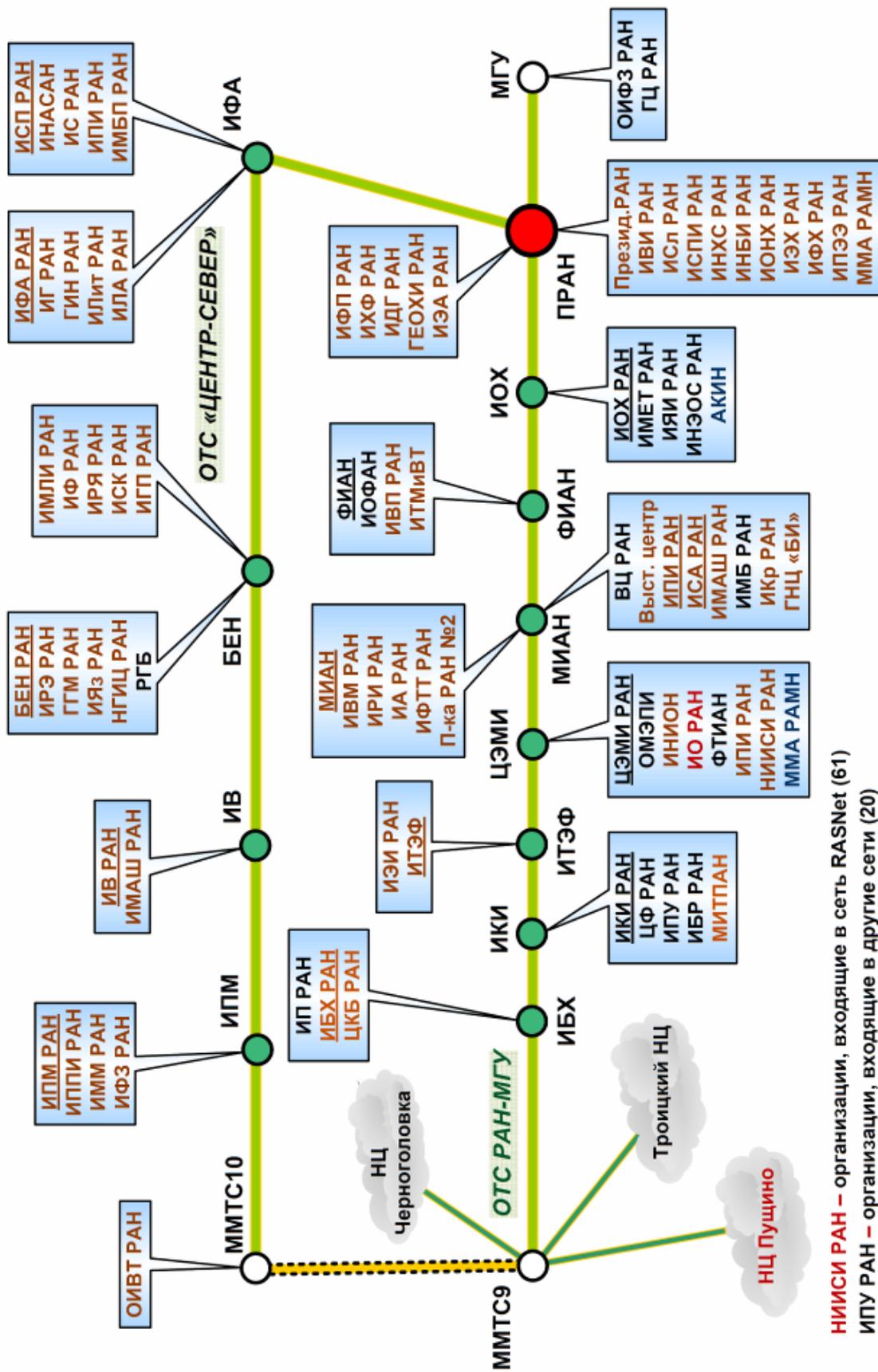


Рис. 2.4. Организации Москвы и московского региона, подключенные к ОТС РАН.

Компьютерные сети крупнейших научных центров РАН (Пушинский НЦ, Троицкий НЦ и Черноголовский НЦ) также присоединены к ОТС РАН. В ОТС РАН имеются опорные узлы, через которые обеспечивается обслуживание организаций РАН не только сетью RASNet, но и другими научными провайдерами, в их числе:

- FREENet – Российская сеть науки и образования (ИОХ РАН),
- RSSI – Российская сеть космических исследований (ИКИ РАН),
- MSUNet – МГУ,
- RadioMSU – сеть RUHEP исследовательские организации физики высоких энергий (НИЯФ МГУ),
- LaserNet – сеть, объединяющая организации ведущие исследования в области лазерной физики (ИОФАН, ИПЛИТ).

2.3. Региональная коннективность

Начало создания системы региональной коннективности для организаций науки и образования было положено еще в середине 90-х годов, когда в рамках Межведомственной программы НСКТ НВШ была создана транспортная сеть RBNet. Эта сеть использовала сетевую структуру Ростелекома и обеспечивала скорость передачи данных до 256 Кб/сек для ряда крупнейших университетов и научных центров. Однако к 2001 году интенсивное развитие научного интернета в нашей стране потребовало значительного расширения емкости региональных каналов.

Руководство РАН сделало первый шаг в этом направлении. В 2001 году Президиум РАН принял решение о создании программы целевого финансирования «Интеграция регионов»¹ и выделении на эти цели средств на паритетных началах с региональными отделениями РАН. В том же году был объявлен конкурс на организацию прямых каналов Москва – Екатеринбург (30Мб/с) и Москва – Новосибирск (40Мб/с).

Конкурс выиграла компания «ТрансТелеком», имевшая уже в то время волоконно-оптическую сеть вдоль магистралей РЖД. Компания также имела и лицензию на услуги передачи данных. Инициатива РАН была поддержана Миннауки и Минобразования. Каналы были включены в сеть RBNet и обеспечивали коннективность не только для региональных учреждений РАН, но и других участников сети RBNet, на основе паритетного финансирования.

К началу 2010 года информационно-телекоммуникационная структура РАН обеспечивала возможность участия наших ученых в крупнейших международных проектах, таких, как Большой адронный коллайдер (LHC) (Отделение физических наук), проекты создания системы глобального мониторинга окружающей среды (IDEAS, SPIDR, SABR) (Отделение наук о

¹ В дальнейшем эта программа была объединена с программой «Телекоммуникации»

Земле) и множество других проектов в институтах всех отделений РАН (рис. 2.5).

Вместе с тем, полноценное участие в таких проектах было доступно в основном только для организаций центрального региона. Отчасти это было связано и с топологией межрегиональной научной сети, созданной в 2001-2003 году. Радиальная топология с центром в Москве приводила к тому, что внешний трафик региона (независимо от того, куда или откуда каждый отдельный компьютер в сети его генерировал) должен был проходить через центральный узел в Москве. Таким образом, создавался избыточный трафик, который при ограниченной полосе пропускания, резко сокращал эффективность каналов. С учетом того, что для ряда ответственных приложений требовалась гарантированная полоса пропускания и фиксированная задержка, необходимо было иметь добавочную емкость. А это приводило к недопустимо высоким расходам.

В качестве решения, позволившего оптимизировать трафик, был предложен проект создания федеральной сети РАН, наложенной на сеть общероссийского оператора. При наличии коннективности провайдера в узлах региональных сетей РАН оптимизация трафика этих узлов автоматически решается за счет общей политики маршрутизации оператора и может быть значительно оптимизирована применением механизмов *качества обслуживания (QoS)*.

Реализация проекта (рис. 2.5) в сотрудничестве с компанией «ТрансТелеком» обеспечила возможность организации межрегиональной коннективности с емкостью каналов на критических направлениях до 1Гбит/сек. При развертывании федеральной сети в ее состав были включены и организации других ведомств, что позволило разделить финансовую нагрузку.

Отдельно надо остановиться на научных центрах РАН в центральной части России. Это: Санкт-Петербургский НЦ, Карельский НЦ, Вологодский НЦ, Казанский НЦ, Самарский НЦ, Дагестанский НЦ, Владикавказский НЦ и Специальная астрофизическая обсерватория (САО РАН) в Карачаево-Черкесии.

Эти научные центры были участниками программы «Телекоммуникации²». Основанием для включения в программу было предоставление проекта создания (или развития) телекоммуникационного узла каждого научного центра, где описывались конкретные задачи, решаемые в проекте, методы их решения, состав оборудования, обосновывались объемы финансирования и предлагаемый способ соединения с сетью РАН. После обсуждения на Рабочей группе одобренный проект утверждался руководством Совета РАН «Высокопроизводительные вычислительные системы, научные телекоммуникации и информационная инфраструктура». Ежегодно Рабочая

² В 2004 году после объединения Советов РАН «Высокопроизводительные вычислительные системы» и «Научные телекоммуникации и информационная инфраструктура» Целевые программы были также объединены.

группа рассматривала отчеты и заявки на финансовую поддержку на следующий год.

Насущной задачей обеспечения региональной коннективности стала задача организации выхода в академическую сеть для подразделений, расположенных в удаленных и труднодоступных местах, где использование наземной связи по различным причинам было затруднено или просто невозможно. В основном это были филиалы и обсерватории институтов Отделения наук о Земле, которые обеспечивали мониторинг параметров состояния земной коры и атмосферы. Этот вопрос неоднократно обсуждался на заседании Рабочей группы по разделу «Телекоммуникации» Совета РАН. В 2010 году было принято решение о разработке проекта создания Центра широкополосного спутникового доступа на базе, имевшейся в нашем распоряжении наземной спутниковой станции.

Предложенный проект должен был обеспечить сбор и передачу данных в реальном времени для оперативной обработки и накопления их в специализированных базах данных. Предполагалось, что будет выбран коммерческий партнер, имеющий доступ к спутниковым ресурсам, который с помощью нашей станции обеспечит через VSAN станции на местах, организует спутниковые каналы ОТС РАН. Однако по, главным образом, финансовым и, отчасти, административным причинам, этот проект не был реализован.

2.4. Международная коннективность

Следующий шаг в расширении коннективности научной сети связан с расширением международных связей. Опять же, по инициативе РАН в мае 2002 года в Брюсселе на встрече представителей российского научно-образовательного сообщества с руководством Европейской научной сети GEANT была достигнута договоренность о подключении сетей научно-образовательного сообщества России к Европейской научно-образовательной сети GEANT. Со стороны России головной организацией в этом проекте был выбран Межведомственный суперкомпьютерный центр (МСЦ).

В этот проект вошли:

- Российская академия наук,
- Минпромнауки России,
- ГНИИ ИТТ «ИНФОРМИКА» (Минобразования России),
- ГНЦ «Курчатовский институт»,
- Объединенный институт ядерных исследований,
- Московский государственный университет.

В ноябре 2002 года на встрече с руководством сети DANTE³ были согласованы основные условия подключения России к GEANT, а в начале 2003 года было подписано соответствующее соглашение и осуществлено

³ Телекоммуникационный провайдер научной сети GEANT

подключение к GEANT через арендованный прямой канал Стокгольм - Москва емкостью 622 Мбит/с. Затем, в 2004 году было подписано соглашение о принятии научно-образовательного сообщества России в GEANT в качестве ее полноправного члена и создании Российского национального узла (NREN)⁴ сети GEANT в Межведомственном суперкомпьютерном центре в Москве. Емкость канала была увеличена до 2,5 Гбит/с. В результате, Россия получила устойчивый выход в международный научный Интернет. Это значительно облегчило сотрудничество российских ученых с зарубежными коллегами во множестве совместных международных проектов.

В 2009 году емкость каналов в GEANT была увеличена до 10 Гбит/сек и организовано два канала (основной и резервный): Москва – Копенгаген и Москва – Франкфурт на Майне.

⁴ National Research and Education Node

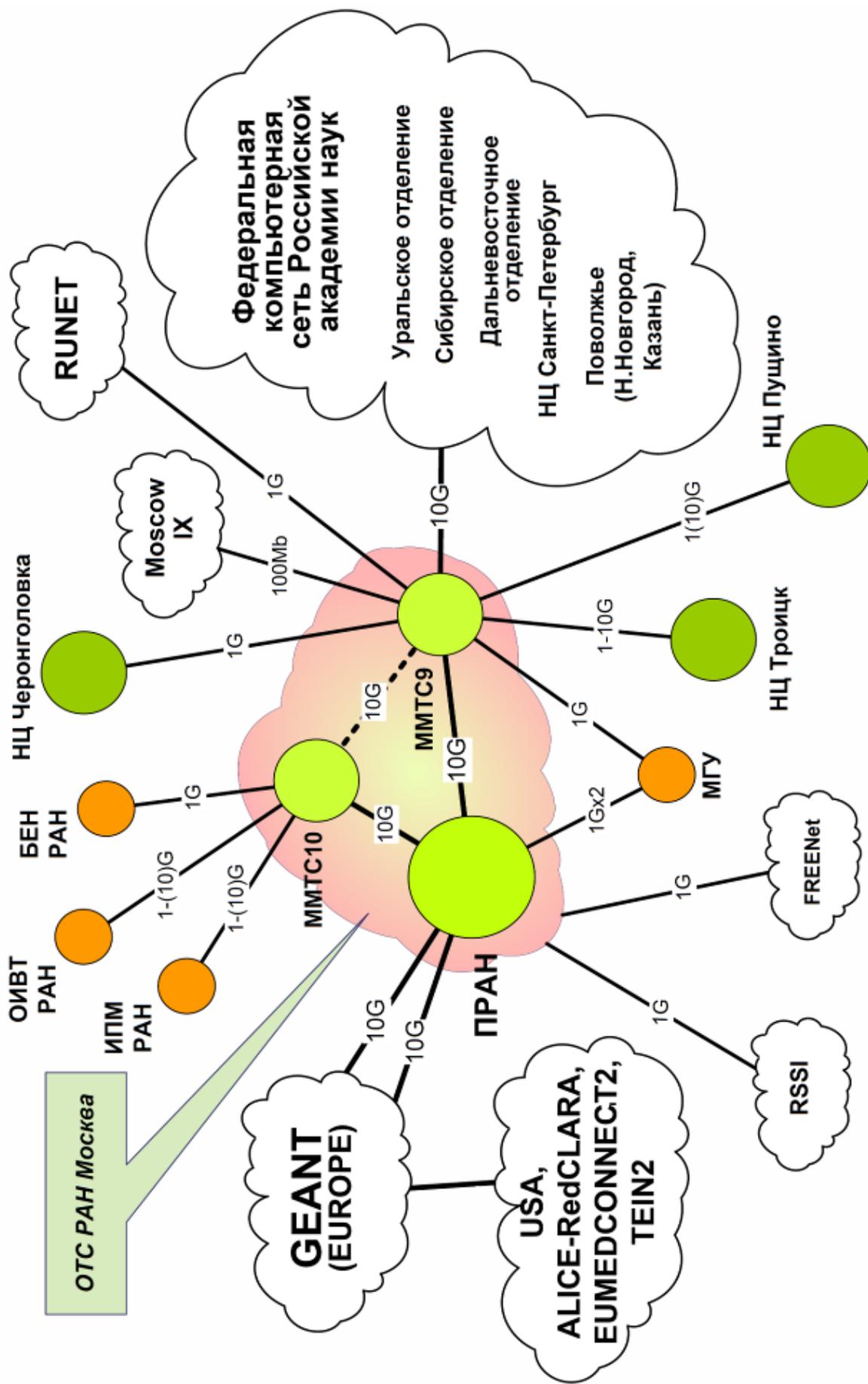


Рис. 2.5. Международные региональные связи сети РАН.

3. Проекты ЕНИИП

Важным этапом стал проект создания *Единого Научного Информационного Пространства (ЕНИИП) РАН*. Этот проект основывался на подсистеме «Научный институт РАН», созданной в ВЦ РАН и ЦНТК РАН. Эта подсистема обеспечивает возможность интеграции информационных ресурсов отдельных организаций в ЕИС. На базе этой системы были реализованы Web информационные системы ряда институтов и отделений РАН, а также такие информационные системы, как Научное Наследие России, портал интеграции пространственных данных Геомета и ряд других. Система была запущена в опытную эксплуатацию.

3.1. Интегрированная система информационных ресурсов (ИСИР) РАН

С самого начала деятельности по проекту значительные усилия были приложены к выработке согласованного системного взгляда на стоящие проблемы и пути их решения, к формированию целей и задач, подходов к решению, базовых требований к используемым методам (технологиям, стандартам и т.п.). В связи с этим, с участием всех заинтересованных сторон, был разработан ряд документов, положенных в основу большинства проектов, выполняющихся в рамках Программы.

В целом надо сказать, что до определенного момента все процессы, связанные с применением информационных технологий в РАН, двигались полностью бессистемно, не управлялись и не контролировались. Тем более не было никакого анализа полученных результатов, эффективности вложений и т.п. С момента деятельности рабочих групп по программе информатизации эта бессистемность потихонечку начала исчезать. Кроме бессистемности, проблемы еще были и такими:

- отсутствие полного понимания, согласованного со всеми заинтересованными сторонами в РАН, необходимости развития работ в направлении интеграции;
- как следствие, задержки при окончательной формулировке и принятии общей концепции и программы работ по информатизации РАН;
- отсутствие юридической базы, которая могла бы создать условия для защиты авторских прав и прав интеллектуальной собственности на разработки, выполняемые в РАН;
- различные уровни подготовленности организаций РАН к внедрению и использованию современных ИТ;
- отсутствие или недостаточная подготовленность к интеграции базовых информационных блоков, которыми должны быть информационные системы Институтов, Центральные библиотек, Отделений и Президиума РАН;

- отсутствие адаптированных к требованиям РАН разработок в области стандартизации объектов и механизмов единой системы;
- как следствие, отсутствие возможности полноценного обмена информацией в электронном виде.

Общая задача Интегрированной системы информационных ресурсов (ИСИР) РАН [1,2] состоит в организации единого информационного пространства. Это требует решения задач по извлечению и структуризации метаданных, по обеспечению их ввода в структурированном виде. Второй класс задач состоит в предоставлении средств интеграции информации разнообразных информационных систем (репозиториев), тем или иным способом накопивших структурированную информацию.

3.2. Информационная система Научный институт (НИ) РАН

Рассмотрим типовой научный институт, входящий в состав РАН. Он представляет собой полноценную организацию со сложной административной структурой, основным направлением деятельности являются научные исследования. Задачи, решаемые каждой такой структурной единицей РАН, можно разделить по своему типу – административные, научные, публичные и т.д.

Административные задачи. В любой организации для нормального функционирования требуется постоянное решение управленческих задач, влияющих прямым образом на деятельность организации в целом и на выполнение конкретных задач на всех уровнях. Сюда входят такие задачи, как управление организационной структурой и кадрами, управление проектами, обеспечение документооборота и пр.

Научные задачи. Основным направлением деятельности любого научного института РАН являются научные исследования, а основной задачей организации становится в этой плоскости обеспечение научной деятельности сотрудников.

Публичные задачи. Взаимодействие с другими научными учреждениями, организация и проведение конференций и научных семинаров, публикация научных трудов сотрудников, предоставление доступа к результатам научных экспериментов, научным данным – все это составляет неотъемлемую часть деятельности научного института.

Информационная система Института РАН должна, с одной стороны, стать центром научно-информационного сервиса сотрудников Института, а с другой, – обеспечивать полное представление информации о научной деятельности Института для мирового сообщества. Информационная система Института РАН должна представлять собой узел в распределенной архитектуре множества узлов – информационных систем Институтов РАН.

На основе описанных выше задач научных организаций в составе РАН можно сформулировать набор требований к программному комплексу ИС «НИ РАН».

ИС «НИ РАН» [3,4] представляет собой типовой программный комплекс автоматизации информационной деятельности научного института в составе Российской академии Наук, обеспечения научной деятельности его сотрудников, взаимодействующий с другими информационными системами в составе ЕНИП.

Разработанная платформа ИС «НИ РАН» предоставляет широкие возможности по конфигурированию под нужды конкретного научного института. Ядро всей системы составляют инфраструктурные службы. Они обеспечивают хранение, индексирование и поиск ресурсов, обеспечивают безопасность и взаимодействие между другими модулями. Базовые компоненты ИС «НИ РАН» обеспечивают выполнение самых общих информационных задач научного института – управление содержанием портала, организационной структурой, ведение сведений о публикациях и проектах сотрудников. Все действия конечный пользователь производит через Web-интерфейс.

3.3. Единое научное информационное пространство РАН

Российская академия наук обладает уникальными научными информационными ресурсами. Среди них – опубликованные результаты научных исследований и экспериментов, библиографические и фактографические базы данных, сведения об ученых, их научной деятельности, публикациях, проектах и т.п. Эти ресурсы представляют значительный интерес для сотрудников РАН, членов мирового научного сообщества, для представителей промышленности и предпринимателей, которые заинтересованы во внедрении результатов научных исследований.

Предполагалось, что Единое Научное Информационное Пространство (ЕНИИП) РАН должно стать интегрированным источником научной

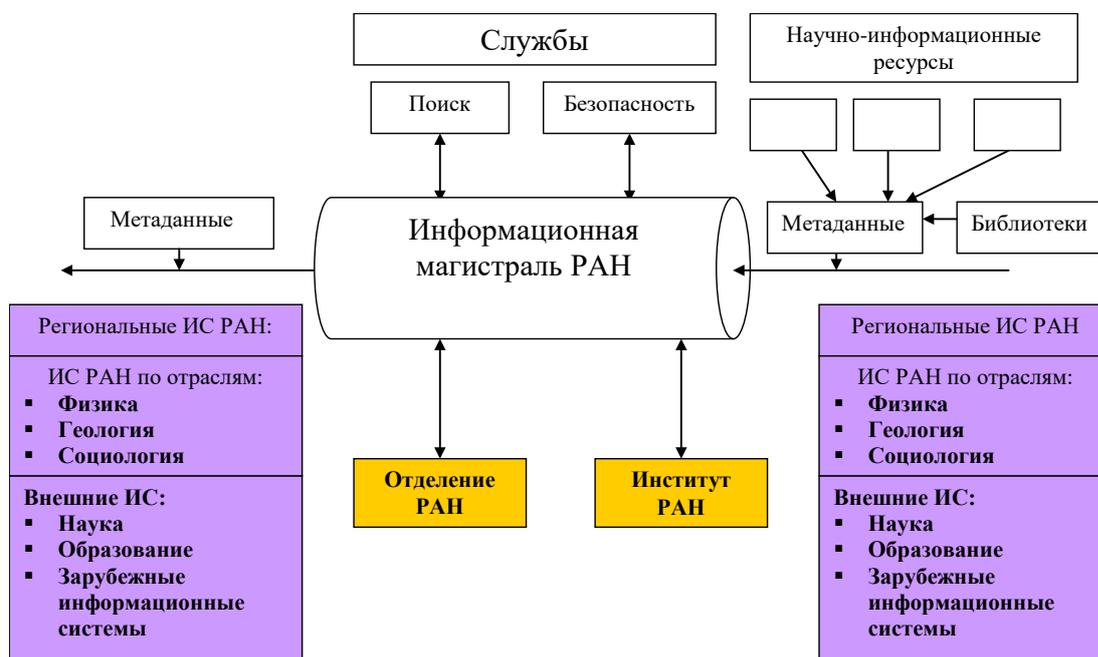


Рис. 3.1. Информационная магистраль ЕНИИП РАН

информации. Инициатива по организации Единого Научного Информационного Пространства (ЕНИИП) РАН призвана была помочь научным коллективам сделать ряд шагов в направлении интеграции разнородных научных информационных и программных ресурсов отдельных научных учреждений, предоставлении пользователям более эффективных средств интеграции и поиска информации, научной коммуникации, сотрудничества и совместной работы.

Основу единого информационного пространства РАН составляет Информационная магистраль ЕНИИП РАН (рис. 3.1), представляющая собой комплекс аппаратных, программных и организационных мер, обеспечивающих формирование состава цифровых ресурсов и служб ЕНИИП РАН:

- предоставление доступа к цифровым ресурсам и службам ЕНИИП РАН;
- обеспечение защиты цифровых ресурсов и служб ЕНИИП РАН;
- ведение и поддержка в актуальном состоянии метаданных системы;
- поиск по хранимой метаинформации и идентификация ресурсов;
- интеграцию ресурсов различных областей и отраслей знаний.

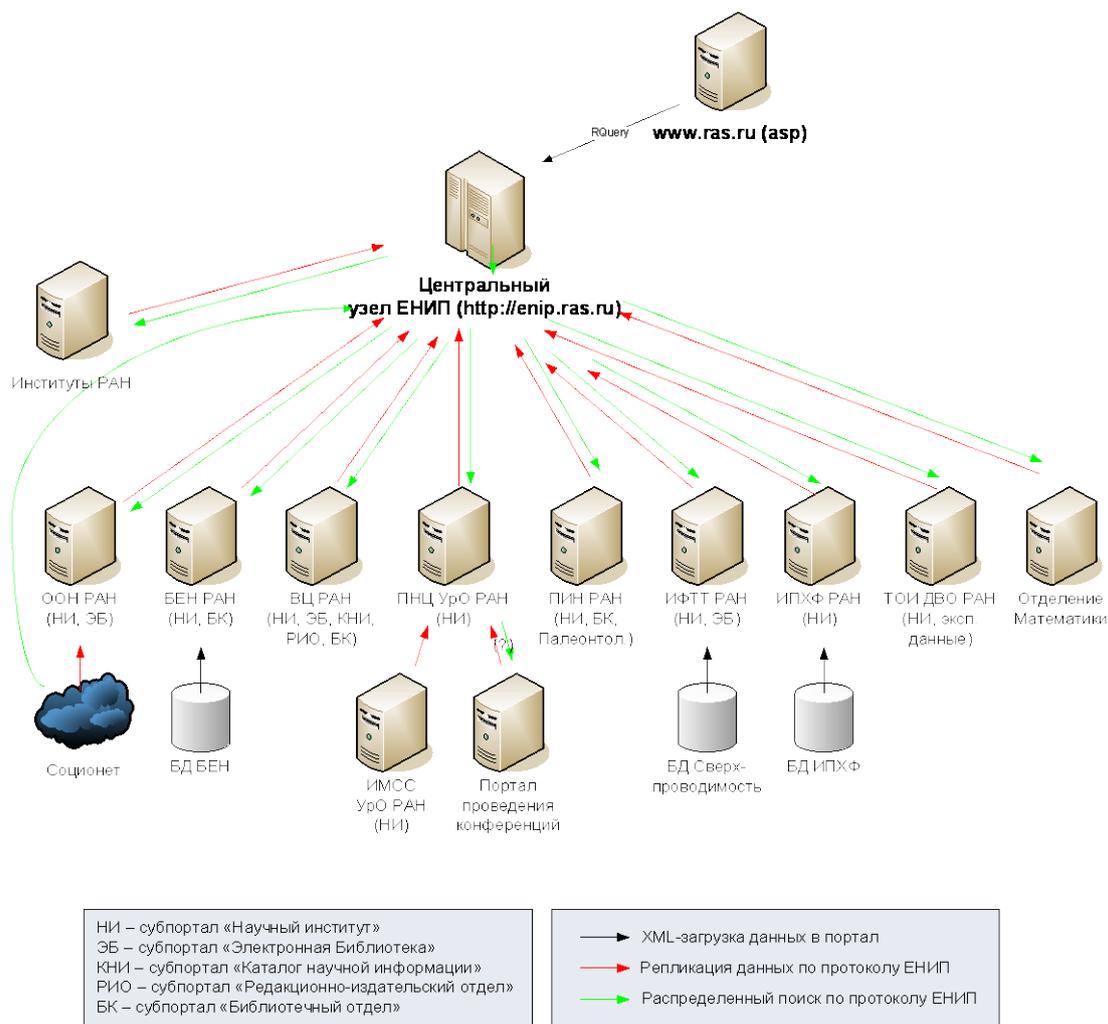


Рис.3.2. Узлы ЕНИП.

На рисунке 3.2 изображена схема взаимодействия узлов пилотной версии ЕНИП.

На рисунке изображены четыре типа узлов ЕНИП:

- Центральный узел.
- Узлы организаций.
- Независимые источники данных.
- Независимые системы, включенные в ЕНИП.

Центральный узел осуществляет интеграцию данных с других узлов с помощью механизма репликации (копирования) метаинформации. На основе, реплицируемой на центральный узел метаинформации, строятся поисковые индексы и на их основе осуществляется единый поиск по этим узлам. Загрузка данных в узлы системы может осуществляться из других источников, например из сайтов организаций. Независимые информационные системы могут быть включены в ЕНИП самостоятельно, если обеспечены протоколы взаимодействия.

Система ЕНИП оперирует такими ресурсами, как персоны, публикации, организации, подразделения и проекты. Данные по этим ресурсам обновляются каждую неделю. Центральный узел предоставляет пользователям две возможности поиска: поиск по локальной базе данных и полнотекстовый поиск. Поиск по локальной базе осуществляется по стандартным ресурсам: персона, организация, публикация, проекты. Актуальность информации может составлять разницу в 6 дней от информации на сервере-источнике данных.

Полнотекстовый поиск позволяет получить полную и актуальную информацию, но выполняется дольше.

3.4. ЦБ “Научное наследие России”

Учитывая важность формирования цифровых библиотек, Российская академия наук приняла в 2006 году целевую научную программу «Создание ЦБ “Научное наследие России”». ЦБ призвана аккумулировать цифровые копии книг, статей, документов, хранящихся в библиотеках, архивах и музеях РАН. В первую очередь акцент сделан на перевод в цифровую форму редких и уникальных изданий, важнейших документов по истории РАН, материалов экспозиционного характера, включая аудио-видеоматериалы [5].

В настоящее время наполнение ЦБ осуществляется копиями изданий, которые не подпадают под действие закона о защите авторских прав (в основном это издания, вышедшие из печати до 1920-го года).

3.5. Портал ГеоМета

К настоящему времени в учреждениях РАН накоплен большой опыт использования геоинформационных технологий, реализованы многочисленные геоинформационные проекты, созданы базы и банки пространственных данных.

Существует потребность в объединении этих данных, имеющих распределенный характер, в концептуально одну информационную систему, в обеспечении централизованного доступа к ним, в создании на основе интернета технологий единого информационного пространства геоданных.

Портал «ГеоМета» [6] – это стандартизированная и децентрализованная среда управления пространственной информацией, разработанная для доступа к базам геоданных, картографическим продуктам и связанным с ними метаданным из различных источников, облегчающая обмен пространственной информацией между организациями и ее совместное использование посредством интернета. Этот подход к управлению географической информацией имеет целью предоставить широкому сообществу пользователей средства для простого и своевременного доступа к имеющимся пространственным данным и существующим тематическим картам, которые могут оказаться полезными для поддержки обоснованного принятия решений.

Главная цель портала – увеличить доступность разнообразных междисциплинарных данных различного масштаба вместе с сопутствующей

информацией, организованных и документированных стандартным и непротиворечивым способом, улучшить кооперацию и координацию усилий при сборе данных, сохраняющих ресурсы и, в то же самое время, ограждающих данные и информацию от нежелательного доступа.

Портал «ГеоМета» представляет собой платформу для создания распределенной среды интеграции неоднородных источников геоинформационных данных и предоставления к этой среде единой точки входа (веб-портала), которая позволит ученым, работающим в сфере наук о Земле, легко находить специализированные данные и приложения, производить вычислительные эксперименты, визуализировать результаты деятельности.

Благодаря тому, что портал «ГеоМета» построен на базе ИС «НИ РАН» [1], являющейся базовым инфраструктурным компонентом ЕНИП [2], он может интегрироваться в ЕНИП с предоставлением возможности расширения схемы геопространственными метаданными и геоданными.

Портал «Геомета» предполагалось использовать и в рамках программы «Телекоммуникации» для работы с данными, передаваемыми по спутниковым каналам подразделений, расположенных в удаленных и труднодоступных регионах. Заинтересованность в создании такой системы выразили Институт физики атмосферы, Институт океанологии РАН, Геофизический центр РАН и ряд других институтов.

3.6. Персональные семантические цифровые библиотеки

Под персональными семантическими цифровыми библиотеками подразумеваются такие цифровые библиотеки, наполнение которых индивидуально для каждого пользователя системы и выполняется в полуавтоматическом режиме из разнородных источников данных, интегрированных в облако LOD⁵. Будем далее для краткости называть их *персональными открытыми цифровыми библиотеками* или ПОЦБ. Типы информационных ресурсов и их структура определяются пользователем, исходя из своих интересов, то есть пользователь описывает интересующую его предметную область, определяя тематическое наполнение библиотеки.

Основная задача системы заключается в предоставлении пользователю унифицированного представления для возможности автоматизированного извлечения интересующей его информации по определенной предметной области.

Представление ресурсов библиотеки в виде связанных данных расширяет функциональность семантических цифровых библиотек, давая возможность:

- включения дополнительных элементов описания данных информационных ресурсов,
- полного или частичного обновления данных из источников,

⁵ The Linked Open Data cloud.

- использования интерфейсов для создания запросов к интегрированным в LOD источникам данных на основе SPARQL,
- включения в описания ресурсов других типов информации.

Одна из задач, которая решается в ПОЦБ, - это реализация интеграции набора данных в пространство LOD с использованием онтологии предметной области информационных ресурсов, т.е. автоматизированное обнаружение новых наборов данных и, по возможности, установка и поддержка связей с элементами данных из этих наборов данных с уже имеющимися ресурсами в репозитории библиотеки, обеспечивая одновременно рекомендуемую проектом LOD функциональность в рамках одной системы.

Источники данных подразделяются на два типа: внешние и внутренние. Внешними мы называем те источники, которые интегрированы в LOD, и данные которых представлены в RDF и доступны нам с использованием SPARQL. Для своих практических целей мы использовали такие известные источники в LOD, как DBpedia, Europeana. Внутренние источники могут представлять собой любой другой тип источника данных, который не интегрирован в LOD. На практике в качестве внутренних источников мы использовали другие библиотеки, которые предоставляли доступ к своим данным по протоколу OAI-PMH.

Исходя из определения источников данных ПОЦБ и перечня функций системы, можно выделить «внутренние» функции, т.е. те, которые оперируют данными в рамках системы и интегрируют данные из «внутренних» источников и фактически определяют обычную семантическую библиотеку. «Внешние» функции обеспечивают подключение и извлечение данных из LOD и позволяют задать тематическое наполнение библиотеки и установить связи, таким образом, задавая фактически определение ПОЦБ.

Онтология ПОЦБ разработана в общем виде без привязки к конкретным методам и способам реализации семантических цифровых библиотек.

3.7. Теплофизические данные – особенности, методы распространения и интеграции

В настоящее время совместно с Объединенным Институтом Высоких Температур РАН ведется разработка системы интеграции данных по теплофизике [8].

Теплофизика относится к дисциплинам, в которых работа с численными данными занимает центральное место. Теплофизические свойства веществ – набор естественнонаучных данных по физическим, химическим, эксплуатационным свойствам. Такие данные широко представлены в печатных пособиях и мировых БД для широчайшего круга веществ: чистых и растворов, органических и неорганических, наноструктур и материалов, характеризующихся технологией изготовления. Проявляется повышенное внимание к первичным данным с изучением их достоверности, воспроизводимости, согласовании

разнородных свойств. Развитие теплофизики сопровождается нарастающим производством новых данных, публикуемых в десятках журналов различного профиля. Современный этап характеризуется выделением систематизации данных в самостоятельное направление, наряду с экспериментом и теорией, а также повсеместным переходом от печатной формы к базам данных (БД).

Большой проблемой на пути интеграции теплофизических данных является многообразие форматов представления в отсутствие общепринятых рецептур и стандартов записи. Другим фактором является резкое расширение видов вновь изученных объектов при множестве факторов, определяющих их свойства. Проблемой является также необходимость удовлетворить нарастающие требования к аттестации неопределенности, представляя целый набор характеристик: стандартная неопределенность, доверительный интервал и т.п. Наконец, при работе с численными данными приходится учитывать, что в публикациях и БД используют несколько типовых форм, а именно: табличную, графическую и математическую (в виде хранимых формул или программных кодов). Графическая форма иллюстрирует характер зависимостей, рассеяние опытных точек и т.п. Табличная форма наиболее надежна в передаче данных, легко контролируема в отношении пропусков, ошибок в знаке или порядке величины и т.п. Математическая форма, избавляя от интерполяции, требует повышенной тщательности в обнаружении ошибок, легко вылавливаемых в табличной форме. Доминирующей формой в экспериментальных работах и справочниках является именно табличная, а математическая форма дополняет табличную, обеспечивая удобство для пользователя и работу вычислительных приложений.

Опыт множества прикладных проектов показал, что при крайнем многообразии тематики и типологии информационных ресурсов, наиболее практичным оказывается подход, сужающий исходные понятия и структуры для *ограниченной предметной области при сохранении потенциала расширения тематики и охвата все новых ресурсов*. Практические задачи облегчает то, что подавляющее большинство данных определяет один параметр, как правило, температура, поскольку свойства твердой и жидкой фаз в достаточно широком диапазоне проявляют слабую барическую зависимость.

При таком сужении предметной области интеграция данных делается относительно обозримой, хотя и здесь приходится учитывать крайнее многообразие вариантов, связанное с идентификацией вещества, принимаемой номенклатурой свойств, фазовым многообразием и т. п.

Таким образом, необходимо:

1. Построить модель предметной области, которая позволяла бы хранить в себе данные по теплофизическим свойствам веществ с учетом всего многообразия форматов.
2. Построить гибкую информационную систему, с возможностью расширения модели при ослаблении ограничений на предметную область.

3. Проанализировать пути по интеграции построенной модели со сторонними информационными ресурсами.

Реализованная модель включает в себя одиннадцать классов. Классы можно разделить на три типа:

1. классы предметной области: формализуют базовые понятие предметной области (например: химическое вещество, агрегатное состояние, неопределенность, единицы измерения и.т.д.)

2. классы описания физических измерений: формализуют понятия точка измерения, погрешность измерения.

3. классы описания документов с данными: формализуют понятия набора данных, источника данных.

Дальнейшие исследования направлены на достижение более глубокого уровня интеграции, включающего согласование структуры и семантики данных, что предполагает наличие общей информационной модели и общего словаря для определения смысла основных понятий. Терминологический словарь таких наук как физика, химия, материаловедение и др. достаточно формализован, чтобы лечь в основу онтологического описания, поэтому хорошим способом интеграции данных с учетом этих требований является онтология. Целью является стандартизация процессов обмена и интеграции данных по теплофизическим свойствам в рамках онтологического моделирования.

4. Заключение

Российское научное сообщество и, в том числе, Российская академия наук, первыми в нашей стране оценили перспективы, которые может предоставить Интернет, и поддержало не только внедрение и освоение уже существующих продуктов, но и собственные разработки и исследования в этой области. Следует отметить роль и Российского фонда фундаментальных исследований, поддержавшего эту инициативу в труднейшее для научного сообщества время.

За период с 1994 по 2006 год были реализован целый ряд масштабных проектов в области научных телекоммуникаций, которые обеспечили создание полноценной Интернет инфраструктуры в масштабах всей страны.

Создание такой инфраструктуры практически сразу стимулировало множество проектов, нацеленных на создание доступных через нее информационных систем. Это породило и задачу интеграции данных, в едином информационном пространстве, что значительно облегчало доступ к данным. На решение этих задач и были направлены проекты, которые обсуждались выше. Таким образом реализовывалась концепция Информационного пространства РАН. Результаты этой работы свидетельствуют о том, что это были довольно успешные годы. Это подтверждается и тем, что Россия была принята в члены Европейской научной сети GEANT (2004 г.), была участником

многих глобальных проектов, таких как LHC, ICAI, SPIDR и др. РАН в эти годы играла ведущую роль в отечественном научном Интернет сообществе.

Оставался ряд проектов, которые по финансовым и (отчасти) административным причинам оставались незавершенными. В том числе и проект создания Центра широкополосного спутникового доступа по финансовым причинам так и остался на бумаге, хотя его реализация могла обеспечить оперативный доступ и надежное сохранение важнейших данных.

Также необходимо отметить, что на базе, созданной за эти годы телекоммуникационной платформы, была проделана значительная работа по созданию информационных систем для обеспечения интеграции к информационным ресурсам РАН. К сожалению, работа по созданию единого информационного пространства РАН, (пилотный проект которого был удачно реализован), так и не была завершена. Хочется надеяться, что исследования и разработка методов сетевой интеграции ресурсов и сервисов научных организаций будут продолжены.

Литература

1. А. Н. Бездушный, А. Б. Жижченко, М. В. Кулагин, В. А. Серебряков. Интегрированная система информационных ресурсов РАН и технология разработки цифровых библиотек // Программирование, 4, М:2000.
2. Интегрированная система информационных ресурсов: архитектура, реализация, приложения. Коллектив авторов под редакцией В.А.Серебрякова. 2004 г. 240 стр.
3. А.А.Бездушный, А.Н.Бездушный, В.А.Серебряков, В.И.Филиппов. Интеграция метаданных Единого Научного Информационного Пространства РАН. Вычислительный центр РАН. Москва, 2006, 238 стр.
4. А.А.Бездушный, А.Н.Бездушный, А.К.Нестеренко, В.А.Серебряков, Т.М.Сысоев, К.Б.Теймуразов, В.И.Филиппов. Информационная Web-система «Научный институт» на платформе ЕНИП. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР ИМ. А.А.ДОРОДНИЦЫНА РАН, 257 стр. МОСКВА 2007.
5. Н.Е.Каленов, Г.И.Савин, В.А.Серебряков А.Н.Сотников Принципы построения и формирования электронной библиотеки «Научное наследие России» // Программные продукты и системы №4, 2012, с. 28-31.
6. О.М.Атаева, К.А.Кузнецов, В.А.Серебряков, В.И.Филиппов. Портал интеграции пространственных данных “ГеоМета”. Препринт ВЦ РАН, 2010 г. 106 стр.
7. О.М.Атаева, В.А.Серебряков. Персональная цифровая библиотека Libmeta, как среда интеграции связанных открытых данных. Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции: Всероссийская научная конференция RCDL-2014 (Дубна, 13–16 октября 2014 г.): труды конференции / сост. Л. А. Калмыкова, М. Р. Когаловский. - Дубна: ОИЯИ, 2014, стр. 66-71.

8. Серебряков В.А., К.Б. Теймуразов, Р.И. Хайруллин, А.О. Еркимбаев, В.Ю. Зицерман, Г.А. Кобзев, М.С. Трахтенгерц. Система интеграция данных по теплофизике. Инфраструктура научных информационных ресурсов и систем. Сборник научных статей под ред. д.т.н. Е.Б. Кудашева и д. ф.-м. н. В.А.Серебрякова. Москва, ВЦ РАН, 2014.

Разделы 1. и 2. подготовлены по материалам Отчетов по Целевой программе Президиума РАН «Телекоммуникации».