

РАЗВИТИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ ИНТЕГРИРОВАННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ СИБИРИ*

Е. П. ГОРДОВ

*Сибирский центр климато-экологических исследований и образования,
Институт мониторинга климатических
и экологических систем СО РАН, Томск, Россия
e-mail: gordov@scert.ru*

В. Н. ЛЫКОСОВ

*Институт вычислительной математики РАН, Москва, Россия
e-mail: lykossov@inm.ras.ru*

An analysis of interrelations between modern environmental investigations and information technologies is presented. Up-to-date understanding of the Integrated Regional Study (IRS) as a holistic entity in the context of the Earth System study is described with special emphasis on the role of information-computational technologies, which form the basis and infrastructure for the IRS. The state of art of Siberia Integrated Regional Study (SIRS) is analyzed. In particular, general approach adopted for SIRS information-computational infrastructure is considered in detail. Examples of the designed elements of this infrastructure are given and planned steps in its further development are discussed briefly.

Введение

В последнее десятилетие в научном процессе произошла значительная эволюция. Ранее научные знания получались либо одиночками, либо небольшими коллективами в процессе теоретической или экспериментальной работы и конечным результатом работы была научная публикация. Сейчас же помимо этого необходимо создавать большие базы данных наблюдений или моделирования, развивать вычислительные модели и иметь возможность почти мгновенно обмениваться информацией внутри коллектива,

*Работа выполнена при финансовой поддержке СО РАН (Интеграционный проект № 34 “Создание распределенной информационно-аналитической среды для исследований экологических систем”), Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 05-05-98010) и проектов 6-й Рамочной программы ЕС ENVIROMIS-2 (INCO-СТ-2006- 031303) и Enviro-RISKS (INCO-СТ-2005-013427).

© Институт вычислительных технологий Сибирского отделения Российской академии наук, 2007.

как правило, образованного большим числом мультидисциплинарных групп. Особенно это характерно для наук об окружающей среде, где данные наблюдений представляют для специалистов зачастую больший интерес, чем построенная на результатах их обработки научная публикация. Здесь специалисты оперируют с большими массивами данных, как экспериментальных (результаты измерений/наблюдений), так и теоретических (результаты численного моделирования). Для того чтобы иметь возможность ориентироваться в этих массивах, необходимо превратить их в информационные ресурсы, т. е. снабдить данные адекватными описаниями (метаданными), идентифицирующими конкретные результаты. Именно это и является областью приложений вычислительных и информационных технологий, в последнее время все чаще называемых “электронной” наукой (e-Science).

В настоящее время взаимосвязь наук об окружающей среде и информационно-вычислительных технологий уже стала неразрывной. Действительно, науки об окружающей среде все более активно превращаются в точные, и этот процесс идет по трем быстро развивающимся направлениям.

1. Разработка средств инструментальных наблюдений и становление новых технологий исследований и накопления массивов данных.

2. Создание математических моделей различных компонентов окружающей среды и численный прогноз их поведения.

3. Организация всей доступной информации об окружающей среде (больших массивов данных, моделей и алгоритмов и способов отображения этой информации) в информационные и информационно-вычислительные системы.

Ключевую роль во всех трех направлениях играют информационно-вычислительные технологии. Кроме того, разнообразие подсистем, формирующих окружающую среду, требует не только комплексного мультидисциплинарного подхода к изучаемым явлениям и процессам, но и некой единой платформы для их изучения. Такой платформой является соответствующая информационная модель, а необходимость не только понимать явления, но и прогнозировать их поведение требует широкого использования технологий вычислительного моделирования в качестве математического аппарата. Из того обстоятельства, что в формирование компонентов окружающей среды и в ход протекания процессов взаимодействия между ними вносят свой вклад явления, которые при рассмотрении по отдельности принадлежали бы к физике, химии, гидро- и газодинамике, биологии, экологии и т. д., следует также, что число профессиональных групп, выполняющих какой-либо проект, должно быть достаточно велико, а специфика самих задач показывает, что, как правило, они будут распределены в пространстве. И здесь без того “клея”, который могут предоставить современные информационно-вычислительные технологии, не обойтись. Можно сказать, что специфика рассматриваемых процессов и их взаимосвязи определяют особую роль вычислительных и информационных технологий, являющихся не только инструментом выполнения научных исследований, но и, по сути, образующих инфраструктуру, необходимую для их выполнения (см., например, [1–3]). Достаточно подробное изложение всех сторон взаимосвязей информационно-вычислительных технологий и наук об окружающей среде содержится также в тематических выпусках журнала “Вычислительные технологии” [4]. Добавим, что средой, в которой создаются ресурсы для коллективной работы с данными и моделями, является сеть Интернет, а все вышесказанное о науках об окружающей среде относится в первую очередь к региональным исследованиям, которые невозможно развивать без наличия современной информационно-вычислительной инфраструктуры.

В настоящее время в мире развивается три основных подхода к созданию распределенной информационной инфраструктуры для исследований окружающей среды. Проект ESMF (Earth System Modelling Framework)¹ направлен на создание единого стандарта для интерфейса и обращения отдельных компонентов, на которые разбивается вся цепочка описания поведения окружающей среды на локальном и глобальном уровне. Проект PRISM нацелен на обеспечение специалистов, занимающихся моделированием, единой программной инфраструктурой, позволяющей собирать модели системы Земля из отдельных блоков для изучения поведения подсистем (океан, атмосфера, поверхность и т. д.), проводить соответствующие вычисления и анализировать получаемые результаты. С нашей точки зрения, для поддержки всего набора исследований, выполняемых при всестороннем исследовании окружающей среды, более перспективен подход, предложенный Де Руром [5], в рамках которого каждое отдельное задание (например, усвоение/анализ данных или моделирование) представляется информационной системой, имеющей три уровня (данные, информация и знание). Такой подход позволяет строить подобные информационные системы для выбранной тематической области на основе Интернет-технологий как элементы создаваемой инфраструктуры. Организация обмена данными и знанием между системами и должна приводить к созданию необходимой для проведения междисциплинарных исследований окружающей среды информационно-вычислительной инфраструктуры. Примером реализации такого подхода является web-портал для атмосферных наук АТМОС [6]². Портал является интегрированным множеством распределенных, но согласованных тематических web-сайтов, комбинирующих стандартную мультимедийную информацию с исследовательскими базами данных, инструментами для использования, аналитическими моделями и средствами визуализации. Основной темой является физика и химия атмосферы, включая спектроскопию атмосферы, аэрозоли, радиацию, а также прикладные области оценки и управления качеством воздуха, моделирования и оценки климатических изменений в окружающей среде.

1. Интегрированные региональные исследования

В последнее время региональный аспект исследований глобального изменения климата привлекает все большее внимание исследователей и соответствующих национальных и международных программ. В частности, региональный подход к исследованиям важен с точки зрения наук об окружающей среде. Наблюдаемые изменения региональных биофизических, биохимических и антропогенных компонентов могут привести к последствиям на глобальном уровне, т. е. изменения в окружающей среде регионов могут создавать “бифуркационные” точки, в которых небольшие изменения в региональных системах могут привести к глубоким изменениям функционирования всей системы Земля. В связи с этим особое значение приобретают интегрированные региональные исследования (ИРИ) глобальных изменений.

Интегрированные региональные исследования в районах экстремального проявления таких изменений глобального климата, последствия которых могут изменить функционирование всей климатической системы, предложенные в 2002 г. МГБП и Партнерством наук о системе Земля (Earth System Science Partnership, ESSP,

¹<http://www.esmf.ucar.edu/>

²<http://atmos.scert.ru/> и <http://atmos.iao.ru/>

<http://www.essp.org/>), — это комплексный подход к реконструкции поведения системы планеты Земля по характеристикам ее компонентов, дополняющий подход тематических проектов, который до сих пор применяется в международных программах по глобальным изменениям [7].

Инициатива МГБП, направленная на организацию интегрированных региональных исследований в наиболее важных регионах планеты, предполагает соблюдение ряда требований на такие исследования, а именно:

- разработка концепции региона как целостной единицы в контексте Земной системы;
- поддержка устойчивого развития в регионе;
- качественное и количественное изучение глобально-региональных связей и последствий изменений в этих связях.

При этом интегрированные региональные исследования в каждом регионе должны отражать индивидуальные характеристики, интересы, научные возможности региона и давать ответы на общие вопросы:

- каким будет регион, скажем, через 50–100 лет?
- какими будут для региона последствия ожидаемых изменений?
- каковы будут последствия для Земной системы?

Понятие “интегрированные” в ИРИ включает *горизонтальную* интеграцию, т. е. исследование элементов и процессов в регионе, и *вертикальную* интеграцию, т. е. изучение двухсторонней связи между регионом и глобальной системой. Единственный существующий пример ИРИ — крупномасштабный биосферно-атмосферный эксперимент в Амазонии. В настоящий момент в нем принимают участие 80 тесно связанных и координируемых исследовательских групп, объединяющих 600 ученых из Северной и Южной Америки, Европы и Японии [8]. Учитывая приведенные выше требования к ИРИ, количество такого рода проектов может быть невелико, по-видимому, пять–шесть, и, согласно позиции МГБП, один из них должен быть посвящен изучению поведения окружающей среды Северной Евразии/Сибири.

2. Интегрированное региональное исследование Сибири (ИРИС)

Сибирь — это один из районов, перспективных для организации таких фундаментальных и прикладных региональных исследований динамики окружающей среды. В настоящее время именно здесь наблюдаемые следствия глобального потепления выражены наиболее остро [9]. Действительно, аномальный рост зимних температур во второй половине прошлого столетия [10] наиболее сильно выражен в Сибири. Эта тенденция подтверждается результатами моделирования климата для XX–XXII столетий [11].

Этот процесс может изменить динамику всей природно-климатической системы за счет высвобождения большого количества парниковых газов. Хотя исследованиям современной динамики окружающей среды Сибири посвящено значительное число проектов, поддерживаемых национальными (в том числе и программами РАН и СО РАН) и международными (ЕС, IGBP-2, NEESPI и др.) программами, поведение основных компонентов региональной климатической системы известно лишь приближенно. Региональные бюджеты важнейших парниковых газов CO_2 и CH_4 все еще экстраполируются по измерениям, выполняемым лишь в нескольких местах. Реакция бореальных лесов

и болот Сибири на изменение климата, равно как и возникающие при этом обратные связи, влияющие на динамику климата через обмены энергией, влажностью, моментом, парниковыми газами и аэрозолями, до сих пор недостаточно хорошо определены [12]³.

Как уже упоминалось, процессы потепления могут существенно изменить региональный баланс парниковых газов и за счет этого повлиять на динамику всей природно-климатической системы Земли. К тому же Сибирь является глобально значимой кладовой углеводородов и других полезных ископаемых, добыча которых интенсивно развивается, а наблюдаемые региональные следствия глобального потепления, наиболее остро выраженные в этом регионе, ставят под угрозу разрушения всю добывающую и транспортную инфраструктуру за счет таяния вечной мерзлоты. Именно этим обусловлен интерес национального и международного сообщества к изучению различных аспектов поведения окружающей среды Сибири.

Так, в 2003–2005 гг. в Сибирском отделении РАН выполнялось 11 междисциплинарных и 7 комплексных интеграционных проектов, в той или иной мере посвященных изучению динамики окружающей среды региона. Крупные тематические проекты по этому направлению финансируются Российской академией наук, ЕС, МНТЦ, НАСА, Обществом Макса Планка и другими организациями. Именно этими обстоятельствами обусловлена высокая международная активность по изучению различных аспектов поведения окружающей среды Сибири. Лидирующую роль здесь играют специалисты из Европы. В частности, в Сибири выполнено несколько крупных проектов ЕС, направленных на изучение динамики различных компонентов окружающей среды Сибири, таких как “Multi-sensor concept for Greenhouse Gases Accounting in Northern Eurasia” (Siberia 2)⁴, “Terrestrial Carbon Observation System — Siberia”⁵. В настоящее время в рамках МНТЦ выполняется финансируемый Обществом Макса Планка проект “Zotino Tall Tower Observation” (ZOTTO), направленный на изучение обмена растительности и атмосферы парниковыми газами. Международный институт прикладного системного анализа ведет работу в рамках проекта Forestry (IIASA)⁶.

Эти проекты сфокусированы на оценке роли сибирских лесов в глобальном кругообороте парниковых газов, оценке газовых эмиссий в атмосферу от лесных пожаров, реконструкции изменений климата с высоким временным разрешением на интервалах от столетий до тысячелетий, разработке новых систем космического слежения за состоянием и продуктивностью сибирских лесов. Ключевую роль в этих работах играют институты СО РАН. Однако до недавнего времени эти исследования не были скоординированы, что иногда приводило к дублированию исследований. Более того, как правило, результаты международных проектов становились известны региональному научному сообществу лишь в форме научных публикаций, а результаты соответствующих наблюдений и измерений характеристик окружающей среды, проведенных в ходе выполнения этих проектов, вообще оставались недоступными.

Многие институты СО РАН также ведут большую работу в этом направлении в рамках своей госбюджетной и инициативной тематики, но при сохранении существующей практики в силу разрозненности эти исследования вряд ли приведут к появлению цель-

³Дополнительные данные по современному состоянию окружающей среды Сибири могут быть найдены в сети Интернет по адресам: www.scert.ru/conferences/cites/2005/presentation/Presentation/Workgroup/ и www.scert.ru/files/1971d.pdf.

⁴<http://www.siberia2.uni-jena.de/index.php>

⁵http://www.bgc.mpg.de/public/carboeur/web_TCOS/

⁶<http://www.iiasa.ac.at/Research/FOR/index.html>

ной картины современных природно-климатических изменений в Сибири. Островками согласованных усилий в Сибирском отделении РАН являются несколько комплексных и интеграционных проектов Президиума СО РАН. Так, в 2003–2005 гг. Президиум Сибирского отделения РАН финансировал 12 комплексных и 11 междисциплинарных проектов, в той или иной степени направленных на изучение окружающей среды Сибири. Несмотря на значительные ресурсы, привлекаемые для работы в этом направлении, эффективность работы не очень велика, так как выделяемое финансирование недостаточно и отсутствует какая-либо координация между проектами. Для преодоления этих недостатков необходима специальная работа. Примером такой координации является инициированный ИМКЭС СО РАН междисциплинарный интеграционный проект “Сибирская геосферно-биосферная программа: интегрированные региональные исследования современных природно-климатических изменений”⁷, объединивший усилия 20 организаций Сибири и Москвы на изучение динамики региональной системы. То же можно сказать и о междисциплинарном интеграционном проекте “Комплексный мониторинг Большого Васюганского болота: исследования современного состояния и процессов развития”, который направлен на изучение динамики этого планетарно значимого образования и его роли в формировании регионального климата. В этом проекте участвовало 15 научных и научно-образовательных организаций Сибири. Важные направления по исследованию динамики отдельных компонентов атмосферы региона закрывались интеграционным проектом “Аэрозоли Сибири”⁸. Выяснению влияния городов на изменения гидротермодинамических свойств и состава атмосферы и воздействия этих изменений на качество жизни и здоровье населения региона был посвящен интеграционный проект “Экологические проблемы городов Сибири”.

Для упорядочения и структурирования дисциплинарных и междисциплинарных исследований окружающей среды и климата в Северной Евразии и Сибири в соответствии с рекомендациями Партнерства наук о системе Земля для ИРИ необходимо более общее видение самих региональных аспектов и их различных связей с глобальными аспектами изменений окружающей среды. Это требует как более широкого подхода к решению поставленных задач, так и вовлечения новых исследователей из других научных дисциплин и других регионов. Кроме того, необходим ряд организационных мер, направленных на создание структуры, поддерживающей ИРИС. Организующееся ИРИС в конечном счете должно ответить на следующие вопросы.

- Каковы основные черты изменений регионального климата Сибири (общий тренд, субрегиональные тренды и аномалии, взаимодействия между экосистемами, атмосферой и состоянием населения и т. д.)?
- Что является региональным источником этих изменений?
- Как они связаны с проявлениями глобальных климатических изменений?
- Как, в свою очередь, они влияют на последние?
- Каковы связи с окружающими субрегионами и регионами, такими как Средняя Азия, бассейн Аральского моря, Монголия, Арктика?
- Как региональное и субрегиональное моделирование может быть встроено в более глобальные модели?
- К каким результатам могут привести региональные сценарии, построенные в соответствии со сценариями межправительственной комиссии ИРСС?

⁷<http://sgbp.scert.ru>

⁸<http://www-sbras.nsc.ru/win/sbras/rep/rep2002/t1-2/64/64.htm>

- Каково ожидаемое физическое, биологическое и социально-экономическое воздействие согласно этим сценариям?
- Имеются ли подходящие социально-экономические модели для рассмотрения таких явлений?
- Имеется ли возможность замедлить негативные климатические изменения в регионе? И какой ценой?
- Какие действия должны быть предприняты для смягчения негативных воздействий климатических изменений? И какова их стоимость?

Ясно, что единственной структурой, уже внесшей существенный вклад в междисциплинарное изучение окружающей среды Сибири и способной инициировать такое интегрированное исследование, является Сибирское отделение РАН. Однако для реализации этих возможностей необходимы скоординированные действия на региональном, национальном и международном уровне. Начало таким действиям положила развивающаяся ИРИС инициативная группа, которая подготовила предложения, на основе которых было создано Сибирское отделение Национального российского комитета по МГБП (СО РНК) [13].

Создание СО РНК можно считать первым организационным шагом СО РАН по разворачиванию интегрированного регионального исследования окружающей среды Сибири в духе второго этапа МГБП и Партнерства наук о системе Земля. Выбрано пять направлений работы: биологическое (координация биосферных исследований); климато-экологическое (координация исследований современных природно-климатических изменений); палеоклиматическое (координация изучения палеоклимата Сибири); криологическое (координация изучения криолитосферы Сибири) и информационное (организация информационной поддержки исследований окружающей среды, хранение данных и доступ к ним). Организационная поддержка работы СО РНК МГБП⁹ возложена на ИМКЭС СО РАН и СЦ КЛИО.

На первом этапе разворачивания ИРИС исследования должны концентрироваться на следующих четырех направлениях:

- количественное определение бюджета парниковых газов наземной растительности (в особенности их обменов с атмосферой);
- мониторинг и моделирование региональных климатических изменений и их влияния на окружающую среду;
- создание информационно-вычислительной инфраструктуры ИРИС;
- разработка региональной стратегии по адаптации к климатическим изменениям и уменьшению их негативных последствий.

Выбранный СО РНК подход отражен в рекомендациях рабочей группы по ИРИС¹⁰. Они нацеливают научное сообщество региона в первую очередь на кластеризацию соответствующих интеграционных проектов СО РАН и установление связей с профильными программами на национальном и международном уровнях. Следующей задачей является формирование детального плана научных исследований в рамках ИРИС, объединяющего до сих пор разрозненные проекты в когерентную структуру, отражающую концепцию ИРИС. Следует добавить, что недавно появились более масштабные национальные и международные инициативы по разворачиванию подобного интегрированного исследования на территории всей Северной Евразии. Так, возникла совместная программа РАН (акад. А.С. Исаев) и НАСА (Д. Дириг), получившая название

⁹web-сайт <http://scert.ru/ru/SB/>, переписка, база данных и пр.

¹⁰<http://www.scert.ru/conferences/cites/2005/presentation/WorkgroupEng.html>

Northern Eurasia Environment Study Partnership Initiative (NEESPI), в рамках которой планируется скоординированное широкомасштабное изучение динамики окружающей среды Северной Евразии, в первую очередь бореальных лесов. Ясно, что ИРИС должно взаимодействовать как с национальными, так и с международными программами по исследованию окружающей среды Северной Евразии как целое. Выполняемые в Сибири в настоящее время интеграционные и международные проекты создают основу для развертывания интегрированного регионального исследования окружающей среды Сибири как международной программы координированных фундаментальных и прикладных исследований, в которой СО РАН играет ведущую роль, а СО РНК может рассматриваться как орган управления этой программой.

3. Информационно-вычислительная инфраструктура ИРИС

Выбранный подход к организации информационно-вычислительной инфраструктуры ИРИС опирается на создание распределенной системы тематических научных сайтов (портала), каждый из которых позволяет исследователю работать с данными, проводить вычисления и анализировать результаты.

Сложившаяся в СО РАН ситуация с данными по окружающей среде заслуживает отдельного обсуждения. При выполнении фундаментальных исследований в области наук об окружающей среде ученые конечным результатом своих исследований считают публикацию в научной литературе или отчет заказчику. В то же время для науки в целом и особенно для наук об окружающей среде все большее значение приобретают наборы данных, и, соответственно, управление этими данными (их менеджмент). Данные исследований действительно являются исходным материалом для публикации, но они также и самоценный ресурс. При соответствующей обработке, хранении данные в будущем могут быть повторно использованы для других исследований, а также для коммерческих и образовательных целей.

Данные об окружающей среде часто незаменимы; они всегда уникальны, хотя бы по времени их получения. Их сбор часто обходится очень дорого. По этим причинам необходима специальная работа по извлечению максимальной пользы от данных, полученных в результате каждого исследования. Для того чтобы данные были проинтерпретированы правильно, их необходимо снабдить детальным описанием — метаданными. Такое описание будет сделано на современном языке общего назначения для представления информации в Интернете: RDF (Resource Description Framework)¹¹. Следует добавить, что использование этого языка позволяет также организовать рациональную компьютерную обработку данных и упрощает решение задачи использования тех данных, которые считаются собственностью исследователей или их организаций. В последнем случае открытый доступ обеспечивается лишь к базе метаданных, содержащих адрес владельца и условия использования, а доступ к самим данным открывается лишь после получения разрешения их обладателя.

Второй особенностью работы с информационными ресурсами в рамках проекта является использование недавно принятых стандартов их описания (OWL Web Ontology

¹¹<http://www.w3.org/RDF/>

Language guide. W3C working draft, W3 Consortium, 2003¹²), включающих помимо RDF также язык семантической разметки для опубликования и совместного использования в Интернете онтологий: OWL (Web Ontology Language). Это обстоятельство позволит, по сути, перейти к семантическому Интернету, компонентами которого являются читаемые компьютерами ресурсы, допускающие, в частности, выполнение цепочки обработок.

При этом описание информационных ресурсов, сделанное с той точностью, которую позволяет человеческий язык, но в такой простой форме, которая понимается компьютерами, приводит к семантической интероперабельности, благодаря которой сервисы обработки и данные могут работать вместе даже в тех случаях, когда они кажутся совершенно различными и независимыми. Следует добавить, что, например, для атмосферных наук до сих пор не существует официальной онтологии, и работа в этом направлении может стать одним из первых шагов по созданию официальных стандартов соответствующих информационных ресурсов, пригодных для документирования профессиональным научным сообществом. Конечно, в этой работе должен учитываться опыт, накопленный в мире, в частности: в университете¹³, в группе BioPax (разделы биологии)¹⁴, в SchemaWeb, разрабатывающей RDF-схемы и OWL-онтологии¹⁵, а также в IEEE, где идет работа по созданию стандартной онтологии верхнего уровня¹⁶. В области стандартов для метаданных ситуация более утешительная. Здесь можно использовать уже существующие стандарты, такие как Dublin Core Metadata Element Set¹⁷, который дает современную спецификацию всех терминов метаданных, включая элементы, уточнения элементов, схемы кодирования и термины словаря¹⁸, Ecological Metadata Language¹⁹ и Content Standard for Digital Geospatial Metadata²⁰.

Примерами практического использования описанных выше подходов являются отдельные сайты портала АТМОС. В частности, RDF-схема и специально разработанная онтология используются в распределенной системе по молекулярной спектроскопии: Томск²¹, Санкт Петербург²², Нижний Новгород²³ [14–16]. Примером организации доступа к современным вычислительным ресурсам является сайт-портал, посвященный климату²⁴. Созданная вычислительно-информационная система предназначена для решения отдельных климатических и мезометеорологических задач и предоставления пользователю информации о результатах решения таких задач. Вычислительный компонент системы представляет собой глобальную модель общей циркуляции атмосферы, разработанную в Институте вычислительной математики РАН, свободно распространяемые региональные метеорологические модели MM5 и WRF, реализованные на высокопроизводительных вычислительных системах параллельной архитектуры.

Как следует из вышеизложенного, сайты портала АТМОС уже являются элементами создаваемой информационно-вычислительной инфраструктуры ИРИС. Существенным

¹²<http://www.w3.org/TR/2003/WD-owl-guide-20030331/>

¹³<http://www.aifb.unikarlsruhe.de/about.html>

¹⁴<http://www.biopax.org/>

¹⁵<http://www.schemaweb.info/default.aspx>

¹⁶<http://suo.ieee.org/>

¹⁷<http://dublincore.org/>

¹⁸<http://dublincore.org/documents/dcmi-terms/>

¹⁹<http://knb.ecoinformatics.org/software/eml/>

²⁰<http://www.fgdc.gov/metadata/metadata.html>

²¹<http://saga.atmos.iao.ru>

²²<http://atmos.molsp.phys.spbu.ru/>

²³<http://atmos.appl.sci-nnov.ru/>

²⁴<http://climate.atmos.iao.ru/>

информационным ресурсом по современному состоянию окружающей среды Сибири также будет сайт, созданный в ходе выполнения интеграционного проекта СО РАН “Сибирская геосферно-биосферная программа: интегрированные региональные исследования современных природно-климатических изменений” на той же основе²⁵. Существенным элементом инфраструктуры станет создаваемый в настоящее время сайт для оценки климатических изменений на территории Сибири²⁶. С помощью специально разработанных для этой информационной системы web-сервисов специалисты смогут анализировать ход климатических изменений как по результатам наблюдений (региональные метеоархивы), так и по результатам моделирования (данные реанализов, архивы данных моделирования климата).

С учетом международного характера исследований окружающей среды Сибири распределенная информационно-вычислительная инфраструктура должна включать элементы, создаваемые в ходе выполнения международных проектов. Например, в ходе выполнения проекта 6-й Рамочной программы ЕС ENVIROMIS SSA (Environmental Observations, Modelling and Information Systems Special Support Action, 2004–2005) сформирована основа для взаимодействия ведущих исследовательских организаций Беларуси, Казахстана, России, Украины и Узбекистана, работающих в области наук об окружающей среде, и создана открытая информационная система, предоставляющая доступ к соответствующим информационным ресурсам²⁷. В настоящее время в рамках нового проекта ENVIROMIS-2 начата работа по созданию распределенной информационной системы с узлами в Томске, Ташкенте и Севастополе. Планируется включение в создаваемую инфраструктуру базы данных/метаданных по климатическим характеристикам Сибири, созданной в рамках проекта NERIN (Northern Eurasia Regional Inventory Network). NERIN — Региональная информационная сеть по Северной Евразии — является неформальной сетью ученых и других специалистов, а также научных учреждений, сетей и проектов, работающих по тематике GOF-C-GOLD и NEESPI. В настоящее время имеется соответствующий сайт²⁸ проекта на русском языке, который открывает доступ к собранным российскими исследователями ресурсам. Значительный сегмент распределенной инфраструктуры планируется создать и в ходе выполнения проекта 6-й Рамочной программы ЕС “Man-induced Environmental Risks: Monitoring, Management and Remediation of Man-made Changes in Siberia” (Enviro-RISKS). Он нацелен на выработку научно обоснованного понимания экологических рисков, вызванных антропогенными факторами, их влияния на окружающую среду региона и определение оптимальных путей уменьшения этих рисков. Проект координируется Датским метеорологическим институтом и будет выполняться консорциумом из десяти профильных российских и европейских организаций, пять из них расположены в Сибири. В результате выполнения проекта будет создана распределенная информационно-вычислительная система с поддерживаемыми партнерами узлами в Томске (СЦ КЛИО и ИМКЭС СО РАН), Красноярске (ИЛ СО РАН), Новосибирске (ИВМиМГ СО РАН), Ханты-Мансийске (ЮНИИТ), Москве (НИВЦ МГУ/ИВМ РАН) и Алматы (КазГеоКосмос). Первая версия создаваемого портала доступна по адресу: <http://risks.scert.ru/>.

Близкие по подходам и целям информационные системы по отдельным компонентам окружающей среды региона развиваются и европейскими организациями, прово-

²⁵<http://sgbp.scert.ru/ru/>

²⁶<http://climate.risks.scert.ru/reanalysis/>

²⁷<http://enviromis.scert.ru/ru/>

²⁸<http://nerin.scert.ru/>

дьящими исследования в Сибири. В качестве примера можно привести проект Университета Фридриха Шиллера (Йена, Германия) SIB-ESS-C (Siberian Earth System Science Cluster). Создаваемая информационная система нацелена на широкое распространение данных и результатов выполненного проекта ЕС SIBERIA-II (Multi-Sensor Concepts for Greenhouse Gas Accounting of Northern Eurasia). Первые шаги, направленные на включение этого информационного ресурса в создаваемую инфраструктуру ИРИС, уже сделаны и можно надеяться, что этот сайт также станет ее элементом.

Предполагается, что на описанной выше основе за три года будут созданы базовые элементы распределенной информационно-вычислительной инфраструктуры, обеспечивающей на базе современных вычислительных технологий единое информационное пространство для междисциплинарных исследований окружающей среды. Эта инфраструктура будет обеспечивать удаленный доступ к ней представителей различных наук и организаций СО РАН, предоставление в объединенное пользование вычислительных ресурсов, программного обеспечения и соответствующих моделей, необходимых для накопления, хранения и анализа данных об окружающей среде Сибири в целом и в первую очередь об ее атмосферном компоненте. Первоочередными элементами этой инфраструктуры будут являться информационно-вычислительные системы, ориентированные на оценку региональных климатических изменений в Сибири и всесторонний анализ явлений, связанных с атмосферными аэрозолями.

Заключение

Конечно, полномасштабная информационно-вычислительная инфраструктура, способная поддерживать интегрированное региональное исследование такого масштаба, не может быть создана в рамках одного интеграционного проекта. Однако накопленный опыт и имеющиеся заделы позволяют нам надеяться на то, что в ходе его выполнения будут разработаны и оттестированы в приложениях ее ключевые элементы, адаптация которых к другим тематическим областям наук об окружающей среде и локализация дадут нам решение поставленной задачи.

Следует добавить, что создаваемая информационно-вычислительная инфраструктура ИРИС будет полностью опираться на информационно-телекоммуникационную сеть СО РАН. Благодаря работе Совета по информационно-телекоммуникационным ресурсам СО РАН существующая сеть уже позволит исследователям эффективно использовать эту инфраструктуру при изучении окружающей среды Сибири, а запланированное развитие сети СО РАН еще более облегчит доступ к распределенным информационно-вычислительным ресурсам.

Список литературы

- [1] КОГАЛОВСКИЙ М.Р. Научные коллекции информационных ресурсов в электронных библиотеках // Тр. Первой Всерос. конф. "Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии". СПб., 1999. С. 16–31.
- [2] Вязилов Е.Д. Информационные ресурсы о состоянии природной среды. М.: Эдиториал УРСС, 2001. 312 с.

- [3] ГОРДОВ Е.П., DE RUDDER A., ЛЫКОСОВ В.Н. и др. Веб-портал атмосфер как основа для выполнения интегрированных исследований по окружающей среде Сибири // Тр. Междунар. конф. “Вычислительно-информационные технологии для наук об окружающей среде — CITES 2003” / Под ред. Е.П. Гордова: Вычисл. технологии. 2004. Т. 9. Спецвыпуск. В 2 ч. Ч. 2. С. 3–13.
- [4] ЖУРН. “Вычислительные технологии”. 2004. Т. 9. Спецвыпуск. В 2 ч. и 2005. Т. 10. Спецвыпуск. В 2 ч.
- [5] DE ROURE D., JENNINGS N., SHADBOLT N. A Future e-Science Infrastructure. Report Commissioned for EPSRC/DTI Core e-Science Programme, 2001. 78 p.
- [6] GORDOV E.P., LYKOSOV V.N., FAZLIEV A.Z. Web portal on environmental sciences “ATMOS” // Adv. Geosci. 2006. Vol. 8. P. 33–38 (www.adv-geosci.net/8/33/2006/).
- [7] IGBP Newsletter N 50 June, 2002 IGBP II — Special Edition Issue.
- [8] GLOBAL-REGIONAL Linkages in the Earth System / Eds P. Tyson, R. Fuchs, C. Fu et al. Berlin, Heidelberg, N.Y.: Springer-Verlag, 2002. 270 p. (<http://lba.cptec.inpe.br/lba/indexi.html>)
- [9] МУРАТОВА Е.Н., ВАГАНОВ Е.А., БЕРГЕН К., АППС М. Международная конференция “Средообразующая роль бореальных лесов: локальный, региональный и глобальный уровни” и совещание рабочей группы GOFС/GOLD (Красноярск, Россия) // Лесоведение. 2003. Т. 6. С. 74–75.
- [10] ИПОЛИТОВ И.И., КАБАНОВ М.В., КОМАРОВ А.И., КУСКОВ А.И. Закономерности современных природно-климатических изменений в Сибири: наблюдаемые изменения среднегодовых приземных температур и давления // География и природные ресурсы. 2004. № 3. С. 90–96.
- [11] ДЫМНИКОВ В.П., ЛЫКОСОВ В.Н., ВОЛОДИН Е.М. и др. Моделирование климата и его изменений // Современные проблемы вычислительной математики и математического моделирования. М.: Наука, 2005. Т. 2. С. 36–173.
- [12] SCHULZE E.-D., PROKUSCHKIN A.G., ARNETH A. ET AL. Net ecosystem productivity and peat accumulation in a Siberian Aapa mire // Tellus. Ser. B. 2002. Vol. 54, N 5. P. 531–536.
- [13] БЮЛЛЕТЕНЬ Российского национального комитета по МГБП. 2004. № 3. С. 30.
- [14] ВУКОВ А., FAZLIEV A., SINITSA L. ET AL Distributed Information System on Molecular Spectroscopy // Abstracts of the nineteenth colloquium on high resolution molecular spectroscopy, 11–16 Sept. 2005. Salamanca, Spain. P. 158–159.
- [15] РОДИМОВА О.Б., ТВОРОГОВ С.Д., ФАЗЛИЕВ А.З. Онтологии для молекулярной спектроскопии атмосферных газов // Тр. 5-й Всерос. конф. “Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции”. СПб., 29–31 окт. 2003. СПб., 2003. С. 211–215.
- [16] КОЗОДОВЕВ А.В., ПРИВЕЗЕНЦЕВ А.И., ФАЗЛИЕВ А.З. Аннотирование информационных ресурсов в распределенной информационной системе по молекулярной спектроскопии // Тр. 10-й Байкальской Всерос. конф., “Информационные и математические технологии”. Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2005. С. 45–50.

Поступила в редакцию 11 мая 2007 г.