

# Обеспечение доступа к распределенным коллекциям научных данных через GRID инфраструктуру

Мишин Д.Ю.<sup>1</sup>, Жижин М.Н.<sup>1</sup>, Коковин Д.С.<sup>1</sup>, Медведев Д.П.<sup>1</sup>, Пойда А.А.<sup>2</sup>

Геофизический центр РАН  
[dimmm@wdcb.ru](mailto:dimmm@wdcb.ru)

## Абстракт

Для обеспечения доступа к геофизическим данным, представленным большим количеством разнородных распределенных реляционных баз данных большого объема оказалось эффективным использовать веб-сервисы данных, написанные для контейнера веб-сервисов данных OGSA-DAI. Данные представляют собой результаты наблюдений по метеорологии, космической погоде и физике твердой Земли.

Данный контейнер обеспечивает необходимую производительность и возможности доступа к данным различных клиентских приложений, а также дает возможность доступа к данным из сети. На его основе организован поиск данных по значениям, а также поиск с использованием нечеткой логики.

## Введение

В статье будет рассмотрен опыт создания системы для работы с распределенными коллекциями научных данных мировых центров данных с использованием инфраструктуры сети GRID, а также сторонних продуктов с открытыми исходными кодами.

Под GRID мы понимаем систему, обеспечивающую скоординированное разделение ресурсов и решение задач в динамически меняющихся виртуальных организациях со многими участниками.

В настоящий момент существует несколько реализаций GRID инфраструктуры, включающих в себя программные средства реализации различных GRID-служб и обеспечения доступа к ним:

1. Американская реализация - Globus Toolkit 4. [16]
2. Европейская реализация LCG2 и ее расширения gLite по проекту EGEE [18]
3. Европейский проект по созданию GRID-инфраструктуры Open Middleware Infrastructure Institute (OMII-Europe). [17]

Все эти проекты имеют одну цель – создание инфраструктуры для работы с ресурсами сети GRID.

Для обеспечения доступа к данным также создан пакет OGSA-DAI [10], входящий в состав Globus toolkit и OMII.

Под организацией доступа к научным данным мы понимаем следующее:

**Работа с метаданными:** включает в себя хранение метаданных в виде электронной библиотеки документов, поиск в метаданных по полям, загрузка и просмотр необходимых метаданных.

**Работа с данными:** хранение, выборка необходимых частей и загрузка в формате, пригодном для дальнейшей обработки, либо визуализация данных.

Также необходимо **разграничение доступа** к данным, регистрация и учет пользователей, контроль качества данных и возможности добавления новых данных администратором системы либо самими пользователями. В случае распределенной системы предпочтительным подходом может быть единая регистрация пользователей, которая позволит им пользоваться любой частью системы с единым логированием независимо от расположения системы.

В рассматриваемой системе работы с научными данными реализована одновременная работа с метаданными и с данными, которые они описывают. Такой подход значительно расширяет функциональность и повышает удобство работы с системой.

## Методы хранения и доступа к научным данным

Сейчас существуют несколько подходов к хранению научных данных:

**В виде коллекции файлов.** Доступ к коллекции файлов может осуществляться разными способами, от которых зависит удобство получения файлов, но данные всегда представляются в виде разрозненных файлов и функцией системы является только поиск необходимого файла и передача его пользователю. Возможен доступ к файлам по протоколу http, ftp. Также возможно создание каталогов файлов на основе специальных серверов каталогов. Например,

<sup>1</sup> Геофизический центр РАН

<sup>2</sup> Московский Государственный Университет

сервер THREDDDS позволяет создавать коллекции файлов поддерживаемых им форматов (NetCDF [4], HDF[5]) и выдавать данные из них в виде бинарного потока. Метод удобен для хранения данных, уже существующих в виде файлов или периодических обновляющихся через получение дополнительных файлов, так как он позволяет избежать конвертации из файлов в другие виды хранилищ и является естественным для большинства видов данных.

**В виде реляционной базы данных.** Удобен для хранения данных, которые хорошо укладываются в реляционную модель и позволяет задавать гибкие условия выборки данных в зависимости от выбранной структуры хранения. Объемы хранимых данных и скорость доступа к ним хорошо масштабируются в зависимости от потребностей. Однако для доступа к произвольной части массива клиенту необходимо писать сложный запрос на SQL, и в большинстве случаев нужна дополнительная трудоёмкая обработка результатов запроса. Структура реляционной базы в большинстве случаев не обеспечивает удобной выборки данных, а структура выходных данных обычно неудобна для последующей обработки.

**В виде XML базы данных.** Метод удобен для хранения метаданных и массивов символьных данных, а также данных, укладываемых в структуру XML-документа [9]. В силу специфичности и относительной новизны структуры хранения данных используется в узких областях.

В области наук о Земле типичной моделью хранения данных является грид точек (многомерный массив численных значений) или временной ряд (одномерный массив). Такая структура в реляционной модели может быть записана двумя способами:

**Бинарный массив (BLOB).** Данные хранятся без компрессии в виде последовательности чисел, и могут выбираться из таблицы только целиком массивом. Не существует механизмов обеспечения доступа к отдельным элементам массива или выборки его части. Также невозможно индексирование элементов внутри массива.

**В виде отдельных числовых значений.** При этом сильно возрастает объем базы данных и индексного пространства и происходит снижение производительности при работе со стандартными выборками больших объемов данных, сгруппированных по какому-либо параметру (например по непрерывному диапазону координат или времени). В зависимости от объема хранимых данных также возможно снижение производительности и при работе с небольшими выборками данных.

В настоящее время геофизические данные обычно хранят в виде коллекции файлов в формате, наиболее подходящем для данного вида данных или принятым сообществом. Такой подход снимает проблемы с ограниченностью структур для хранения данных. Формат файлов гибко

подстраивается под хранимые данные. Однако данный подход имеет ряд проблем, среди которых:

- Низкая скорость доступа.
- Наличие большого количества несовместимых между собой форматов файлов и программного обеспечения, обрабатывающего эти файлы. Многообразие структур хранения данных.
- Гранулированность файлов. Из-за необходимости хранения данных в отдельных файлах данные оказываются жестко разделенными между собой и объединение на стороне сервера затруднительно.
- Трудности поддержки целостности данных, разрозненность близких по сути массивов данных.

Большинство проблем доступа к такого рода данным решает использование веб-сервисов. Сервис пишется под конкретную структуру данных и оптимизирован для работы с ней. Веб-сервис предоставляет набор функций для удобной работы с данными, которые могут комбинировать запросы к различным хранилищам.

Интерфейс доступа к веб-сервисам унифицирован. Это протокол SOAP и различные надстройки над ним. Использование данного протокола дает возможность обращаться к сервису из различных клиентов или других сервисов и делает данный вид доступа многоплатформенным.

## GRID-сервисы

Использование веб-сервисов данных совместно с технологиями GRID дает дополнительные возможности и позволяет использовать всё многообразие сервисов сети GRID. Поэтому для доступа к данным платформой для системы был выбран контейнер сервисов данных OGSA DAI. DAI является стандартом представления источников данных в GRID и представляет собой надстройку над контейнером веб-сервисов AXIS. Он может работать как под сервером приложений Jakarta Tomcat, так и под сервером GRID-приложений WSRF, являющимся частью Globus Toolkit 4. Во втором случае DAI получает дополнительные возможности по работе с GRID ресурсами и запускается на узле GRID.

DAI контейнер поддерживает различные виды источников данных, среди которых есть реляционные и XML базы данных, которые представлены входящими в стандартный пакет ресурсами, но для удобного доступа к геофизическим данным, с учетом специфичной модели данных типа массив, оказалось необходимо написать свой тип ресурса данных. Он поддерживает собственную подходящую в данном случае структуру данных, совмещение данных и метаданных по ним и набор функций для использования метаданных при выборке данных.

Для поддержки контейнером OGSA DAI собственной модели данных, не представленной в стандартной поставке, необходимо написать

конфигурационные файлы и классы собственного dataResource, который предоставлял бы доступ к самим данным и позволял работать с ними внутри DAI, а также процедуры обработки этих данных и выдачи данных пользователю (активности). Ресурсы данных DAI могут отличаться списком поддерживаемых активностей, которые они могут выполнять. Для конечного пользователя каждый DAI ресурс представляется веб сервисом, которому могут направляться SOAP сообщения.

Результаты работы одной активности могут служить входными данными для другой при поддержке обоими активностями одного формата данных, что позволяет создавать и направлять потоки данных между сервисами.

В стандартную поставку OGSA DAI включены data resources и activities для работы с базами данных SQL и XML, файлами, HTTP и GRID-хранилищами данных. Однако из-за специфики работы с геофизическими данными для обеспечения доступа к ним потребовалось создание собственных расширений OGSA-DAI.

### Авторизованные сервисы данных

В качестве основных источников данных разработанной системы выступают следующие базы данных: табл. 1

Следует отметить сравнительно большой размер архивов, а также широкие временные рамки предоставляемой информации.

Архив метеорологических данных NCEP/NCAR [3] основан на численном моделировании погоды. Он содержит данные, привязанные к фиксированной координатной сетке, вычисляемые с постоянным шагом по времени. Модель использует процедуры сбора данных для включения данных наблюдений в результаты моделирования для создания целостной картины окружающей среды. С этими источниками данных удобно работать, поскольку фиксированный набор параметров и привязка к координатной сетке делают анализ сравнительно простым.

В базах данных для хранения архивов NCEP/NCAR мы применили специальную модель данных, оптимизированную для выборки сезонных временных рядов метеорологических параметров в отдельной точке координатной сетки. В отличие от принятой в метеорологии модели «параметр – отсчет времени – все значения параметра на сетке в это время» с сортировкой по ключу «параметр – отсчет времени» мы используем модель данных «параметр – узел координатной сетки – все значения параметра в интервале времени (напр., за год)» с сортировкой по ключу «параметр – узел координатной сетки» (рис. 12).

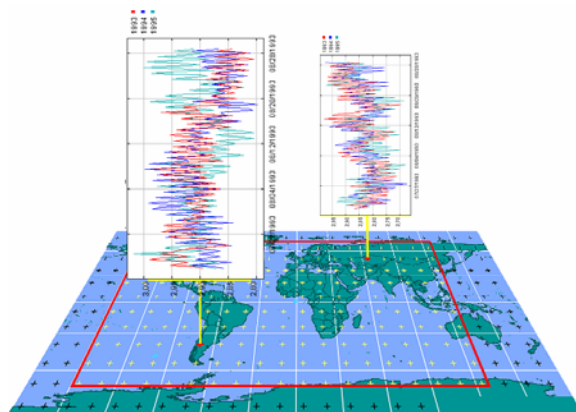


Рис.1. Модель данных в БД для хранения метеорологических архивов.

Если в такой модели данные за разные интервалы времени хранить на отдельных серверах в кластере баз данных, то становится возможной параллельная выборка длинного (возможно, сезонного) временного ряда сразу на нескольких компьютерах с последующей склейкой отдельных фрагментов на сервере приложений. Для кластера из  $N(=5)$  компьютеров и архива наблюдений за  $K$  лет (1950-2005),  $N < K$ , мы циклически размещаем архивы за каждый год на узлах кластера, как показано на рис. 2.

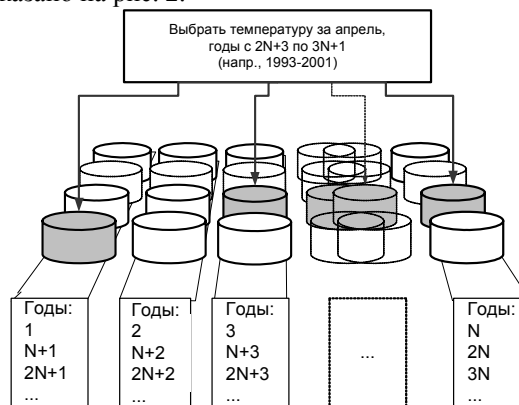


Рис.2. Схема кластера БД для хранения метеорологических архивов и интерактивного ресурса по солнечно-Земной физике SPIDR.

Второй источник, SPIDR [22], уникален в том, что он содержит данные наблюдений, а не результаты моделирования. Поэтому SPIDR не дает гарантий наличия или непрерывности требуемых данных. Система SPIDR в настоящее время содержит следующие данные: индексы солнечной активности, геомагнитные вариации и параметры ионосферы, параметры солнечного ветра и интенсивность космических лучей, параметры окружающей среды на геостационарных высотах по данным со спутников GOES, изображения Земли из космоса в видимом и инфракрасных диапазонах, полученные с американских спутников DMSP, и изображения Солнца в различных диапазонах.

Для обеспечения доступа к этим ресурсам в рамках проекта Environmental Search Scenario

Engine (ESSE) [1] был создан пакет расширения OGSA DAI, обеспечивающий выборку и трансформацию этих данных. Это ресурс данных (dataResource) – набор классов для виртуализации источника данных, а также активности – набор классов и конфигурационных файлов для преобразования полученных данных в форматы XML и NetCDF. Планируется также расширение типов источников данных базами данных XML, сервером THREDDS [6] и другими источниками. Это позволяет модульная архитектура OGSA-DAI, а также соглашения по единой внутренней структуре данных и архитектуре системы в целом. Схема системы показана на рис. 3.

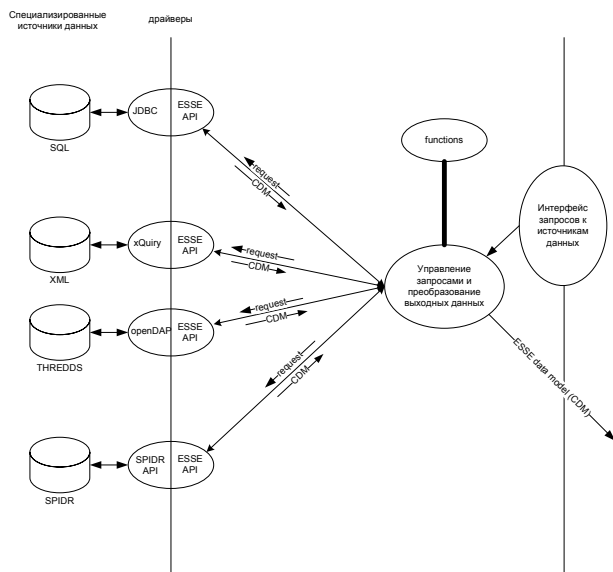


Рис.3. Схема системы доступа к ресурсам данных ESSE.

Список доступных источников данных может быть получен с сервиса данных. Возможно динамическое подключение и отключение источников данных, список которых хранится в реестре, и каждый из которых описан набором метаданных. Реестр также позволил задавать зеркала источников данных для минимизации расходов по пересылке данных и динамического распределения нагрузки.

Поиск необходимых данных возможен двумя путями.

### Поиск метаданных.

Например, пользователя интересует температура в какой-либо области Земли. Пользователь запрашивает поиск по метаданным нужного параметра, и система выдает список имеющихся источников с температурой. Далее происходит запрос данных стандартным для системы образом через интерфейс к системе.

Запрос анализируется, необходимые данные выбираются из источников данных через ассоциированные с источниками данных драйвера,

и преобразуются в общую внутреннюю модель данных. Для этого в OGSA DAI существует понятие data resource, которым в случае ESSE является вся совокупность подключенных источников данных. Нужный драйвер подгружается data resource'ом динамически.

С каждым data resource ассоциирован набор активностей, через которые и происходит вызов каких-либо действий сервиса данных. Это понятие представляет собой объект, которому на вход поступает XML-документ со структурой, определенной XSD схемой, называемый perform document. Этот документ является запросом, определяющим, какие активности вызвать, с какими параметрами, а также дает возможность управлять потоками данных из одной активности в другую. Далее согласно полученному perform document вызываются нужные активности, и данные исходящих потоков вызванных активностей передаются обратно клиенту. Таким образом, для запроса нужных данных достаточно вызвать ассоциированную с ESSE data resource активность, которая преобразует полученные от ресурса данные в нужный формат.

Основным форматом выдачи результата запроса данных является XML. Он был выбран в силу нескольких достоинств:

Легкая трансформация структуры документа средствами технологии XSLT [12]. Благодаря этому структура данных, выдаваемых одной активностью в виде XML может быть преобразована для удобной обработки и отображения различными устройствами с помощью XSLT-преобразований, выполняясь при запросе. К примеру, одни и те же данные о погоде могут поступать в полном виде включая несколько десятков параметров и 7-дневный интервал времени для отображения на HTML странице и обрезаться до трех параметров и двухдневного интервала для отображения через WAP браузер мобильного телефона. Также возможно преобразование XML-данных в HTML страницу. Исходный XML формат данных в данном случае является преимуществом, так как нет необходимости в задействовании JavaScript для хранения и отображения данных – всё выполняется движком XSLT на основе заданных правил преобразования.

Универсальность и платформенезависимость. Средства для работы с документами XML существуют на любых платформах, что позволяет получать данные любым клиентом.

Относительно большой объем результирующего документа может быть уменьшен компрессией данных. Компрессия может выполняться в том числе и средствами самого OGSA DAI (существует стандартная активность, архивирующая исходящий поток по алгоритму gzip [13]).

Активность	Описание	Размер, Кб
getNetCdfData	Бинарный NetCDF файл	924.5
getXmlData	Ответный документ, содержащий данные в XML формате	1,771.1
getXmlData+gzipCompression	Ответный документ, содержащий данные в XML формате, закодированные base64 и сжатые gzip	123.5

Также экспорт данных возможен в формате NetCDF. Данный формат позволяет хранить большие массивы численных данных и осуществлять выборку необходимых частей массивов, а также связывать их по индексам и метаданным. Для экспорта в NetCDF используются стандартные Java-библиотеки UCAR, вызываемые через написанную активность.

### Поиск сценариев

При работе с геофизическими данными также требуется поиск не только событий в известном месте в известное время, но также и поиск событий с заданными критериями на данные. Для выполнения этой задачи был написан пакет классов FuzzySearch activity, выполняющей поиск события по заданным нечетким критериям – нечеткий поиск (Fuzzy search). Эта активность не привязана к определенному типу data resource, что делает систему поиска данных очень гибкой. Возможен поиск погодных сценариев по нескольким параметрам, данные по которым предоставлены любыми поддерживаемыми активностями. Это достигается соединением исходящих потоков нескольких активностей на входе FuzzySearch activity.

В более сложном случае возможен поиск по данным от нескольких OGSA-DAI ресурсов. Часть сценария запрашивается на удаленном сервере и затем совмещается с остальными данными на входе поискового движка.

### Переносимость технологии

Приложение OGSA-DAI написано на Java и поставляется с открытым исходным кодом. Существуют вариации продукта, имеющие немного отличающиеся внешние интерфейсы: WS-I совместимый интерфейс для запуска под Jakarta Tomcat и WSRF интерфейс для инсталляции в Globus 4.0 контейнер. Общая архитектура сервера включая компоненты, представляющие движок ESSE, представлена на рис. 6.

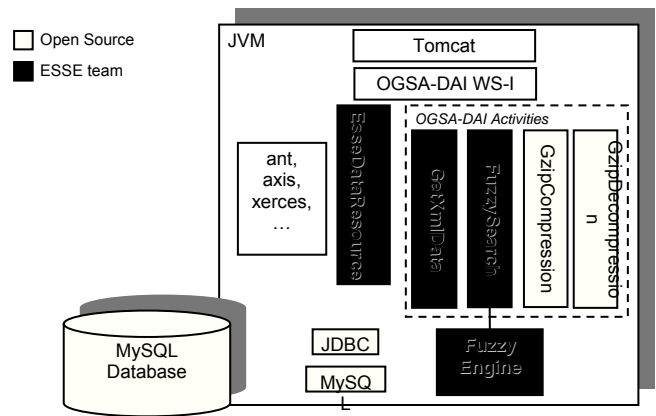


Рис. 6. Архитектуры системы open source

Для создания действительно платформы независимой системы наша группа создала OGSA-DAI.NET, облегченный OGSA-DAI совместимый компонент, использующий инфраструктуру веб-сервисов Microsoft ASP.NET [14] (рис. 7). OGSA-DAI.NET и OGSA-DAI имеют одинаковые внешние и внутренние интерфейсы. Один пользовательский интерфейс может использовать любую из платформ. Одинаковый Java/J# код ESSE activities может запускаться и на открытых платформах, и на платформе Microsoft.

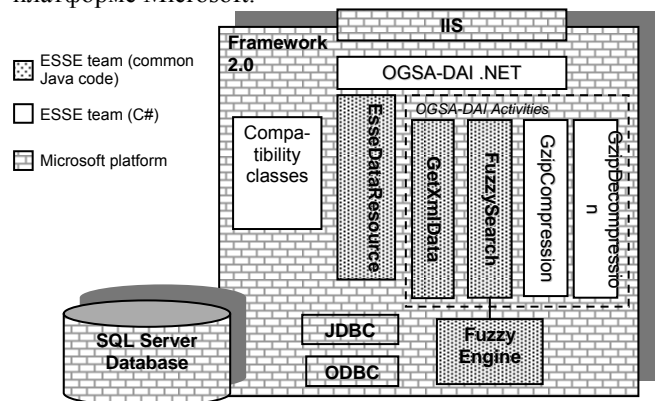


Рис. 7. Архитектуры системы Microsoft

Microsoft .NET Framework включает расширенный набор классов, замещающих многие стандартные open source библиотеки, такие как библиотеки обработки XML, что позволяет легко создавать классы, обеспечивающие портирование исходного кода этого проекта.

### Заключение

Была создана распределенная система доступа к базам геофизических данных, охватывающих метеорологию, космическую погоду и физику твердой Земли. Узлы системы находятся в нескольких странах (Россия, США, Африка, Китай, Япония, Австралия). Показана эффективность работы системы для ряда приложений. Модель данных, используемая системой, более гибкая и удобная для использования, чем реляционная модель.



На текущий момент система не является стандартом для геофизических данных, что является препятствием для ее широкого внедрения.

Каждый год появляется 1-2 новых базы данных и 1-2 узла в других странах. Количество зарегистрированных участников системы составляет около 20000 человек, и 100-200 сеансов в день через портал системы позволяют с уверенностью говорить, что система жизнеспособна, развивается и востребована.

## Благодарности

Проект был выполнен при поддержке Microsoft Research Cambridge, грант 2005-039 и Российского фонда фундаментальных исследований, грант 04-07-90362.

## Литература

- [1] Environmental Search Scenario Engine, <http://esse.wdcb.ru>
- [2] NASA Global Change Master Directory: <http://gcmd.nasa.gov/>
- [3] Kalnay, E., et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 77, 1996, 437-471; Web site: <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/>
- [4] UNIDATA NetCDF machine-independent self-describing scientific data format and interface: <http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/>
- [5] NCSA HDF machine-independent self-describing hierarchical data format: <http://hdf.ncsa.uiuc.edu/>
- [6] UNIDATA THREDDS (Thematic Realtime Environmental Distributed Data Services) server: <http://www.unidata.ucar.edu/projects/THREDDS/>
- [7] OpenDAP network array-oriented data access protocol: <http://www.opendap.org/>
- [8] UNIDATA Common Data Model: <http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/CDM/>
- [9] XML (eXtensible Markup Language) text file format: <http://www.w3.org/XML/>
- [10] K. Karasavvas, M. Antonioletti, M.P. Atkinson, N.P. Chue Hong, T. Sugden, A.C. Hume, M. Jackson, A. Krause, C. Palansuriya. Introduction to OGSA-DAI Services. *Lecture Notes in Computer Science*, Volume 3458, Pages 1-12, May 2005; Web site: <http://www.ogsadai.org.uk/>
- [11] Nieto-Santisteban, M., Szalay, A., Thakar, A., O'Mullane, W., Gray, J., and Annis, J. When Database Systems Meet the Grid. *Microsoft Research Technical Report MSR-TR-2004-81*, Microsoft Research Redmond, WA, 2004. <ftp://ftp.research.microsoft.com/pub/tr/TR-2004-81.pdf>
- [12] XSLT XML transformations language: <http://www.w3.org/TR/xslt>
- [13] P. Deutsch. GZIP file format specification version 4.3. RFC 1952. <http://www.ietf.org/rfc/rfc1952.txt>
- [14] Microsoft .NET Framework: <http://msdn.microsoft.com/netframework/>
- [15] Apache web-services Axis container: <http://ws.apache.org/axis/>
- [16] WSRF Globus Toolkit 4: <http://www.globus.org/toolkit/>
- [17] OMII (Open Middleware Infrastructure Institute): <http://www.omii.ac.uk/>
- [18] EGEE gLite: <http://glite.web.cern.ch/glite/>
- [19] Jang, J.-S. R., Sun, C.-T., Mizutani, E. *Neuro-Fuzzy and Soft Computing*, Prentice Hall, 1997
- [20] Yager, R. On a general class of fuzzy connectives. *Fuzzy Sets and Systems*, 4, 1980, 235-242
- [21] Yager, R. On the measure of fuzziness and negation, part I: membership in the unit interval. *International Journal of Man-Machine Studies*, 5, 1979, 221-229
- [22] Space Physics Interactive Data Resource – SPIDR: <http://spidr.ngdc.noaa.gov>

Источник данных	Примерные параметры	Временное покрытие	Покрывтие поверхности	Размер, гигабайт
Метео NCEP/NCAR реанализ	Температура, скорость ветра, облачность	1948 – настоящее время	Глобальное с шагом 2.5 градуса	250
Космическая погода SPIDR	Геомагнитные индексы, количество солнечных пятен	1933 – настоящее время	Глобальное станциями или спутниками	30

Табл. 1. Источники данных ESSE