

# Вариации магнитного поля Земли как составной элемент баз данных космических экспериментов по физике магнитосферы

© А. Зайцев, В. Петров, В. Одинцов, В. Шилимов

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова  
Российской академии наук (ИЗМИРАН)  
zaitsev@izmiran.ru

## Аннотация

В данной работе рассмотрена структура БД некоторых современных космических экспериментов (Интербол, Кластер и Фемида) и оценена роль данных о вариациях магнитного поля Земли при формировании этих баз данных. Для исследований физических явлений в магнитосфере традиционным является использование координированных как спутниковых, так и наземных данных. Предложено рассматривать сеть наземных обсерваторий как комплексную систему датчиков, дающих сведения о взаимодействии планеты Земля с космической средой. На этой основе сделана оценка современного развития ИС и БД по космическим экспериментам по физике магнитосферы, оформившегося сегодня в виде самостоятельного направления по созданию и ведению электронных библиотек (ЭБ) и данных по комплексным космическим экспериментам в виде открытых баз данных (БД) в поддержку программ по исследованиям магнитосферы. При этом все более широко используются элементы виртуальных обсерваторий и доступ к распределенным базам данных. Авторы данной работы выполняют грант РФФИ 07-07-00377 «Информационная система диагностики магнитосферы методом геомагнитных меридианов».

## 1 Постановка задачи

По мере того, как совершенствуются методики и техника координированных космических экспериментов, направленных на исследования магнитосферы, все более возрастает роль наземных наблюдений как составного элемента баз данных по таким экспериментам. Без детальной привязки к естественной системе координат – земному магнитному

полю – не представляется возможным провести качественную интерпретацию и анализ сложных явлений в космическом пространстве. На создание и ведение баз данных затрачиваются средства, сравнимые с теми, которые затрачены на подготовку и проведение космических экспериментов. Если данные первых космических экспериментов были авторскими, т.е. доступ к ним был возможен только в рамках сотрудничества с его создателями, то в настоящее время доступ к таким данным реализуется в режиме открытых источников. При этом реализовано два режима – режим реального времени (как пример – данные спутника АСЕ, данные по проектам Кластер и Фемида) и режим отложенного доступа, особенно в том случае, если требуется дополнительная проверка, калибровка или верификация данных (как например база данных по проекту Интербол). Но при всех случаях данные в полном объеме становятся доступными по сети Интернет в формате веб-сервисов [7–14]. Поэтому актуальным является создание ИС и БД в открытом доступе с развитым сервисным и программным обслуживанием.

## 2 Источники данных

Для исследований физических явлений в магнитосфере традиционным является использование координированных баз как спутниковых, так и наземных данных. В известном смысле сеть наземных обсерваторий представляет собой комплексную систему датчиков, дающих сведения о взаимодействии планеты Земля с космической средой. Здесь основными элементами выступают данные магнитных и ионосферных обсерваторий, а также специальные сети, включающие радиотехнические системы типа радаров некогерентного рассеяния, лидаров, сеть риометров в высоких широтах, сеть камер всего неба для наблюдений полярных сияний, сеть станций космических лучей, и т.д. [8–11]. По всем этим инструментам накапливаются базы данных, идет их развитие, создаются новые средства первичной обработки и отображения данных. Примером таких сложных систем могут служить программа Интермагнит, программа AMIE (Assimilative

---

Труды 10-й Всероссийской научной конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции» – RCDL'2008, Дубна, Россия, 2008.

Mapping of Ionosphere Electrodynamics), радары для диагностики ионосферы SuperDARN, см. <http://superdarn.jhuapl.edu/index.html> и т.д. По всем этим программам создаются БД и открытые справочно-информационные системы, а сами данные входят составным элементом в интегрированные базы данных по космическим экспериментам.

При этом число таких исходных баз данных с одинаковым типом данных может быть довольно велико. Для наземных геомагнитных данных в данной статье приведены ссылки на 5 источников собранных в базы геомагнитных данных, а если учесть отдельные обсерватории, данные которых доступны через Интернет, то общее количество источников данных достигает нескольких десятков. Если учесть, что, как правило, все эти источники имеют разную структуру самих баз и используют разные форматы хранения данных, то становится необходимой разработка отдельной управляющей СУБД, которая может формировать запросы к исходным базам и предоставлять пользователю выборку по всем оригинальным источникам данных.

### 3 Направление работы

В данной работе сделана попытка представить описание современного развития ИС и БД по космическим экспериментам по физике магнитосферы, оформившегося сегодня в виде самостоятельного направления по созданию и ведению электронных библиотек (ЭБ) и данных по комплексным космическим экспериментам в виде открытых баз данных (БД) в поддержку программ по исследованиям магнитосферы. Примером современных БД можно считать результаты работ по проектам Интербол, Кластер, THEMIS. Во всех этих экспериментах данные по вариациям магнитного поля служат отправной точкой при анализе отдельных уникальных событий или основным признаком при типизации или классификации наблюдаемых явлений. Геомагнитные индексы  $K_p$ ,  $A_E$  и  $Dst$  являются в этих БД основой для оценки состояния магнитосферы Земли и базовым признаком (репером) при статистических исследованиях. Нами рассмотрена структура БД современных космических экспериментов и оценена роль данных о вариациях магнитного поля Земли при формировании этих баз данных. Кроме того, проведена оценка состояния известных баз данных (БД) по вариациям магнитного поля и намечена перспектива использования этих БД в конкретных исследованиях, в том числе по грантам РФФИ. Авторы данной работы выполняют грант РФФИ 07-07-00377 «Информационная система диагностики магнитосферы методом геомагнитных меридианов».

### 4 Инструменты ведения и пользования БД

Важным аспектом создания и развития ЭБ и БД является разработка стандартных инструментов и пакетов программ для работы с этими базами дан-

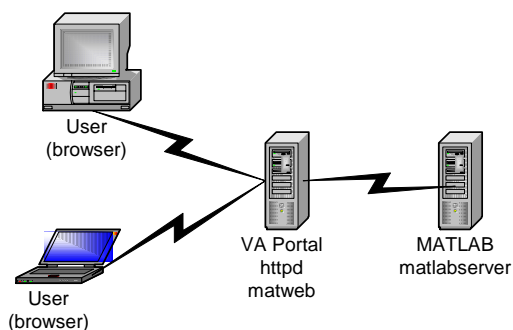
ных. Все инструменты делятся на две группы: первая группа – специализированные для первичной обработки данных конкретных приборов, будь то приборы на спутниках или сложные радиосистемы на Земле. Вторая группа использует пакет стандартных программ, обработки и анализа данных, из которых наиболее известны и распространены MATLAB и IDL. Пакеты хорошо разработаны, свободно распространяются в нашей стране на коммерческой основе, и активно используются специалистами по физике магнитосферы. Такой пример имеется в ИЗМИРАН, где используется MATLAB веб-сервер для работы с наземными геомагнитными данными, см. <http://matlab.izmiran.ru/magdata/>. Эта работа была выполнена в рамках гранта РФФИ 03-07-90066 "Интерактивный WEB-ресурс для адаптивной обработки экспериментальных данных на основе инструментального средства MATLAB Web Server". В рамках этого проекта был открыт веб-сервис, позволяющий вести обработку данных виртуального архива в интерактивном режиме с использованием всех возможностей вычислительной среды MATLAB. Эти же методики и инструменты могут быть использованы для работы и с другими типами наземных и космических данных.

Виртуальные архивы, в их нынешнем понимании, рассматриваются лишь как средства поиска и загрузки данных для обработки пользователем. В лучшем случае к ним могут быть добавлены программы начальной обработки и графического представления запрошенных данных. Для более сложной обработки данные должны быть загружены в вычислительную среду со всеми вытекающими проблемами совместимости форматов хранения данных и их представления в вычислительной среде.

Наиболее простой и эффективный способ избежать проблем согласования форматов заключается в создании универсального интерфейса между виртуальными архивами и развитыми системами математической обработки, такими, например, как MATLAB и IDL. В качестве примера можно привести интерактивный WEB-ресурс для обработки геофизических, данных, разработанный в ИЗМИРАН на основе стандартного пакета MATLAB Web Server (MWS). MWS работает в сети Интернет по сетевому протоколу TCP/IP и обеспечивает, с одной стороны, обмен данными между базами данных и вычислительной средой для их обработки и, с другой стороны, передачу пользователю результатов обработки данных и их отображение с помощью стандартного Web-браузера. Причем, пользователь, база данных и вычислительная среда могут находиться в совершенно различных местах, связанных между собой лишь посредством Интернет.

Установка необходимого оборудования и программных средств, обеспечивающих функционирование MWS, требуется только на специально выделенном сервере. В общем случае Web-браузеры пользователей работают на клиентских машинах (их может быть любое количество), в то время как

MATLAB, MWS и сетевой сервер (httpd) запущены на одном серверном компьютере. В более сложном случае сетевой сервер и базы данных могут располагаться на разных машинах.



В более сложном случае сетевой сервер и базы данных могут располагаться на разных машинах.

В качестве следующего шага предполагается полная интеграция виртуальных архивов с системами обработки данных. Эта интеграция должна быть прозрачной для конечного пользователя, и как можно более простой в использовании. В то же самое время она должна обеспечивать математическую обработку данных любой сложности, ограничиваемую лишь возможностями конкретной вычислительной среды, используемой для обработки.

В настоящее время существует большое количество разработанных специализированных пакетов MATLAB для обработки массивов данных в различных областях знаний. Однако их использование ограничивается кругом их разработчиков. Эти пакеты можно было бы преобразовать таким образом, чтобы их можно было находить и получить посредством поисковых систем и включить при необходимости в стандартные среды обработки. Это один из путей, ведущих к превращению виртуальных архивов (ВА) из простых средств хранения и поиска данных в эффективные средства виртуальной обработки данных – виртуальные лаборатории (ВЛ).

## 5 Авторские БД и опыт работы

Начиная с момента появления первых цифровых магнитно-вариационных станций, обеспечивших поступление регулярных данных с магнитных обсерваторий, в ИЗМИРАН были развернуты работы по созданию БД по вариациям магнитного поля Земли [1-2]. Первый этап этой работы был закончен в середине 90-х годов и первый CD-ROM был создан в 1995 году и размещен в сети Интернет, см. [www.iki.rssi.ru/magbase](http://www.iki.rssi.ru/magbase). Размещение на сайте ИКИ РАН было вызвано необходимостью использования этой БД в проекте Интербол. В последующий период времени эти работы были продолжены, несмотря на существенное сокращение числа сотрудников. Примером может служить работа ЦМВС-6 в обсерватории Москва и ЦМВС-2 на станции Мыс Шмидта. Эти данные входят в текущие БД и привлекаются для работ по другим космическим проектам. В

качестве основного инструмента для работы с БД нами был разработан многопользовательский интерфейс в среде MATLAB, который обеспечивает передачу данных по запросам пользователей из виртуального архива в вычислительную среду MATLAB и обратную отправку пользователям результатов обработки заданных временных рядов в виде графических образов или файлов, содержащих результаты обработки и данные для последующего анализа средствами пользователя, см <http://matlab.izmiran.ru/magdata/>. Таким образом, MATLAB Web Server обеспечивает возможность поиска данных в распределенных базах данных в соответствии с заданными критериями поиска, передачу отобранных данных в вычислительную среду MATLAB для обработки в соответствии с заданными параметрами обработки и представление результатов обработки в соответствии с заданными формами отображения результатов. Сравнительная простота подготовки интерфейсных HTML-форм и MATLAB приложений (m-файлов) для создания собственных математических конструкций обработки данных с поддержкой сложной графики, работающих в любом стандартном Web-браузере, обеспечивает доступ к данным и вычислительным ресурсам виртуального архива широкому кругу пользователей.

Другим примером создания и ведения баз данных в ИЗМИРАН может служить электронный каталог знаков секторной структуры межпланетного магнитного поля (СС ММП) за достаточно продолжительный период времени с 1957 г. и по настоящее время.

Секторная структура ММП (СС ММП) была открыта в 60-х гг. прошлого века путем анализа данных прямых космических измерений. Выдающуюся роль сыграл в этом открытии известный американский физик и инженер Н. Несс (N. Ness). В настоящее время определения СС ММП базируются на трех основных источниках данных: наблюдениях магнитного поля Солнца в солнечных обсерваториях (Стенфорд, Маунт Вилсон и Гавайи), измерениях на спутниках в солнечном ветре в точке L1 (ACE, WIND), и магнитных измерениях на Земле в полярной шапке (пара обсерваторий Восток – Резольют-Бей).

Основная физическая идея косвенного метода нахождения знака ММП была предложена независимо и одновременно российским магнитологом С.М. Мансуровым и датским исследователем Л. Свалгаардом. Она основана на том, что перестройка магнитосферы при переходе из сектора одного знака в сектор другого знака сопровождается перестройкой токовых систем магнитосферы – ионосферы. Оба названных исследователя решили задачу нахождения знака ММП путем анализа геомагнитных вариаций в приполюсных (полярных) регионах. При этом удалось составить каталоги знаков ММП за длительный промежуток времени практически без серьезных пропусков. Л. Свалгаард опубликовал каталог секторной структуры ММП, восстановлен-

ной для эпохи, предшествующей началу космических измерений. Большая заслуга в деле создания каталогов принадлежит С.М. Мансурову, который заложил основу метода регулярного определения знака секторов ММП по наземным измерениям, и, начиная с 1975 г. такая работа ведется в ИЗМИРАН постоянно. Регулярно пополняемый каталог знаков ММП доступен пользователям на сайте ИЗМИРАН: <http://www.izmiran.ru/stp/polar/SSIMF/>.

Принимая во внимание тот факт, что по данным спутников в точке либрации L1 ведется регулярное определение секторной структуры ММП (см. <http://omniweb.gsfc.nasa.gov/html/polarity/>), мы имеем возможность сравнивать ее с таблицами, получаемыми на основе наземных данных в полярных широтах и оценивать долговременные изменения в динамике солнечного ветра на орбите Земли. Методы определения знака ММП по вариациям магнитного поля Земли дают возможность, в принципе, охватить исследованиями интервал времени порядка столетия.

Влияние СС ММП на общее состояние активности геомагнитного поля наблюдается во всех обсерваториях, включая средне- и низкоширотные. Этот факт служит основанием для развития методов определения СС ММП по данным среднеширотной обсерватории Москва с целью уточнения таблиц СС ММП, определяемых по станциям в полярной шапке.

При развитии информационных систем (ИС) и баз данных (БД) напрашивается построение виртуальных обсерваторий. В качестве пробного шага усилиями сотрудников ИЗМИРАН и Массачусетского технологического университета США разработан проект виртуальной магнитной обсерватории для работы с базами геомагнитных данных [http://serv.izmiran.ru/webff/magdb\\_all.html](http://serv.izmiran.ru/webff/magdb_all.html) [17, 19]. В основу VGMO заложена технология промежуточного хранения данных во временных файлах, так называемых «flat file», создаваемых на сайте, где развернута виртуальная обсерватория.

Однако создание такой управляющей базы данных как WEB сервиса сталкивается с несколькими проблемами. Первой проблемой являются авторские права. Многие открытые источники данных позволяют воспользоваться ими любому пользователю по запросу и регистрации, но не разрешают их дальнейшее распространение. Второй проблемой является сетевая безопасность. Создать эффективную СУБД основанную только на http протоколе довольно сложно, а использование апплетов и создание прямых каналов связи (сокетов) между клиентом и сервером часто ограничивается администраторами сетей. В качестве способа разрешения этих проблем была создана так называемая stand along версия VGMO. Она должна устанавливаться на компьютере конечного пользователя как самостоятельное приложение. В этом случае обе указанные проблемы снимаются.

При работе с космическими данными важный момент – создание ресурсов не только для науки, но и

для образования. В этом направлении авторы предприняли ряд шагов, в частности была издана книга «Космическая среда вокруг нас» с приложением избранных ресурсов по солнечно-земной физике в виде CD-ROM «Космос вокруг нас» [6]. Эффективность использования геомагнитных данных при анализе результатов космических измерений подтверждена в многочисленных публикациях, ссылки на которые размещены на сайтах проектов Интербол [16], Кластер [18] и других ресурсах сети Интернет.

## 6 Заключение

Представленные сведения по развитию баз данных (БД) и информационных систем (ИС) в поддержку координированных космических экспериментов, направленных на исследования магнитосферы, подтверждают значимость наземных геомагнитных наблюдений как составного элемента баз данных по таким экспериментам. При этом все более широко используются элементы виртуальных обсерваторий и доступ к распределенным базам данных. Дальнейшее развитие баз данных идет по двум направлениям. Первое – все более широкое и универсальное строительство БД и ИС, где организован доступ к максимально возможным ресурсам. Как пример можно представить российский проект «Электронная Земля» или Единую информационную систему по фундаментальным космическим исследованиям (ЕИС – ФКИ), создаваемую в Академии наук. Второе направление – совершенствование инструментов и содержания конкретных БД данных по отдельным обсерваториям. По мере совершенствования линий коммуникаций, удастся организовать высокоскоростные соединения и доступ к большим объемам данных почти в реальном времени. Для успеха научных исследований наша работа развивает практику и перспективы развития ИС и БД как основы системы и разработки средств для диагностики магнитосферы методом геомагнитных меридианов. Настоящая работа представляет собой попытку дать введение к современным космическим проектам (описание состояния этих дел на русском языке) с учетом нашего опыта поддержки космических экспериментов наземными (геомагнитными) данными.

## Литература

- [1] Зайцев, А. Разработка Интернет ресурсов по солнечно-земной физике для науки и просвещения / А. Зайцев [и др.]. // Труды Четвертой Всерос. науч. конф. «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции RDCL-2002 (Дубна, 15–17 окт. 2002 г.) : в 2 т. – Дубна : ОИЯИ, 2002. – Т. 1 – 335 с. – С. 299–303.
- [2] А. Зайцев, В. Ишков, А. Козлов, В. Обридко, В. Одинцов, В. Петров, В. Назаров, М. Тихонова, Развитие Российских Интернет-ресурсов по

- солнечно-земной физике // Труды 5-й Всероссийской научной конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции» – RCDL2003, Санкт-Петербург, Россия, 2003.
- [3] Длужневская, О.Б. Российская виртуальная обсерватория. Информационная система Центра астрономических данных / Длужневская О.Б. [и др.]. // Труды Четвертой Всерос. науч. конф. «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции RDCL-2002 (Дубна, 15–17 окт. 2002 г.) : в 2 т. – Дубна : ОИЯИ, 2002. – Т. 1 – 335 с. – С. 202–212.
- [4] Вольфенгаген, В.Э. Создание и развитие российских информационных, вычислительных и телекоммуникационных ресурсов для поддержки фундаментальных научных исследований (анализ результатов работ, поддержанных грантами РФФИ) / В.Э. Вольфенгаген [и др.]. // Труды Четвертой Всерос. науч. конф. «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции RDCL-2002 (Дубна, 15–17 окт. 2002 г.) : в 2 т. – Дубна : ОИЯИ, 2002. – Т. 1 – 335 с. – С. 12–16.
- [5] Ахлестин, А.Ю. Сайт SOLTER – «Атмосфера и гелио-геофизическая обстановка в Сибири» / А.Ю. Ахлестин [и др.]. // Труды Четвертой Всерос. науч. конф. «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции RDCL-2002 (Дубна, 15–17 окт. 2002 г.) : в 2 т. – Дубна : ОИЯИ, 2002. – Т. 1 – 335 с. – С. 281–289.
- [6] Бутько Н., Зайцев А., Карпачев А., Козлов А., Филиппов Б. Космическая среда вокруг нас – введение в исследования околоземного космического пространства, книга и приложение на CD-ROM, издательство ТРОВАНТ, Троицк, с. 245, 2006.
- [7] Матлаб веб-сервер для работы с магнитными данными: <http://matlab.izmiran.ru/magdata/>.
- [8] Ресурс Интернет по геомагнитным данным СуперМаг: <http://supermag.jhuapl.edu> .
- [9] Геомагнитный меридиан 210 : <http://stdb2.stelab.nagoya-u.ac.jp/mm210/>.
- [10] Международный проект Интермагнит : <http://www.intermagnet.org/>.
- [11] Международный проект IMAGE – меридиан 105 : <http://www.ava.fmi.fi/image/>.
- [12] Сеть магнитометров на Аляске: <http://magnet.gi.alaska.edu/>.
- [13] Международный проект THEMIS (Фемида) : <http://themis.ssl.berkeley.edu/index.shtml>.
- [14] Международный проект Кластер, ЦУП : <http://www.jsoc.rl.ac.uk/jsocLinks.php>.
- [15] Наземная поддержка проекта Кластер : <http://www.wdc.rl.ac.uk/gbdc/gbdc.html>.
- [16] Международный проект Интербол : <http://www.iki.rssi.ru/interball/>.
- [17] Проект виртуальной магнитной обсерватории: [http://serv.izmiran.ru/webff/magdb\\_all.html](http://serv.izmiran.ru/webff/magdb_all.html).
- [18] Международный проект Кластер, публикации в реферируемых журналах: <http://sci.esa.int/science-e/www/object/index.cfm?fobjectid=39766>.
- [19] Papitashvili, V.O., Saxena A.B., Petrov V.G., C.R. Clauer, and Papitashvili N.E. A Virtual Global Magnetic Observatory: VGMO.NET, Earth, Planets and Space, 58, No. 6, 765–774, 2006.

### **Geomagnetic Field Variations as the Part of Data Base in the Space Experiments for Magnetosphere Physics**

A. Zaitsev, V. Petrov, V. Odintsov, V. Shilimov

In the paper we consider of some characters and demands in the structure of contemporary data bases of space experiments as INTERBALL, CLUSTER and THEMIS. We search of demands for geomagnetic field variations as the part included in the data bases for such space experiments. The network of ground-based instruments was served as the reference level for space experiments. The collected data of magnetic observatories also used for virtual archives. This work partially supported by RFBR grant 07-07-00377.