

Визуализация геомагнитных наблюдений спутников SWARM с использованием цифрового демонстрационного комплекса со сферическим дисплеем

О. В. Никифоров^{1,2}, А. И. Рыбкина¹, А. А. Соловьев^{1,2} и А. Е. Бобков³

Получено 5 декабря 2016 г.; принято 12 декабря 2016 г.; опубликовано 19 декабря 2016 г.

В статье обсуждаются существующие схемы построения устройств визуализации данных со сферическим экраном, описаны общие принципы подбора устройства для визуализации данных. Приведена структурная схема используемого для визуализации спутниковых данных устройства, а также общие требования к входным и выходным данным для демонстрации. Описан созданный метод визуализации спутниковых данных в режиме реального (квазиреального) времени с использованием передовых технологий сферической визуализации. Сервис обеспечивает визуализацию спутниковых данных миссии SWARM (ESA) на комплексе со сферическим экраном из непрерывно обновляемой базы данных, за счет ряда скриптов и функционала ArcGIS REST API. В среде геоинформационной системы (ГИС) цифровые значения данных с картографической привязкой преобразуются и визуализируются. Разработан общий прототип интеллектуальной системы представления данных на многофункциональном демонстрационном комплексе со сферическим экраном в режиме квазиреального времени. **КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** Магнитное поле Земли; квазиреальное время; пространственные данные; спутниковые измерения; SWARM; сферический экран; визуализация данных; ГИС.

Ссылка: Никифоров, О. В., А. И. Рыбкина, А. А. Соловьев и А. Е. Бобков (2016), Визуализация геомагнитных наблюдений спутников SWARM с использованием цифрового демонстрационного комплекса со сферическим дисплеем, *Geoinf. Res. Papers*, 4, BS4016, doi:10.2205/2016BS040.

Введение

В рамках развития данного направления были созданы несколько уникальных аналитических многодисциплинарных ГИС по различным направлениям наук о Земле. Одним из недостатков таких баз данных и картографических сервисов, выпущенных в электронной форме и в виде традиционных бумажных карт, в ряде случаев является их низкая визуальная привлекательность для потребителя в связи с ограниченными возможностями упомянутых систем в представлении динамических явлений.

С целью развития и совершенствования методов визуализации геоданных, в том числе в режиме квазиреального времени, в ГЦ РАН успешно применяются методы сферической визуализации. Использование демонстрационного оборудования со сферическим экраном обладает рядом преимуществ таких как материальность, реальность, интерактивность и нелинейность, благодаря которым они в настоящее время становятся все более популярны в науке, образовании, выставочной деятельности и др. Кроме того, такое устройство позволяет визуализировать процессы практически без искажений благодаря своей форме и использованию естественной системы координат.

В Геофизическом центре РАН ведется активная работа по созданию узла данных по обслуживанию российского сегмента ИНТЕРМАГНЕТ. Работа направлена, в том числе, на внедрение автоматизированных систем поиска техногенных возмущений. Для визуализации результатов работ используются ГИС [Gvishiani et al. 2007], [Соловьев и др., 2007], [Березко и др., 2008], [Березко и др., 2009], [Березко и др., 2009], [Березко и др., 2010], [Березко и др., 2011], [Beriozko, 2011], [Березко и др., 2011], [Крас-

¹Геофизический центр РАН, Москва, Россия

²Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта, Москва, Россия

³Московский физико-технический институт (государственный университет), Москва, Россия

ноперов, Соловьев, 2015], [Nikolov et al, 2015] и Комплекс со сферическим экраном [Рыбкина и др., 2013], [Рыбкина и др., 2015]. В 2014 году у Геофизического центра РАН появился доступ к спутниковым измерениям проекта SWARM Европейского космического агентства (ESA) [http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Swarm]). Помимо научных изысканий с привлечением данных SWARM, Геофизическим центром РАН была также обеспечена их визуализация на Комплексе со сферическим экраном с помощью специального программного обеспечения "Орбус" [ORBUS]]. В Геофизическом центре РАН ведется активная работа по созданию узла данных по обслуживанию российского сегмента ИНТЕРМАГНЕТ. Работа направлена, в том числе, на внедрение автоматизированных систем поиска техногенных возмущений. Для визуализации результатов работ используются ГИС [Gvishiani et al., 2007], [Соловьев и др., 2007], [Березко и др., 2008], [Березко и др., 2009], [Березко и др., 2009], [Березко и др., 2010], [Березко и др., 2011], [Beriozko, 2011], [Березко и др., 2011], [Красноперов, Соловьев, 2015], [Nikolov et al, 2015] и Комплекс со сферическим экраном [Рыбкина и др., 2013], [Рыбкина и др., 2015]. В 2014 году у Геофизического центра РАН появился доступ к спутниковым измерениям проекта SWARM Европейского космического агентства (ESA) [http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Swarm]). Помимо научных изысканий с привлечением данных SWARM, Геофизическим центром РАН была также обеспечена их визуализация на Комплексе со сферическим экраном с помощью специального программного обеспечения "Орбус" [ORBUS]].

В рамках проекта РФФИ "Интеллектуальный анализ и комплексная интерпретация геофизических данных с использованием передовых технологий сферической визуализации" был разработан специализированный сервис визуализации данных со спутников SWARM с использованием передовых технологий сферической визуализации. Кроме того, был создан общий метод визуализации широкого круга спутниковых наблюдений на комплексе со сферическим экраном, который может быть использован в дальнейшем для проведения прикладных научных исследований.

Цифровой демонстрационный комплекс со сферическим экраном

Данное оборудование является инновационным устройством визуализации научных данных. Устройство позволяет визуализировать процессы, происходящие на Земле с минимальным искажением, а также полностью управлять ходом визуализации, подключать дополнительные данные, изображения, описания и пр., что делает процесс исследования эффективным и репрезентативным.

Устройства визуализации в общем случае делятся на проекционные и светодиодные. Светодиодные устройства (Рис. 1) не производятся в мобильном исполнении. Блочный принцип построения таких устройств является их



Рис. 1. Пример светодиодного устройства. [Shenzhen Apexls Optoelectronic Co.]

отличительной чертой. Каждый блок имеет площадь, покрытую светодиодами, к которым подведены электропитание, система охлаждения. Блоки крепятся на каркас, и образуют сферу. Плюсами таких устройств являются яркость и контрастность изображения, которая не меняется от внешней освещенности [Рыбкина и др., 2015], минусы – высокое энергопотребление, большой вес, минимальная дистанция просмотра в 3 м для экранов с минимальным шагом пикселя. Такие устройства производят в основном страны, в которых развиты светодиодные технологии (Япония, Китай) [<http://apexls.net/sphere-led-display.html>].

Проекционные комплексы (Рис. 2) строятся на основе проектора, который является источником изображения. В мире производителей такого оборудования не так много: США [<http://globalimagination.com/marketplace/hardware/>], Китай [<http://www.spheredisplay.com/>], Австрия [<http://globoccess.com/>], Великобритания [<http://www.pufferfishdisplays.co.uk/>]. Существуют 3 типа схем формирования изображения на сферическом экране: внешняя, внутренняя и прямая проекции.

Схема с внешним проецированием (Рис. 3) применяется со сферическими экранами больших диаметров (1,5 м и больше). В собранном виде устройство стационарно и после сборки чувствительно даже к минимальным перемещениям, после которых требует перенастройки, процесс которой трудоемок. Данная схема обеспечивает высокое разрешение, контрастность, яркость и качество изображения, при правильно подобранной яркости и других характеристиках проекторов. В схеме используется от 4-х проекторов, изображение проецируется на сферический экран секторами и организуется с небольшим наложением секторов друг на друга, что обеспечивает точное совмещение частей изображения в единое целое. При диаметре экрана в 3 м, минимальное расстояние от экрана для пользователя составляет порядка 3-х м, чтобы охватить взглядом сферу целиком;

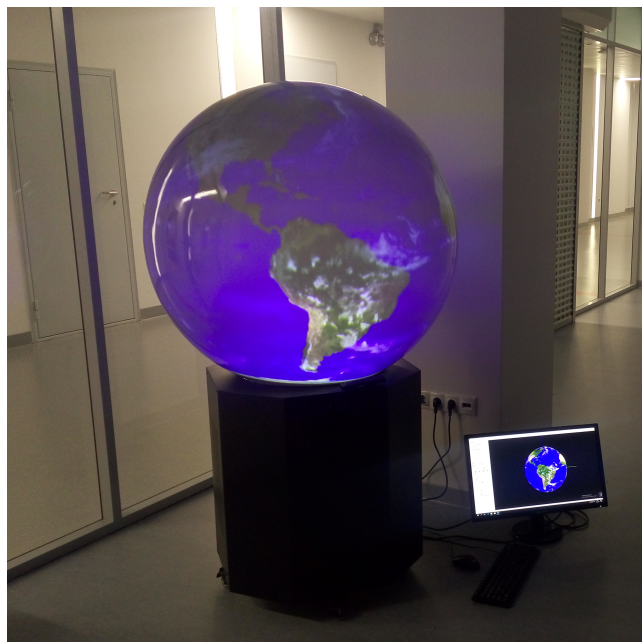


Рис. 2. Мобильный проекционный комплекс

Устройства с внутренним проецированием отличаются мобильностью, простотой настройки и компактностью. Эти преимущества обусловлены конструкцией, которая структурно выглядит как: проектор → объектив → сферический экран. Схема предусматривает использование одного-двух проекторов, объектива fisheye (“рыбий глаз”) (Рис. 3 Рис. 2а, б, в), призмы или полусферического зеркала, изображение проецируется на внутреннюю поверхность сферического экрана. Такой экран представляет собой полую сферу из акрила или другого вида пластика со специальными видами напылений на внутренней и внешней поверхностях.

Устройства по схеме прямой проекции (Рис. 3а, б) пока являются альтернативой схеме с внешним проецированием, так как рассчитаны на экраны с диаметром от 1,5 м и предусматривают стационарное использование. Кроме того, данная схема применима в случае, когда необходимо избавиться от дополнительных требований к пространству помещения. Однако с развитием LED-проекторов возможно появление схемы с внутренним прямым проецированием (Рис. 3а), поскольку подобные проекторы имеют меньшие габариты по сравнению с ламповыми и лазерными.

Используемый в проекте Комплекс построен по схеме внутреннего проецирования (Рис. 3 Рис. 2б). Он состоит (Рис. 4) из сферического экрана, цифрового мультимедийного проектора, установленного в металлическом корпусе, объектива, состоящего из блока линз и зеркала, а также рабочей станции со специализированным программным обеспечением “Орбус”. Сферический экран представляет собой жесткую полую сферу из акрила диаметром 78 см. Внутри экран покрыт специальным напылением для обратной проекции, а снаружи – антибликовым покрытием. Сферический экран устанавливается

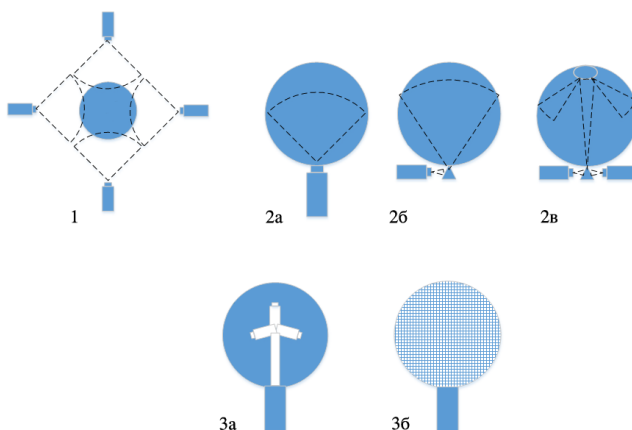


Рис. 3. Типы схем реализации устройств со сферическим экраном

сверху на объектив, который, в свою очередь, смонтирован в металлический корпус вместе с зеркалом и проектором. Металлическое зеркало с высоким коэффициентом отражения, установленное под углом 45° к оптической оси проектора, отклоняет лучи на 90° .

Визуализация геопространственных данных на сферическом экране

Для визуализации данных на Комплексе необходимо выполнить ряд процедур: выбрать и подготовить данные, провести рендеринг подготовленного изображения и вывести изображение на сферический экран.



Рис. 4. Структурная схема устройства со сферическим экраном: 1 – сервер, 2 – ПК, 3 – проектор, 4–5 – зеркально-линзовая система, 6 – сферический экран.

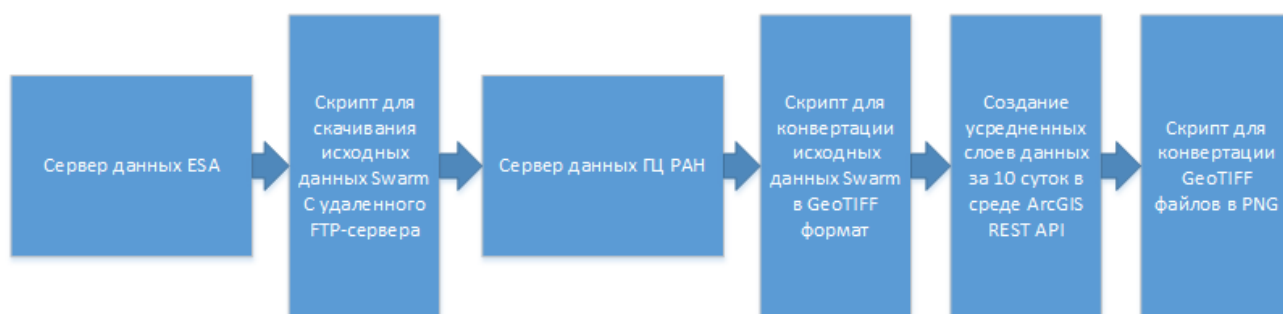


Рис. 5. Структурная схема получения данных с сервера ESA.

Для интерактивной визуализации данных на сферическом экране, включая возможность создания и редактирования контента и предварительного просмотра на плоском экране, было использовано специальное программное обеспечение “Орбус” (ORBUS), разработанное в ГЦ РАН. ПО реализовано на языке C++, использует графический инструмент OpenSceneGraph для рендеринга, и фреймворк Qt для создания графического интерфейса пользователя [Рыбкина и др., 2015]. ПО является кроссплатформенным и может работать на операционных системах Windows и Linux. Данное ПО автоматизирует процедуры рендеринга подготовленного изображения и вывод изображения на сферический экран.

Данные для визуализации

В ноябре 2013 г. в рамках проекта SWARM Европейского космического агентства (ESA) [http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Swarm] с космодрома Плесецк на российском ракетоносителе “Рокот” были выведены на околоземную орбиту 3 идентичных спутника для наблюдений магнитного поля Земли. Два спутника имели начальную высоту 460 км (за 3 года она должна снизиться до 300 км), а третий был выведен на высоту 530 км. В соответствии с научной программой на борту каждого установлен обширный комплекс научных приборов и оборудования, включающий высокочувствительные векторный и скалярный магнитометры, инструменты для измерения параметров электрического и гравитационного полей Земли и другие.

В 2015 году в ГЦ РАН была создана технология построения динамических карт на базе поступающих спутниковых измерений магнитного поля Земли, меняющихся во времени, а также организована система хранения полученных данных. Исходные данные поступают в текстовом формате и сохраняются в реляционной базе данных MySQL. С использованием функционала ArcGIS REST API [<http://resources.arcgis.com/en/help/rest/apiref/>] создаются усредненные за 10 суток слои данных в формате GeoTIFF, которые конвертируются в PNG формат и публикуются на сервере (Рис. 5).

Подготовка данных

Для обеспечения максимальных характеристик качества сферической визуализации был определен размер минимального визуализируемого объекта (линия, пунсон, полигон или количество пикселей в растре) и подобраны характеристики изображения (размер изображения, цветовая разрядность, плотность пикселей, формат). При этом учитывались технические характеристики основных компонентов Комплекса, такие как яркость, контрастность, разрешение проектора, четкость и равнофокусность объектива, материалы изготовления и покрытий сферического экрана, а также количество пользователей и расстояние до устройства при визуализации. Устройство со сферическим экраном, используемое в проекте, состоит из лампового DLP проектора, который имеет разрешение 1400x1050, яркость 3000 Люмен и контрастность 2500:1, объектива типа fisheye (“рыбий глаз”) и акрилового сферического экрана со специальным напылением для обратной проекции. Оборудование позволяет использовать изображения с разрешением до 4096x2048, при увеличении разрешения проектор автоматически понижает разрешение до максимально возможного. Для визуализации были подобраны следующие характеристики входного изображения: размер 2048x1024, цветовая разрядность 18 бит, плотность пикселей PPI – 110. Такие характеристики входного изображения позволяют при визуализации на сферическом экране пользователю идентифицировать нанесенные на карту тематические объекты минимально необходимого размера с расстояния в 80–100 см. Дальнейшие этапы визуализации (рендеринг и вывод изображения на плоский и сферический экраны) обеспечиваются с помощью ПО “Орбус” [ORBUS] в автоматическом режиме по схеме, представленной на Рис. 6.

Итогом преобразований является визуализированное изображение на плоском экране в программном обеспечении “Орбус” (Рис. 7). и на Комплексе со сферическим экраном (Рис. 8).

Заключение

На основании выполненного анализа и экспериментальных разработок можно рекомендовать следующее:

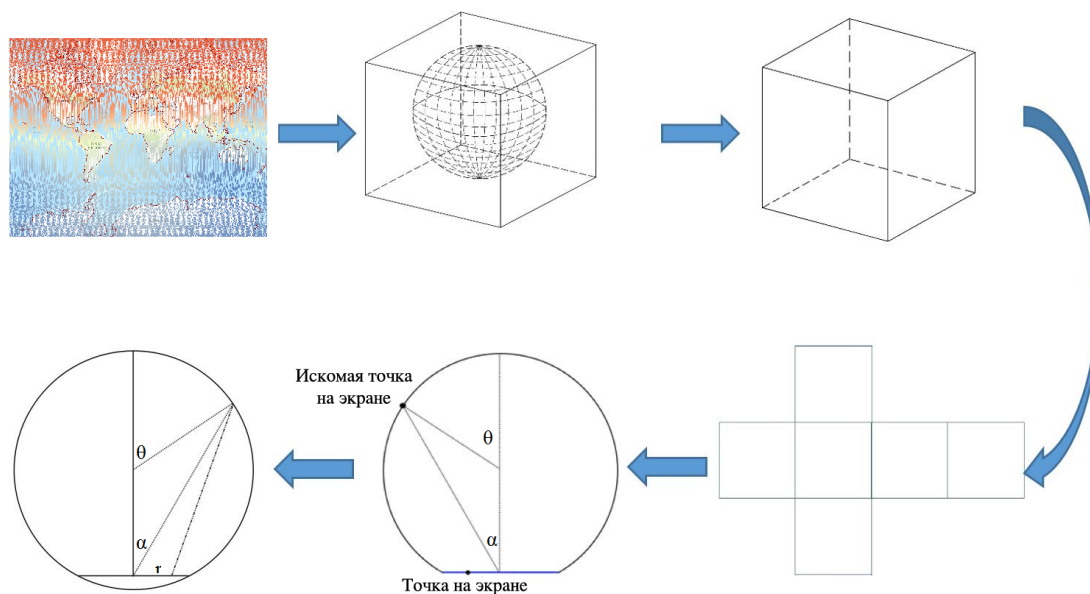


Рис. 6. Схема визуализации изображения в ПО “Орбус”.

1. При подборе устройства со сферическим экраном и визуализации на сфере необходимо руководствоваться требованиями к рассматриваемым данным: максимальный и минимальный размер объекта визуализируемого явления, масштаб и подробность. Из них формируются технические характеристики изображения для визуализации – размер, цветовая

разрядность, формат, плотность пикселей, цветовая палитра и пр. Также следует учитывать одно-временное количество пользователей, расстояние, на котором они будут находиться от экрана, их положение относительно него, а также характер использования оборудования. В зависимости от выбранной схемы реализации Комплекса необходимо

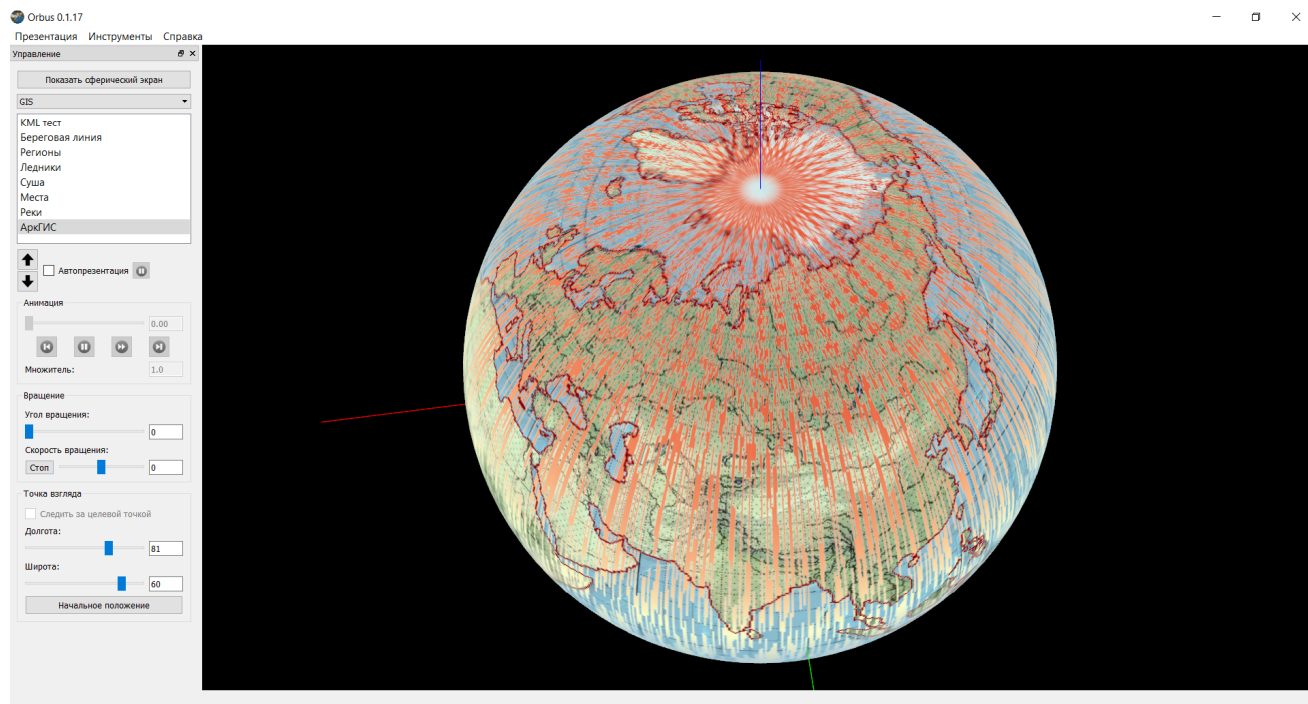


Рис. 7. Визуализация данных со спутников миссии SWARM на сфере, показанная на плоском экране ПК в интерфейсе ПО “Орбус”.

учитывать требования к помещению: площадь и форму помещения, наличие естественных и искусственных источников света и возможность затемнения, расположение дополнительного оборудования (экраны, проекторы и т.д.) и источников питания (розеток), видеосигнала и т.п.

2. Данные для визуализации в зависимости от формы их представления, покрытия и частоты обновления требуют индивидуального подхода. Для визуализации оперативных данных в режиме квазиреального времени целесообразно организовать визуализацию с удаленных серверов данных, на которые они поступают в оперативном режиме. При визуализации данных, требующих предварительной обработки, применения математических методов анализа с последующей интерпретацией результатов, следует организовывать локальное серверное хранение в виде баз данных.
3. Специальное ПО для подготовки данных и их сферической визуализации значительно упрощает процесс использования соответствующих демонстрационных Комплексов. К такому ПО относится “Орбус” [ORBUS], позволяющий в автоматическом режиме проводить этапы рендеринга и вывода изображения на сферический экран. Без специального ПО процесс визуализации на сфере очень трудоемок и требует множества специфических навыков.

Визуализация данных миссии SWARM показала, что сферическая визуализация спутниковых данных обеспечивает демонстрацию результатов с наименьшими искажениями в наиболее приближенной к реальности форме, а также позволяет вести наглядный анализ данных. Созданный метод позволяет визуализировать любые геопространственные данные, регистрируемые спутниковыми системами, в том числе в режиме квазиреального времени, а также обеспечивает дополнительный инструмент для интерпретации наблюдаемых явлений.

Разработанный в рамках проекта РФФИ №15-35-20983 мол_а_вед “Интеллектуальный анализ и комплексная интерпретация геофизических данных с использованием передовых технологий сферической визуализации” Комплекс существенно расширил возможности анализа больших массивов геоданных, поступающих в режиме квазиреального времени.

Литература

- Березко, А. Е., А. А. Соловьев, А. Д. Гвишиани, и др. (2008), Интеллектуальная географическая информационная система “Данные наук о Земле по территории России”, *Инженерная экология*, No. 5, 32–40.
- Березко, А. Е., А. И. Рыбкина, А. А. Соловьев, и др. (2009), Интеллектуальная ГИС, *Вестник ОНЗ РАН*, No. 1, NZ3002, doi:10.2205/2009NZ000006
- Березко, А. Е., А. А. Соловьев, Р. И. Красноперов, и др. (2009), Интеллектуальная аналитическая геоинформационная система “Данные наук о Земле по территории России”. Environment. Technology. Resources, Proceedings of the

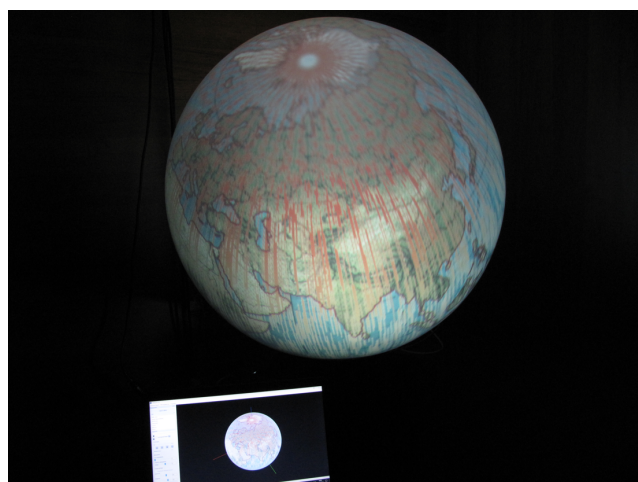


Рис. 8. Результат визуализации данных миссии SWARM на Комплексе со сферическим проекционным экраном.

- 7th International Scientific and Practical Conference., 1, p. 215–221, Rēzeknes Augstskola, RA Izdevniecība, Rēzekne, Latvia.
- Березко, А. Е., А. Д. Гвишиани, А. А. Соловьев, и др. (2010), Интеллектуальная ГИС “Данные наук о Земле по территории России”. Проблемы защиты населения и территории от чрезвычайных ситуаций XV международная научно-практическая конференция. Материалы конференции., p. 210–218, ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), Москва.
- Березко, А. Е., А. Д. Гвишиани, А. А. Соловьев, и др. (2011), Многодисциплинарная ГИС для наук о Земле. Материалы Международной научно-практической конференции “Прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий”, 16–20 мая 2011 г., p. 37–43, Изд. “Магарин Олег Григорьевич”, г. Майкоп (Россия).
- Березко, А. Е., А. Д. Гвишиани, А. А. Соловьев, и др. (2011), Геоинформационная система для поддержки исследований в области минералогии. Минералогические перспективы: Материалы Международного минералогического семинара., p. 19–21, ИГ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар.
- Красноперов, Р. И., А. А. Соловьев (2015), Аналитическая геоинформационная система для комплексных геолого-геофизических исследований на территории России, *Горный журнал*, No. 10, 89–93, doi:10.17580/gzh.2015.10.16
- Рыбкина, А. И., О. О. Пятагина, А. А. Шибалева, и др. (2013), Визуализация магнитного поля Земли на цифровом демонстрационном комплексе со сферическим проекционным экраном. Годичная научная конференция 2013 г., p. 398–399, ЛЕНАНД, М..
- Рыбкина, А. И., А. Е. Бобков, О. В. Никифоров, и др. (2015), Программно-аппаратный комплекс для визуализации геофизических данных на сферическом экране, *Научная визуализация*, 7, No. 2, 38–49. (<http://sv-journal.org/2015-2/04.php?lang=en>)
- Соловьев, А. А., А. Е. Березко, А. Д. Гвишиани, и др. (2007), Разработка и создание интегральной геоинформационной аналитической системы “Данные наук о Земле по территории России”. Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренцева региона материалы III Международной научной конференции, p. 247–249, Ин-т геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар.
- Berizko, A., Lebedev A., Soloviev A., Krasnoperov R., et al. (2011), Geoinformation system with algorithmic shell as a new tool for Earth sciences, *Russ. J. Earth. Sci.*, Vol. 12, ES1001, doi:10.2205/2011ES000501

Gvishiani, A., A. Soloviev, A. Beriozko (2007), Development and creation of integral geoinformation analytical system "Earth Science Data for the Territory of Russia", *IST4Balt News Journal*, No. 3, 38–40.

Nikolov, B. P., J. I. Zharkikh, A. A. Soloviev, et al. (2015), Integration of data mining methods for Earth science data analysis in GIS environment, *Russ. J. Earth. Sci.*, Vol. 15, ES4004, doi:10.2205/2015ES000559

О. В. Никифоров, А. И. Рыбкина, Геофизический центр РАН, г. Москва, РФ, (o.nikiforov@gcras.ru)

А. А. Соловьев, Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта, г. Москва, РФ

А. Е. Бобков, Московский физико-технический институт (государственный университет), г. Москва, РФ