

Цифровой демонстрационный комплекс со сферическим экраном: новые проекционные технологии и расширенный функционал ORBUS 2.0

О.О. Самохина¹, С.В. Пресняков², А.И. Рыбкина³

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Геофизический центр Российской академии наук

¹ ORCID: 0000-0001-8710-5494,

² ORCID: 0000-0001-7608-9265,

³ ORCID: 0000-0002-9223-5936

Аннотация

В рамках усовершенствования современных методов визуализации геопространственных данных в геофизическом центре РАН (ГЦ РАН) успешно развивается проект по внедрению технологии сферической визуализации в сферах образования и науки. Разработан, реализован и доведен до опытного образца российский аппаратно-программный комплекс со сферическим проекционным экраном под управлением специализированного программного обеспечения (ПО) ORBUS. (Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №. №2014618293 от 14.08.2014 г.). ПО позволяет без искажения визуализировать данные разных типов: изображения, видео, онлайн-потоки и прочие данные с геопривязкой. Вторая версия ORBUS 2.0 содержит в себе обновленный функционал: расширен список форматов данных, реализована визуализация геоданных напрямую из геоинформационных систем (ГИС), усовершенствована методика отображения полюсов, добавлена функция визуализации трехмерных моделей и масштабирования, а также расширен функционал пользовательского интерфейса. Разработанный демонстрационный комплекс является эффективным инструментом прикладной визуализации научных данных и успешно используется в российских образовательных учреждениях и музеях.

Ключевые слова: сферическая визуализация, демонстрационные комплексы, геоданные, проекция, sharefile, кубическая проекция, OpenSceneGraph, масштабирование.

Введение

Наука и техника неразрывно связаны – исследования и математические расчеты находят применение в прикладных инновационных разработках. Сферическая визуализация, которая дополнила классические методы визуализации на плоскости, также активно развивается в мировом масштабе – каждый год внедряются новейшие технологии, развивается программное обеспечение, и совершенствуются технические характеристики проекционного оборудования.

В последние десятилетия они прочно вошли в нашу жизнь и стали неотъемлемым инструментом повседневной работы. При этом сферическая визуализация имеет ряд преимуществ перед обычной. За счет своей формы сферические экраны позволяют визуализировать любые процессы, происходящие на Земной поверхности, в максимально адаптированном и наглядном для пользователя формате.

Плюсами сферических проекционных комплексов являются мобильность, высокая надежность, максимальная репре-

зентативность представления глобальной динамической информации и, как следствие, привлечение внимания общества, а особенно молодого поколения, к наукам о Земле. В задачах отображения глобальных геопространственных данных, особенно меняющихся во времени (изменение магнитного поля Земли, движение литосферных плит, динамика течений мирового океана и др.) технология сферической визуализации незаменима.

Несмотря на приведённые преимущества, в России сферические технологии не имеют широкого распространения. Это вызвано в первую очередь сложностью и высокой стоимостью производства оборудования, а также необходимостью применения специализированного программного обеспечения, позволяющего визуализировать плоские изображения, преобразовывая их в сферическую проекцию без искажений.

Развитие сферической визуализации в мире

В мире существует ряд компаний, занимающихся производством подобного оборудования и разработкой демонстрационного контента. Наибольший вклад в поставку составляющих для сферических проекционных комплексов вносит Китай, где с 2006 г. занимаются производством и продажей оптических объективов типа fisheye («рыбий глаз») и с 2007 года – производством сферических экранов, а в 2009 году приступили к сборке проекционных комплексов целиком [1]. Также компании, производящие аналогичное оборудование есть в США и Европе. Принципиальным отличием в создании комплексов различных производителей является применение принципа прямого проецирования либо использование зеркально-линзовой системы. В первом случае проецируемое изображение попадает на сферический экран напрямую из проектора. Во втором случае проецирование осуществляется с помощью металлического зеркала. Сферический экран устанавливается на блок линз, снабженный сверхширо-

коугольной линзой с переменным фокусным расстоянием и вмонтированный 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° и направляет их в блок линз. Но при всей сложности конструкции, она не является оптимальной. В виду большого количества элементов, при прохождении светового потока от проектора до непосредственно сферического экрана происходит потеря яркости. Кроме того, изображение, по законам оптики, проецируется через данную линзовую систему зеркально, что накладывает дополнительные требования к функционалу программного обеспечения.

Опыт сферической визуализации в ГЦ РАН

Геофизический центр РАН с 2011 года занимается направлением сферической визуализации и на данный момент получены значительные результаты – создан российский аппаратно-программный комплекс со сферическим проекционным экраном, разработано и запатентовано авторское ПО ORBUS, реализующее визуализацию большинства современных форматов данных в сферической проекции, завершена работа над второй версией ПО.

Лаборатория инновационных проектов Геофизического Центра РАН начала первые шаги в создании сферических визуализаций геопространственных данных в рамках сотрудничества с Национальным управлением океанических и атмосферных исследований США (NOAA). Сотрудниками ГЦ РАН и специалистами NOAA проводилась совместная работа по изучению технологий сферического проецирования и разработка специализированных массивов данных с их дальнейшей практической визуализацией [2].

Важно отметить, что аппаратная часть комплекса, хотя и является физической основой визуализации, но не

представляет собой её ядро. Научная значимость обеспечивается именно специализированным ПО, позволяющим решать конкретные задачи, и данными, которые визуализируются с помощью комплекса. ГЦ РАН является частью Мировой системы данных World Data System (WDS). Лаборатория геофизических данных выполняет функции Мирового центра данных по солнечно-земной физике (МЦД по СЗФ) и Мирового центра данных по физике твердой Земли (МЦД по ФТЗ), являющихся с 2012 г. регулярными членами Мировой системы данных (МСД) [3] Международного совета по науке (МСН). Накопление и сохранение различных геофизических данных, необходимых для научных исследований, и обеспечение доступа к этим данным позволяют создать из них многодисциплинарную базу сферических презентаций. Таким образом, глобальные массивы научных данных могут стать доступны широкому кругу пользователей в визуально репрезентативном и интуитивно понятном представлении «интерактивного глобуса». На данный момент база ГЦ РАН составляет более шести терабайт тематических слоев более чем по двадцати категориям геоданных: данные по геодезии и картографии (цифровые топографические карты и цифровые модели рельефа), данные ДЗЗ, геофизика, геология, полезные ископаемые, гляциология, гидрология и др. [4].

Более десяти лет в ГЦ РАН активно развивается проект по созданию «ГИС-Россия» – современной аналитической ГИС, предназначенной для хранения, интеграции, визуализации и предоставления пользователям посредством веб-интерфейса пространственных данных по геофизике для их дальнейшего анализа и интерпретации. Подобные современные информационные системы обеспечивают удобный и оперативный доступ к данным различных тематик, позволяют оперировать массивами пространственных данных и выполнять сложный многоуровневый интеллектуальный анализ [5]. Базу пространственных дан-

ных ГИС составляют цифровые геолого-геофизические карты, карты физических полей (гравитационного, магнитного), карты расположения месторождений полезных ископаемых и многие другие. Данные опубликованы в формате картографических веб-сервисов. Доступ к ним осуществляется средствами специализированного геопортала ГИС [6, 7].

Также имеются дополнительные информационные ресурсы свободного доступа, либо те, доступ к которым получен в рамках сотрудничества с дружественными организациями. Стоит отметить, что зачастую данные мониторинга различных процессов, происходящих на Земле, приходят в режиме реального времени. Это накладывает дополнительные требования к программам визуализации.

Все вышеперечисленное обуславливает необходимость создания специализированного ПО, позволяющего визуализировать в сферическом виде не только изображения, но и, в первую очередь, популярные форматы представления геоданных: таблицы, каталоги, ГИС-слои, растры, shape-файлы и др..

Таким образом, проанализировав функционал зарубежных аналогов и выявив существующие задачи, проведя обзор наиболее часто используемых форматов геоданных, было принято решение об интеграции имеющихся аппаратных решений и разработке в ГЦ РАН собственного комплекса со сферическим проекционным экраном и программным обеспечением, по функционалу значительно превосходящим зарубежное.

Проекционный комплекс, разработанный в ГЦ РАН

В рамках поставленной задачи был изучен ряд комплексов сферической визуализации и сформирована инженерная и программная база для создания собственного комплекса, в котором ГЦ РАН является интегратором при произ-

водстве оборудования и разработчиком программного обеспечения. Изучение методологии создания программного обеспечения для сферических экранов позволило создать собственный программный комплекс с уникальным набором функций.

Основными целями при создании собственного комплекса являлись высокое качество изображения и ценовая доступность комплекса для научных и учебных заведений [1].

Техническое устройство аппаратно-программного комплекса (АПК)

Структурно комплекс состоит из следующих компонентов:

- Лазерный мультимедийный проектор.

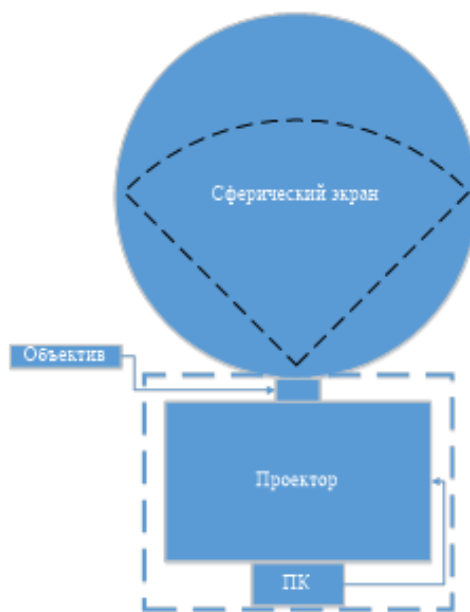
- Широкоугольный объектив (набор линз) с переменным фокусным расстоянием типа «рыбий глаз».

- Сферический экран (диаметр может варьироваться) с внутренним покрытием краской для проекционных экранов и внешним антибликовым покрытием.

- Подиум с отсеком оборудования и персональным компьютером.

- Программное обеспечение. Операционная система Windows, необходимые библиотеки для обеспечения сферической визуализации, специализированное ПО ORBUS, предназначенное для просмотра презентаций на сферическом экране, а также для их создания и редактирования.

Сферический экран крепится на широкоугольный объектив, вмонтированный в проектор. Проектор и ПК с установленным программным обеспечением находятся в подиуме, сконструированном таким образом, чтобы обеспечить беспрепятственный доступ к оборудованию и презентабельный вид установки.



а) структурная схема Комплекса



б) реальный Комплекс

Рисунок 1

В результате патентного поиска было подтверждено, что данный АПК не имеет аналогов в России. Ближайшие похожие технические решения есть в Китае, но они отличаются по качеству и функционалу от Комплекса нашего производства. Среди выявленных отличий – наличие в нашем Комплексе специализированного крепления, позволяющего монтировать широкоугольную линзу непосредственно в сам проектор, что технически значительно улучшает качество визуализируемого изображения: сокращаются потери света, увеличивается яркость и четкость. Наличие на

линзе возможности фокусировки позволяет использовать различные проекторы и менять диаметр сферического экрана. Это расширяет выбор составляющих под конкретные цели и задачи потенциальных пользователей. В качестве метода проецирования выбраны лазерные технологии, получившие активное всемирное развитие. Это обуславливается тем, что срок службы лазерного модуля значительно дольше срока службы лампы, и лазерные проекторы практически не нуждаются в обслуживании. Проектору не требуется время на прогрев и охлаждение — он мгновенно достигает максимальной яркости и так же быстро выключается. Кроме этого, высокоскоростной контроль контрастности обеспечивает наилучшее отображение ярких и темных сцен и очень широкий цветовой охват, недоступный для ламповых проекторов [8]. Кроме того, комплекс имеет следующие преимущества перед зарубежными аналогами: возможность работы в режиме 24/7 в качестве музейного интерактивного экспоната; отсутствие необходимости замены лампы за счет внедрения технологии лазерного проектирования; высокая яркость, позволяющая визуализировать объекты при дневной освещенности помещения; транспортабельность и мобильность.

Основной функционал ORBUS

Программное обеспечение ORBUS обеспечивает интерактивную визуализацию данных на сферическом экране и включает возможность подготовки данных к визуализации (редактор сферических презентаций).

Приложение может работать как с подключенным комплексом, так и без него. При подключенном комплексе на экран рабочего компьютера выводится графический интерфейс для управления, а на комплекс выводится специально подготовленное изображение в сферической проекции.

Базовый функционал и основные принципы работы ПО описаны автора-

ми в статье [1]: Программа позволяет включать в сферическую презентацию растровые изображения и видеофайлы, векторные данные. Настраивать параметры анимации, цвета, вращения с возможностью сохранения. Реализованы функции слежения за объектом, явлением и другие.

На данный момент разработана вторая версия ПО ORBUS 2.0, в которой исправлены некоторые погрешности отображения сферических объектов (искажение на полюсах), добавлен новый функционал: расширен список форматов данных, полностью ликвидировано искажение изображений на полюсах, добавлена функция визуализации трехмерных моделей и масштабирования, а также возможность интеграции в слайды пользовательских условных обозначений и пиктограмм.

Таким образом, стало возможно визуализировать данные следующих форматов:

- растровые изображения;
- форматы геопространственных систем;
- файлы 3D-моделей.

Программная реализация поддержки новых форматов данных

Растровые изображения

Растровое изображение — это изображение, представляющее собой сетку пикселей — цветных точек (обычно прямоугольных) на мониторе, бумаге и других отображающих устройствах. Растровые изображения могут накладываться на сферу в цилиндрической либо кубической проекции. Преимущество кубической проекции проявляется в уменьшении искажений на полюсах.

Схема кубической проекции приведена на рисунке 2. Грани 1 и 6 будут накладываться на северный и южный полюс соответственно. Грани 2 и 3 накладываются на область от 180 градусов до 0 градусов западной долготы, грани 4 и 5 на области от 0 до 180 градусов восточной долготы.

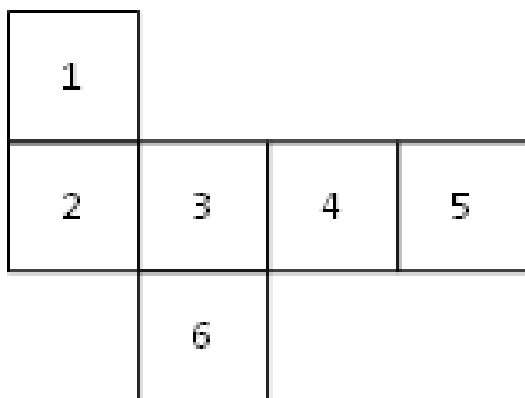


Рисунок 2. Схема кубической проекции

Кубические проекции встречаются двух типов, в англоязычной литературе именуемые quadrilateralized spherical cube (QSC) и HEALPix [9].

В QSC грани куба - прямолинейные проекции сферы (рисунок 3). Область проецирования каждой грани на сфере - область, которая строится при пересечении данной сферы и четырехгранного угла. Сфера делится на шесть равных частей четырехгранными углами, опирающимися на соответствующую грань. Данный вид проекции часто используется в компьютерной графике, в т.ч. в OpenGL.

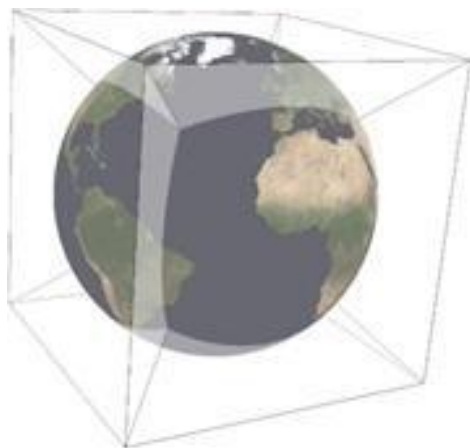


Рисунок 3. Проекция QSC

Проекция HEALPix (рисунок 4), в ArcGis называется кубической [10]. В данном виде проекции на четыре боковых кубических грани цилиндрически переносится пространство сферы от 45 градусов южной широты до 45 градусов северной широты. На две оставшиеся грани проецируются области около полюсов.

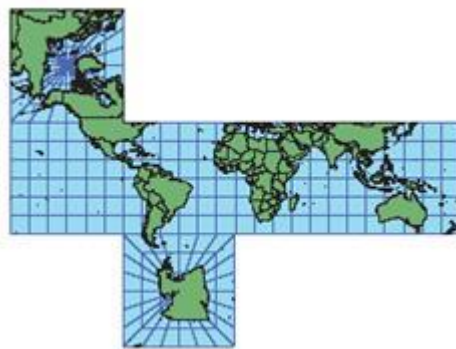


Рисунок 4. Проекция HEALPix

Переход от проекции QSC к HEALPix выполняется по описанному ниже алгоритму.

Для углов долготы:

- Перевод углов из интервала (-180;180) градусов широты в четыре интервала (-45;45).

- Пересчет долготы

$$\varphi_{QSC} = atg(\varphi_{HEALPix}/45) \quad \text{(рисунок 5)}$$

- Перевод в единый интервал (-180;180)

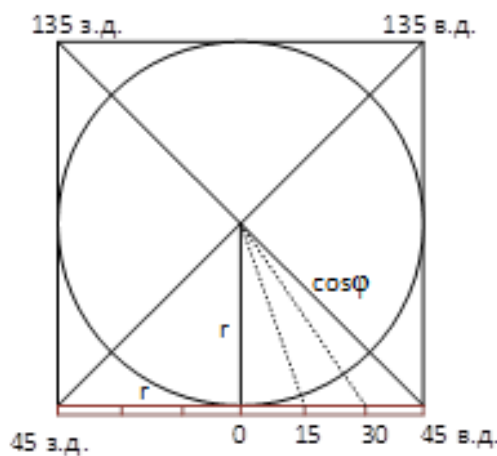


Рисунок 5. Схема перехода от проекции QSC к HEALPix

Угол широты находится из треугольника, построенного на гипотенузе

$\cos \varphi$ (рис):

$$\theta_{QSC} = atg\left(\frac{45}{\theta_{HEALPix}} / \cos \varphi\right) \quad \text{в интервале } (-45;45);$$

$$\theta_{QSC} = atg\left(\frac{\theta_{HEALPix}}{45} / \cos \varphi\right) \quad \text{для оставшихся углов}.$$

Форматы геопространственных систем (.shp, .kml)

Shape-файл – это векторный формат для хранения объектов, описываемых геометрией и сопутствующими атрибутами. В файлах с расширением .shp хранится информация о самой геометрии, .dbf – атрибутивная информация. Стиль, вид, цвет отображения не передаются, их нужно задавать пользователю.

В KML файле можно передавать внешний вид объектов, например, цвет.

При открытии shape-файла либо пользователю, либо программно нужно задавать расположение атрибутивных подписей. В противном случае в областях, в которых объекты расположены плотно, атрибутивные надписи могут накладываться друг на друга и быть нечитаемыми. Для равномерного расположения атрибутивных данных сферическая поверхность делится на равные участки.

Такое разделение может быть получено несколькими известными методами [11]. В ПО использовалось разбиение на основе икосаэдра (рисунок 6). Икосаэдр при этом располагался таким образом, чтобы две его вершины совпадали с полюсами Земли.

Координаты вершин рассчитывались с использованием принципа золотого прямоугольника [12]. $1:\varphi$, где $\varphi = (1 + \sqrt{5})/2$.



Рисунок 6. Икосаэдр

Для каждой из 20 полученных граней можно произвести дополнительную триангуляцию, в зависимости от того, на сколько элементов необходимо разделить сферу. Координаты всех вершин рассчитываются один раз при первом запуске любого shape-файла.

Файлы 3D - моделей

В ORBUS 2.0 используется графический движок OpenSceneGraph, в котором реализована загрузка 3D-моделей, например, в формате obj. Отображенные на сфере, такие модели могут быть рассмотрены с разных сторон под различным углом зрения.

С использованием данной функции в ORBUS производится масштабирование. По выбранным граничным значениям широты и долготы, строится сферический четырехугольник с наложенной на него частью базового изображения (рисунок 7).



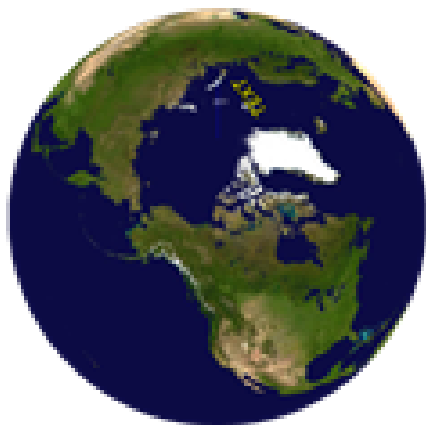
Рисунок 7 – Сферический четырехугольник

Такой сферический четырехугольник строится как 3D объект, отображая на проекционном экране необходимую часть изображения в увеличенном масштабе.

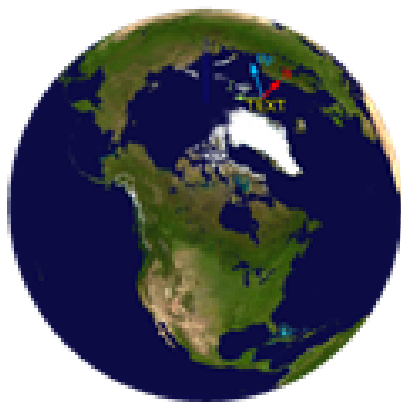
Дополнительные функциональные возможности

Сферический комплекс имеет широкую сферу применения – он естественно подходит не только для научных, но и для образовательных учреждений и музеев.

Кроме импорта готовых данных, добавлена возможность конечных пользователей редактировать сферические «слайды». В версии ORBUS 2.0 реализована функция доработки существующих сферических презентаций и включение в них дополнительных справочно-информационных данных и объектов, а также пользовательской информации в зависимости от конечной задачи. Текстовые надписи могут быть привязаны к точке обзора, чтобы при повороте камеры относительно поверхности положение надписи не изменялось. Также они могут быть статическими, привязанными к определенной точке на глобусе. Если фиксированными будет и положение, и ориентация текстовой надписи, то при вращении камеры надписи могут оказаться трудночитаемыми (рисунок 8а). Для устранения этого недостатка надпись необходимо вращать (рисунок 8б).



а)



б)

Рисунок 8. Текстовые надписи

Ориентация текста определяется векторами N , который должен быть направлен по нормали к поверхности, U_p и Z .

Зная угловое расположения камеры обзора относительно модели земной поверхности в сферической системе координат φ_c и θ_c , можно определить направления U_p и Z .

$$U_{p_c} = (-\cos \varphi_c \sin \theta_c, -\sin \varphi_c \sin \theta_c, \cos \theta_c);$$

$$Z = U_{p_c} \cdot N;$$

$$U_p = N \cdot Z;$$

Практическая реализация

Наличие новых функций ПО значительно расширяет возможности применения сферического экрана не только как средства визуализации, но и в качестве инструмента решения научных задач.

Ведутся работы по созданию нового контента, а также проводится поиск и подключение новых баз геопространственных данных реального времени.

Среди последних задач, которые были реализованы в Геофизическом центре РАН с применением комплекса – разработка динамического контента, отражающего движение литосферных плит в неопротерозойское время [13].

На данный момент Геофизический центр РАН уже имеет успешный опыт не только реализации демонстрационного комплекса собственного производства, но и внедрения Комплекса в научные институты России, музейные центры, выставочные пространства. Одним из последних завершенных проектов стала разработка опытного образца аппаратно-программного комплекса со сферическим проекционным экраном для демонстрационной площадки геолого-геофизического факультета Новосибирского Государственного Университета (НГУ). Данный комплекс стал частью экспозиции университета, отвечающей высшим мировым стандартам инновационной и интерактивной составляющих.

Заключение

Геофизический центр РАН занимается развитием аппаратного-программных комплексов со сферическим проекционным экраном, а также созданием широкого спектра демонстрационных данных и разработкой специализированного ПО ORBUS. ПО позволяет визуализировать глобальные данные различных форматов, а также создавать собственный демонстрационный контент, используя возможности интеграции графики на сферические слайды, в том числе в режиме реального времени. Демонстрационный комплекс не имеет аналогов в России и по ряду параметров превосходит мировые аналоги. Ведется непрерывная работа над расширением функционала ПО и усовершенствованием аппаратной части комплекса. ГЦ РАН имеет опыт внедрения комплексов в научные организации.

Использование в музейных и выставочных пространствах технологии сферической визуализации обеспечивает:

- привлечение молодежи в науку путем внедрения инструмента научного взаимодействия и нового метода представления информации;

- просветительство новейшими и актуальными научными геопространственными данными и открытиями в области наук о Земле;

- активизацию и интенсификацию междисциплинарного обмена научными знаниями.

Работа выполнена по теме НИР 0145-2016-0005 государственного задания ГЦ РАН.

В работе использовались данные ЦКП "Аналитический центр геомагнитных данных" Геофизического центра РАН.

Список литературы

1. Rybkina A.I., Bobkov A.E., Nikiforov O.V., Pyatygina O.O. Hardware and software system for visualization of geophysical data on a spherical screen // Scientific Visualization. 2015. Vol. 7. No. 2. pp. 38–49.

2. National Oceanic and Atmospheric Administration (USA) site, re https://sos.noaa.gov/What_is_SOS/

3. World data system [ICSU \(ICSU-WDS\) http://www.icsu-wds.org](http://www.icsu-wds.org)

4. Krasnoperov R., Lebedev A., Samokhina (Pyatygina) O., Rybkina A., Shibaeva A. Multidisciplinary analytical GIS for remote sensing data processing and presentation // Modern problems of the Earth remote sensing from space. 2012. T.09. No. 3. ss. 50-54

5. Krasnoperov R., Solovyov A. Analytical geoinformation system for complex geological and geophysical research on the territory of Russia // Mining magazine. No. 10, 2015. ss. 89-93.

6. Krasnoperov R., Soloviev A., Nikolov B., Zharkikh Yu., Grudnev A. Interactive web application for integrated study of spatial information on Earth sciences using GC RAS geodatabase // Geoinformatics Research Papers. 2016 T. 4. No1.

7. Analytical Geoinformation System GIS-Russia <http://gis.gcras.ru/>

8. "Main advantages of laser projectors" - blitz-poll of the leading companies of the market <http://www.hifinews.ru/article/details/25743.htm>

9. Documentation for the PROJ.4 library <http://proj4.org/operations/projections/>

10. Documentation for the ArcGIS <http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/guide-books/map-projections/cube.htm>

11. Portal of geographical information systems and remote sensing <http://gis-lab.info/qa/triangular-mesh-sphere.html>

12. Mathematical electronic resource <http://mathworld.wolfram.com/GoldenRatio.html>

13. EarthByte resource <https://www.earthbyte.org/global-plate-models/>

A digital demonstration complex with a spherical screen: new projection technologies and advanced ORBUS 2.0 software

O.O. Samokhina¹, S.V. Presnyakov², A.I. Rybkina³

Geophysical Center of the Russian Academy of Sciences

¹ ORCID: 0000-0001-8710-5494,

² ORCID: 0000-0001-7608-9265,

³ ORCID: 0000-0002-9223-5936

Abstract

As part of the improvement of modern methods of visualization of geospatial data at the Geophysical center of the Russian Academy of Sciences (GC RAS), a project on introducing spherical visualization methods in the domains of education and science is successfully developing. A prototype of the Russian hardware-software complex with a spherical projection screen running the specialized software ORBUS was developed and implemented (computer program registration certificate no.2014618293 from 14.08.2014). The software allows you to visualize data of different types without distortion: images, video, online streams, and other georeferenced data. The second version of the ORBUS 2.0 software includes the updated functionality: the list of data formats has been expanded, geodata visualization has been implemented directly from geoinformation systems (GIS), the method of displaying poles has been improved, the function of 3D models visualization and scaling has been added and the user interface functionality has been expanded. The developed demonstration complex is an effective tool for applied visualization of scientific data and is successfully utilized by Russian educational institutions and museums.

Keywords: spherical visualization, demonstration complexes, geodata, projection, shapefile, cubic projection, OpenSceneGraph, scaling.

References

1. Rybkina A.I., Bobkov A.E., Nikiforov O.V., Pyatygina O.O. Hardware and software system for visualization of geophysical data on a spherical screen // Scientific Visualization. 2015. Vol. 7. No. 2. pp. 38–49.
2. National Oceanic and Atmospheric Administration (USA) site, re https://sos.noaa.gov/What_is_SOS/
3. World data system [ICSU](http://www.icsu-wds.org) (ICSU-WDS) <http://www.icsu-wds.org>
4. Krasnoperov R., Lebedev A., Samokhina (Pyatygina) O., Rybkina A., Shibaeva A. Multi-disciplinary analytical GIS for remote sensing data processing and presentation // Modern problems of the Earth remote sensing from space. 2012. T.09. No. 3. ss. 50-54
5. Krasnoperov R., Solovyov A. Analytical geoinformation system for complex geological and geophysical research on the territory of Russia // Mining magazine. No. 10, 2015. ss. 89-93.
6. Krasnoperov R., Soloviev A., Nikolov B., Zharkikh Yu., Grudnev A. Interactive web application for integrated study of spatial information on Earth sciences using GC RAS geodatabase // Geoinformatics Research Papers. 2016 T. 4. No1.
7. Analytical Geoinformation System GIS-Russia <http://gis.gcras.ru/>
8. "Main advantages of laser projectors" - blitz-poll of the leading companies of the market <http://www.hifinews.ru/article/details/25743.htm>
9. Documentation for the PROJ.4 library <http://proj4.org/operations/projections/>

10. Documentation for the ArcGIS <http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/guide-books/map-projections/cube.htm>
11. Portal of geographical information systems and remote sensing <http://gis-lab.info/qa/triangular-mesh-sphere.html>
12. Mathematical electronic resource <http://mathworld.wolfram.com/GoldenRatio.html>
13. EarthByte resource <https://www.earthbyte.org/global-plate-models/>