7. *Савиных В.П., Цветков В.Я.* Геоданные как системный информационный ресурс // Вестник Российской академии наук, 2014. Т. 84. № 9. С. 826–829.

8. *Fernandez-Wyttenbach A.* et al. Digital map library services in the spatial data infrastructure (sdi) framework: The digmap project //Proceedings of the 23th International Conference in Cartography. International Cartographic Association (ICA-ACI). Moscow,(Russia) August. 2007. P. 4–10.

9. *Dalton C.M.* Sovereigns, spooks, and hackers: An early history of Google geo services and map mashups // Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization. 2013. V. 48. №. 4. P. 261–274.

10. *Баяндурова А.А., Розенберг И.Н., Шайтура С.В.* Комплексный анализ крымских туристических дестинаций // Ученые записки Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. Экономика и управление. 2016. Т. 1. № 2 (68). С. 3–10.

11. *Павлов С.А.* Совершенствование технологии формирования территориальных зон объектов техногенной безопасности при введении государственного земельного кадастра // Славянский форум. 2017. № 3 (17). С. 144–149.

12. *Розенберг И.Н.* О единой транспортной политике в сфере железнодорожного транспорта // Славянский форум. 2015. № 3 (10). С. 244–250.

13. *Розенберг И.Н.* Пространственное управление в сфере транспорта // Славянский форум. 2015. № 2 (8). С. 268–274.

14. *Розенберг И.Н., Макаров С.О.* Геоинформационный сервис в железнодорожном транспорте // Славянский форум. 2017. № 3 (17). С. 150– 156.

15. *Гоголева Н.Н., Иващенко И.А.* Геоинформационные системы в сфере туризма// Славянский форум. 2017. № 3 (17). С. 175 – 180.

16. *Зевеке О.Ю* Современные тенденции развития городского туризма // Славянский форум. 2013. № 2 (4). С. 91–96.

17. *Харитонов С.В., Шайтура С.В.* Маркетинговый интеллектуальный анализ данных развития туризма в крымском регионе // Славянский форум. 2015. № 4 (10). С. 334–339.

18. *Шайтура С.В., Шайтура А.С., Кожаев Ю.П., Харитонов С.В., Степаненко Н.В., Цветков В.Я.* Теория и практика геомаркетинг. Бургас: Институт гуманитарных наук, экономики и информационных технологий, 2016.

19. *Tsvetkov V.Ya.* Cognitive information models (2014c)// Life Science Journal. 2014. № 11(4). P. 468–471.

20. *S.A. Kudzh and V.Ya. Tsvetkov.* Conceptual Model of Energy Conservation Management // Biosciences biotechnology research Asia, - November 2014. Vol. 11 (Spl. Edn.), P. 113–116. doi: http://dx.doi.org/10.13005/bbra/1447.

21. *Shaytura S.V.* Spatial Information Mining // European Journal of Technology and Design. 2016. № 2 (12). С. 63–71.

22. *Шайтура С.В., Сумзина Л.В.* Геоинформационный сервис при выборе маршрута шелкового пути // Славянский форум. 2017. № 2 (16). С. 209 – 212.

23. *Шайтура С.В., Сумзина Л.В., Кочетков А.С., Кудров Ю.В.* Теоретические основы рабочих процессов объектов геоинформационного сервиса. Бургас: Институт гуманитарных наук, экономики и информационных технологий. 2017, 340 с.

24. *Неделькин А.А., Степанова М.Г., Шайтура С.В.* Интегрированная система управления предприятием // Славянский форум. 2016. № 2 (12). С. 180–187.

25. *Неделькин А.А., Шайтура С.В., Степанова М.Г.* Комплексная система автоматизации // Славянский форум. 2016. № 2 (12). С. 188–195.

Обзор web-ориентированных геоинформационных систем на базе графической библиотеки CESIUM

Младший научный сотрудник **П.Ю. Орлов,** профессор **И.Г. Журкин**

Московский государственный университет геодезии и картографии
knightrider3e0@gmail.com

Введение. На текущий момент стандарт WebGL — это одна из основных Web-ориентированных технологий, являющаяся высокоэффективным программным интерфейсом для взаимодействия с графическим аппаратным обеспечением пользователя и достигающая наибольшей производительности на системах, оборудованных современными графическими ускорителями последнего десятилетия [1, 2]. В свою очередь, графическая библиотека *Cesium*, базирующаяся на данной технологии, представляет собой кроссплатформенное, кроссбраузерное, плагинонезависимое инструментальное средство разработки Web-ГИС решений и позволяет осуществлять обработку и визуализацию как статических, так и динамических геопространственных данных [3]. Она находит своё применение в таких отраслях, как: сельское хозяйство, архитектура и строительство, анализ воздушных и космических средств гражданского и военного назначения, энергетика, концепция «Умный город», образование и гума-

нитарные науки, виртуальная реальность и др. Поэтому далее будут рассмотрены некоторые наиболее примечательные проекты, созданные на её основе.

ГИС NationalMap. Компания *Data61* — подразделение Государственного объединения научных и прикладных исследований Австралии, использует библиотеку *Cesium* в рамках Web-ГИС *NationalMap* собственной разработки, предоставляющей доступ к пространственным данным различных правительственных учреждений Австралии и отображающей их на карте в режиме 2D или 3D [4]. Помимо библиотеки *Cesium*, для работы с каталогами используется открытая библиотека *TerriaJS*, а также *Leaflet* — для традиционного картографического представления в проекции Меркатора. Стоит отметить, что данные не хранятся в самой ГИС, а подгружаются из хранилищ данных государственных ведомств на основе признанных международных стандартов *Open Geospatial Consortium*, включающих открытые протоколы и форматы данных (например, *WMS*). Это обеспечивает централизованный доступ к различным подведомственным базам данных (БД). Кроме того, пользователи могут получить информацию о том, где они могут получить сами БД и в каких программных продуктах их применять.

В настоящий момент, пользователям доступно более 4000 наборов данных, предоставляемых 30 различными ведомствами, с информацией, в частности, о доступности в Австралии широкополосного доступа в сеть Интернет, локализации открытых водоёмов и местонахождения предприятий по переработке отходов, границах избирательных участков и т.д. (рис. 1). Кроме того, возможна загрузка собственных наборов данных в форматах: *JSON*; *GPX*; *CZML*; *CSV*; *KML* (и архивированный *KMZ*); *GeoJSON* (открытый стандарт кодирования наборов географических объектов наряду с их непространственными атрибутами, основанный на текстовом формате обмена данными *JSON*).

ГИС *NationalMap* может работать с двумя типами электронных таблиц в формате *.CSV*.

1. Таблицы с положениями точек для каждой строки, выраженные в виде двух столбцов: широта и долгота. В рамках ГИС содержимое

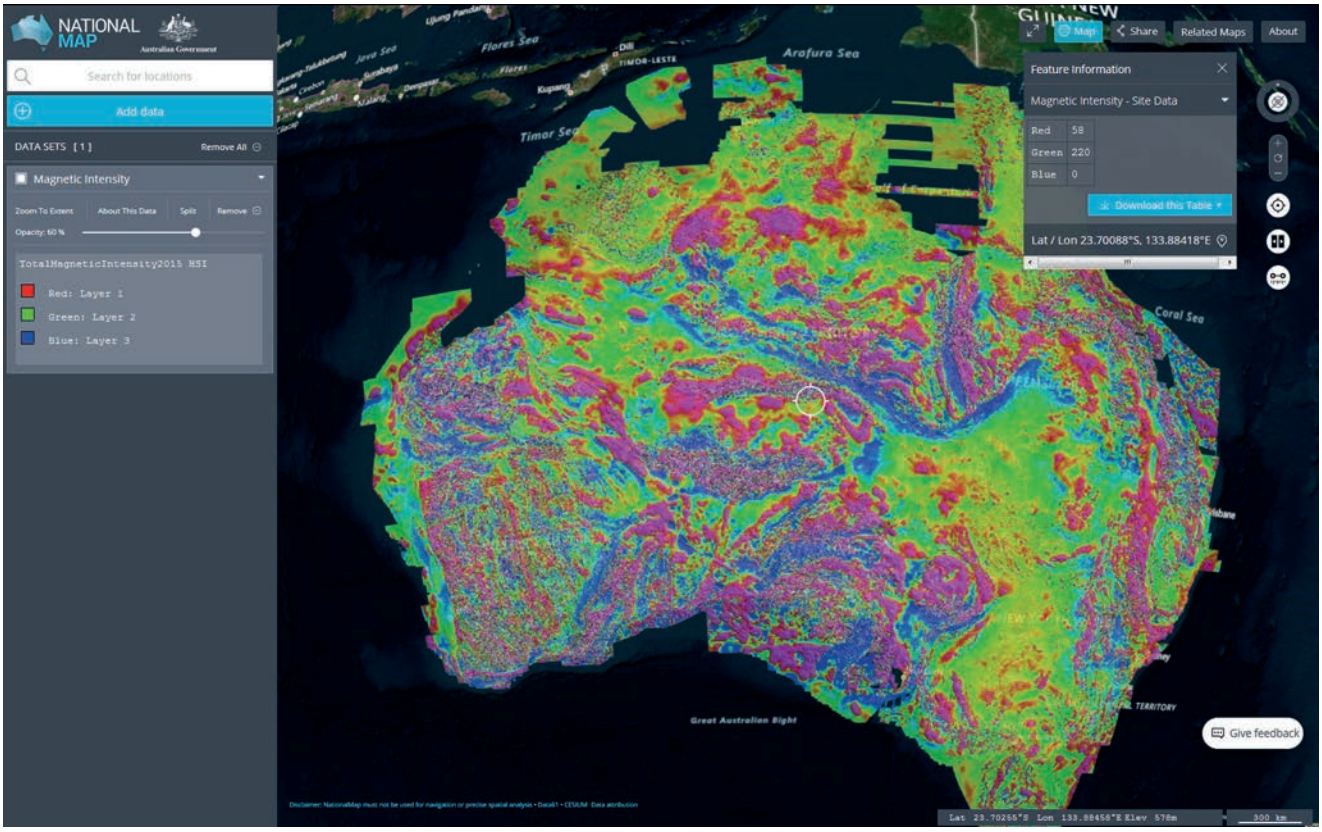

Рис. 1. Пример визуализации напряженности магнитного поля на территории Австралии в ГИС NationalMap на основании составной опорной сети (размер ячейки матрицы - 3″ или 80 м)

таблицы визуализируется в виде точек (кругов).

2. Таблицы, в которых каждая строка описывает регион, такой как местный орган управления (государственный орган), субъект, почтовый индекс, учётную единицу и др. При этом столбцы должны быть поименованы в соответствии со спецификацией *csv-geo-au 1.5*. Содержимое таблиц отображается в виде областей, описывая фактическую форму визуализируемых территорий.

Пользователи могут загружать к себе на компьютер интересующие их наборы данных в необработанном виде, а также сведения по определённым объектам (точечным и/или площадным) в форматах *.CSV* и *.JSON*.

Данная ГИС предназначена для правительства, представителей бизнеса и простых граждан с целью стимулирования использования открытых данных и поддержки коммерческих и общественных разработок. Работа с данной ГИС возможна, как на настольных системах, так и на мобильных платформах.

ГИС Bhuvan 3D. Web-ориентированная ГИС *Bhuvan 3D*, созданная Индийской организацией космических исследований (*ISRO*), представляет собой цифровой глобус, ориентированный на индийский рынок, в основе которого также лежит библиотека *Cesium* [5]. Данная геоинформационная система является бесплатной, не требует установки дополнительного программного обеспечения и доступна через любой Web-обозреватель (рис. 2).

ГИС *Bhuvan 3D* обладает удобным инструментарием пользователя для навигации, сходным с Google Earth, а также поисковой системой. В качестве растровой подложки выступают тайлы, сформированные на основе материалов дистанционного зондирования, полученных с национальных индийских спутников ДЗЗ: *Resourcesat-1*, *Cartosat-1* и *Cartosat-2*. Кроме того, пользователю доступны дополнительные слои со следующими объектами: административное деление (3 слоя — для штатов, территорий и более мелких субъектов), объекты инфраструктуры (автомобильные и железные дороги), органы местного самоуправления и объекты гидрографии. Также возможно произвести запись на видео всех своих действий в ГИС, а затем просматривать её в том же рабочем окне, либо сделать мгновенный снимок экрана и сохранить его на своей рабочей станции.

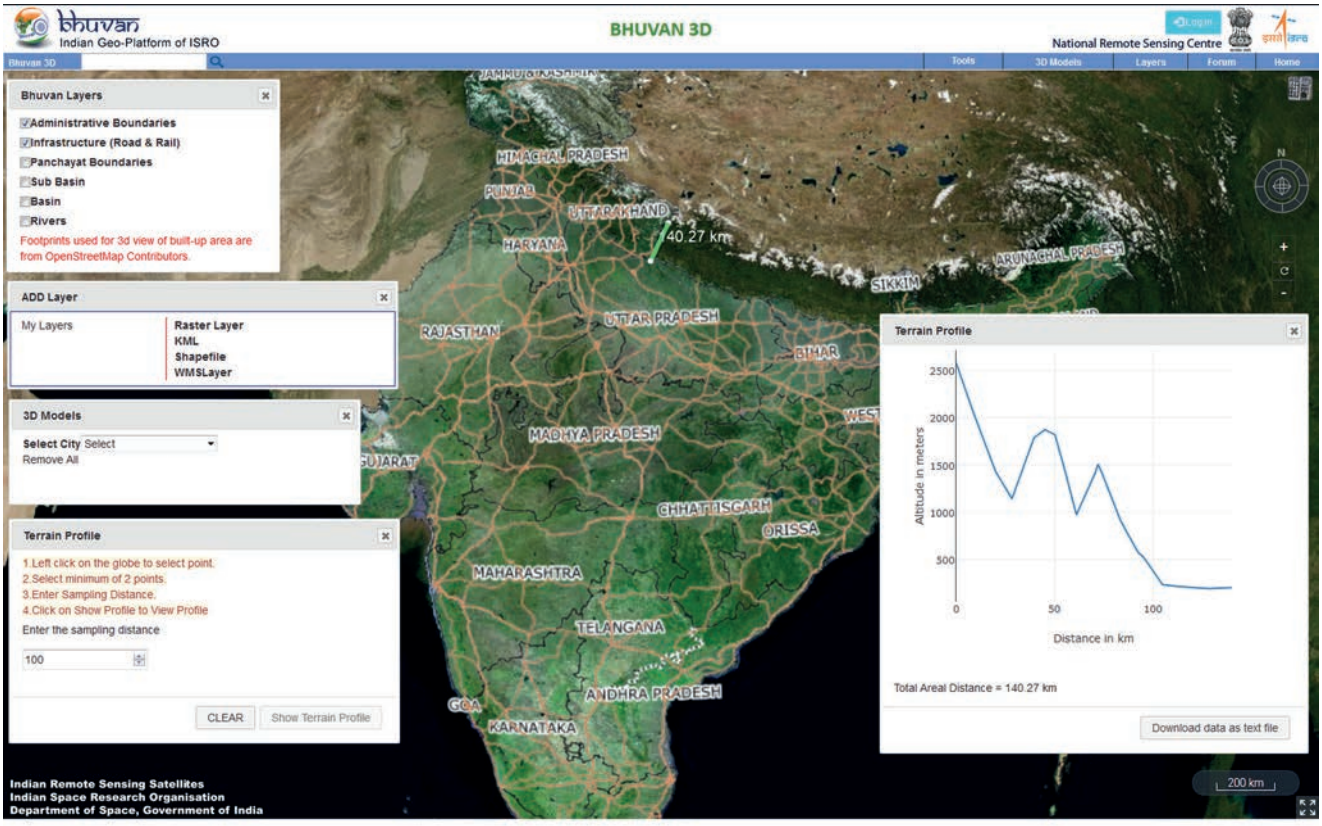

Рис. 2. ГИС *Bhuvan 3D* (Индия). Продемонстрирована растровая подложка, созданная на основе материалов ДЗЗ с национальных индийских спутников, модальные окна для работы с различными функциями ГИС, включая 140 км профиль подножья индийский Гималаев, построенный по 100 точкам

Доступна возможность добавлять собственные векторные объекты: метки, полилинии и полигоны. Зарегистрированный пользователь может загружать собственные данные, в том числе и 3D-модели. Помимо прочего, в данной ГИС есть возможность анализа профиля местности по нескольким точкам, построения графика изменения высоты рельефа и выгрузки данных в текстовый файл. В настоящий момент, для просмотра доступны тестовые трёхмерные модели объектов городской застройки в формате *.gltf* (формат 3D-моделей *Cesium*). В перспективе ГИС должна быть пополнена следующими функциями:

создание, обработка, импорт и экспорт shape-файлов;

добавление пользователем к существующим слоям отсутствующих дорог, авто- и железнодорожных узлов, светофоров и т.д.;

ручная векторизация для добавления пользователем горизонталей.

К недостаткам данной ГИС следует отнести: отсутствие цветокоррекции мозаик растровой подложки; взаимное перекрытие дополнительных слоёв данных, в результате чего отображаемые объекты на нижнем слое скрыты под верхним слоем; долгую загрузку данных; задержки при масштабировании сцены; отображение справочной панели под панелью навигации; отсутствие указания направлений и невозможности загрузки в систему файлов в формате .kml. Кроме того, данная ГИС не адаптирована для корректной работы на многих мобильных платформах, включая Android, хотя ранее Bhuvan 3D вообще не имел возможности работать на них из-за функции просмотра сферических панорам, реализованной на основе технологии Adobe Flash.

Проекты GPlates и GEOMAGNET. Проект *GPlates*, разработанный международным академическим объединением *EarthByte Group* [6], представляет собой портал с серией виртуальных глобусов для быстрой интерактивной визуализации глобальных геофизических и геологических данных, наложенных на цифровые модели рельефа, ядром которых является библиотека *Cesium* [7]. Глобусы служат для визуализации глобальной цифровой модели рельефа высокого разрешения и вертикального градиента гравитационного поля Земли (рис. 3), выделяя мелкие детали рельефа морского

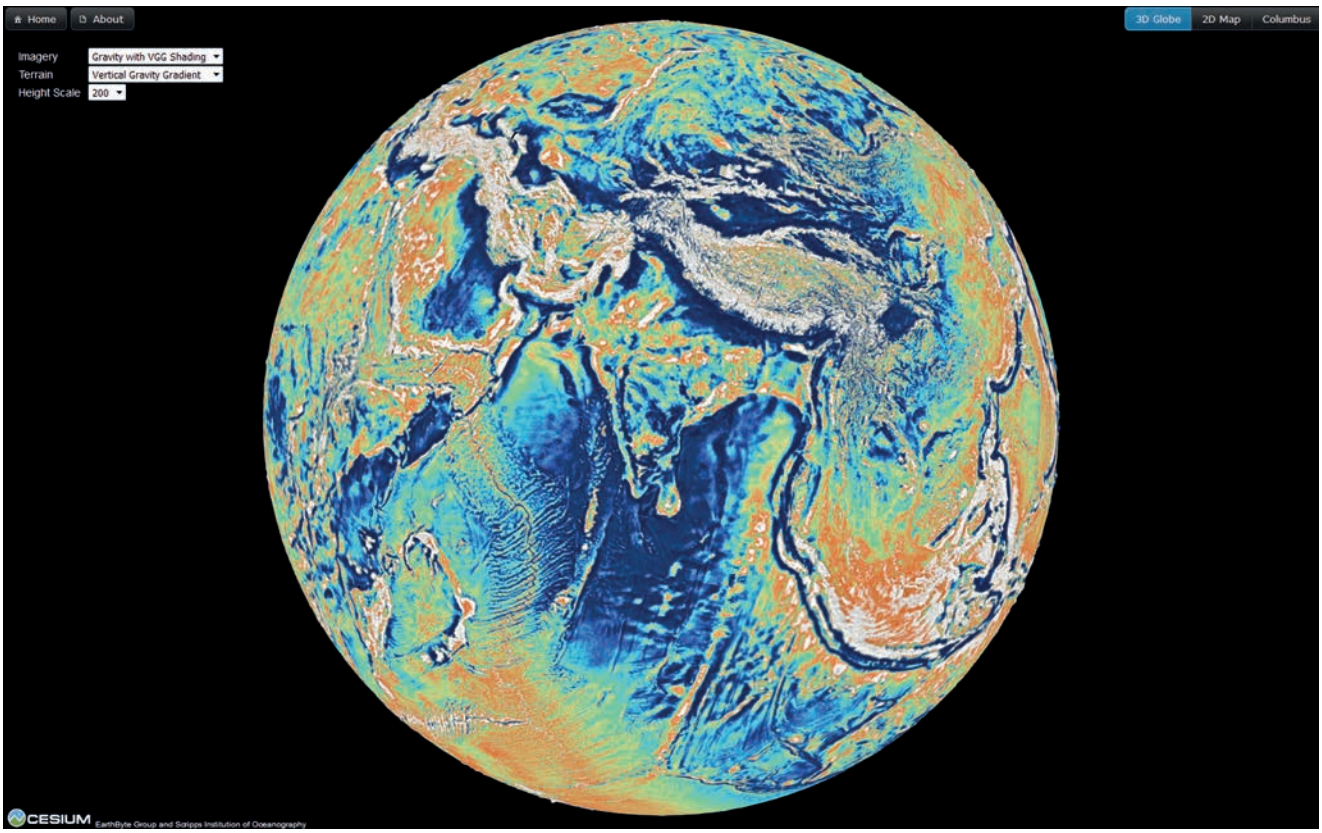

Рис. 3. Визуализация вертикального градиента силы тяжести в рамках ГИС-проекта *GPlates*. Отчетливо видна Индийская плита в центре, Гималаи к северу от нее и Яванский (Зондский) жёлоб к юго-востоку

дна, такие как абиссальные холмы, зоны разломов и подводные возвышенности. На портале также представлены глобусы, характеризующие геологию морского дна и глобальный набор данных по обнаружению морских магнитных аномалий. Портал специально разработан для визуализации моделей Земли, меняющихся на протяжении геологических эпох. Представленные на портале виртуальные глобусы включают в себя структурные воспроизведения моделей гравитационных и магнитных полей Земли, а также нескольких моделей длинноволновой поверхностной динамической топографии, включая интерактивное построение вертикальных движений в нужных пользователю областях Земли.

В качестве отечественного примера геоинформационной системы, созданной на основе библиотеки *Cesium*, можно привести научно-исследовательский проект *GEOMAGNET*, разрабатываемый в стенах Уфимского государственного авиационного технического университета [8]. Данный портал служит для обеспечения комплексного мониторинга, анализа и интерпретации параметров космической погоды, геомагнитного поля и его вариаций. Распределение параметров главного геомагнитного поля (ГМП) по земной поверхности описывается посредством комбинируемых линий уровня (изолиний) и сплайнов, расположенных на интерактивном виртуальном глобусе (рис. 4). Каждой линии уровня ставится в соответствие контекстное меню, отражающее значения параметра ГМП [9].

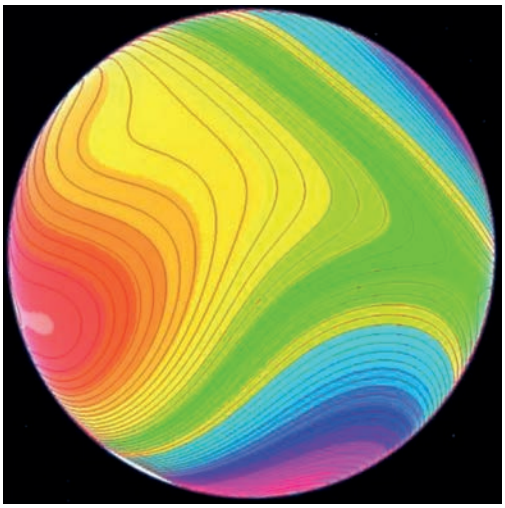

Рис. 4. Визуализация данных в рамках проекта GEOMAGNET, полученных с искусственного спутника ACE (Advanced Composition Explorer), осуществляющего мониторинг фактических параметров главного магнитного поля в режиме реального времени

Заключение. Первые работы по созданию Web-ГИС начались ещё в начале 90-х гг. XX века, и на тот момент никто не подозревал, что они станут наиболее эффективным средством для обработки распределённых данных и быстрого представления результатов их обработки для широкого круга пользователей, зачастую не имеющих отношения к научной сфере. Инструментальная библиотека Cesium с её открытым исходным кодом и ряд проектов, созданных с её помощью, подчёркивают преимущества web-ориентированных ГИС по сравнению с настольными решениями.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (№5.6680.2017/8.9).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Angel, E.; Shreiner, D.* Interactive Computer Graphics: A Top-Down Approach with WebGL. 7th Edition, Pearson, 2015. 736 pp.

2. *Cozzi, P.; Ring, K.* 3D Engine Design for Virtual Globes; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2011. 520 pp.

3. Электронный ресурс: Инструментальное средство разработки web-ГИС Cesium. https://cesiumjs.org/

4. Электронный ресурс: Геоинформационная система NationalMap. https://nationalmap.gov.au/

5. Электронный ресурс: Геоинформационная система Bhuvan 3D. http://bhuvan.nrsc.gov.in/globe/3d.php

6. *Müller, R.D., Qin, X., Sandwell, D.T., Dutkiewicz, A., Williams, S.E., Flament, N., Maus, S., & Seton, M.* (2016). The GPlates Portal: Cloud-Based Interactive 3D Visualization of Global Geophysical and Geological Data in a Web Browser. PLoS ONE, 11(3), e0150883. doi: 10.1371/journal.pone.0150883

7. Электронный ресурс: Портал GPlates. http://portal.gplates.org/

8. Электронный ресурс: Проект GEOMAGNET. https://www.geomagnet.ru/

9. *Воробьев А.В., Воробьева Г.Р.* Веб-ориентированная 2D/3D-визуализация параметров геомагнитного поля и его вариаций // Научная визуализация. 2017. Т. 9. № 2. С. 94–101.