

Осязаемые интерфейсы для виртуальных реконструкций музейных экспонатов

К.В. Рябинин¹, А.И. Ахтамзян², М.А. Колесник³, Е.В. Сударикова²

kostya.ryabinin@gmail.com|darnhalm@gmail.com|kolesnik.ma@outlook.com|elsud@darwinmuseum.ru

¹Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия;

²Государственный Дарвиновский музей, Москва, Россия;

³Пермский краеведческий музей, Пермь, Россия

В данной статье предлагается подход к созданию киберфизических музейных экспонатов на основе методов и средств научной визуализации, Интернета вещей, аддитивных технологий и онтологического инжиниринга. Киберфизический экспонат включает в себя виртуальную и реальную составляющие, тесно переплетённые друг с другом. Научная визуализация используется как методологическая и технологическая основа наглядного представления виртуальной части экспоната, в роли которой могут выступать релевантный цифровой контент и 3D-реконструкции. Интернет вещей является основой создания осязаемого пользовательского интерфейса к соответствующим программным средствам визуализации. Аддитивные технологии позволяют создавать виртуальные реконструкции и высокоточные реплики музейных экспонатов. Онтологический инжиниринг обеспечивает адаптивные механизмы бесшовного встраивания новых киберфизических экспонатов в существующую цифровую инфраструктуру музеев. Предложенный подход использован на практике при создании киберфизических экспонатов в Государственном Дарвиновском музее (г. Москва) и Музее пермских древностей (г. Пермь).

Ключевые слова: музей, научная визуализация, Интернет вещей, осязаемый интерфейс, киберфизическая система, аддитивные технологии, онтологический инжиниринг.

Tangible Interfaces for the Virtual Reconstructions of Museum Exhibits

K.V. Ryabinin¹, A.I. Akhtamzyan², M.A. Kolesnik³, E.V. Sudarikova²

kostya.ryabinin@gmail.com|darnhalm@gmail.com|kolesnik.ma@outlook.com|elsud@darwinmuseum.ru

¹Perm State University, Perm, Russia;

²State Darwin Museum, Moscow, Russia;

³Perm Regional Museum, Perm, Russia

In this paper we propose an approach to create cyber-physical museum exhibits based on the methods and means of scientific visualization, Internet of things, additive technologies and ontology engineering. Cyber-physical exhibit consists of tightly interconnected virtual and real parts. Scientific visualization is used as methodological and technological basis for presenting the virtual part, which can contain relevant digital content and 3D-reconstructions. Internet of things is a core technology to create tangible interfaces for the corresponding visualization software. Additive technologies allow creating virtual reconstructions and precise copies of museum exhibits. Ontology engineering provides adaptive mechanisms for seamless integration of new cyber-physical exhibits into the existing digital infrastructure of museums. The proposed approach is used in practice to create cyber-physical exhibits in State Darwin Museum (Moscow) and Museum of Permian Antiquities (Perm).

Keywords: museum, scientific visualization, Internet of things, tangible interface, cyber-physical system, additive manufacturing, ontology engineering.

1. Введение

Концепция осязаемых человеко-машинных интерфейсов (англ. Tangible User Interface, TUI), предложенная в 1997 году Хироши Ишии (Hiroshi Ishii) [3], в настоящее время с развитием технологий Интернета вещей (англ. Internet of Things, IoT) [5] выходит на новую элементную базу программируемой микроэлектроники. Симбиоз TUI и IoT открывает возможности организации т. н. киберфизических систем (англ. Cyber-Physical System, CPS) [10] – систем, в которых тесно переплетаются реальный и виртуальный миры. Реальные и виртуальные объекты в таких системах дополняют друг друга, находясь в постоянной взаимосвязи, причём манипуляции над реальными влияют на виртуальные, и наоборот. Концепция CPS подразуме-

вает, что грань между материальным миром и киберпространством делается настолько тонкой, насколько это позволяют используемые программно-аппаратные средства, и в идеале оказывается совершенно незаметной для пользователя. CPS делают возможной четвертую промышленную революцию [4], открывая для человечества качественно новые пути взаимодействия с программным обеспечением вычислительных систем и, как следствие, качественно новые горизонты использования цифровых технологий.

Одним из многочисленных практических применений CPS являются интерактивные экспонаты в музеях. В настоящее время использование технологий IoT в музейном деле с целью мониторинга активности посетителей, организации навигации внутри музейных помещений и создания интерактивных выставок оформ-

милось в концепцию т. н. умных музеев (англ. Smart Museum) [1]. Превращение музейных предметов и соответствующего им цифрового контента в CPS – закономерный шаг в развитии данной концепции.

Организация музейного пространства в виде CPS способна в значительной степени увеличить привлекательность и запоминаемость экспозиции, а также обеспечить посетителей большим разнообразием информации и, как следствие, расширить потенциал музея как научно- и культурно-просветительской площадки.

Однако практическая реализация CPS на базе имеющегося в музеях материала сопряжена с рядом технических трудностей:

1. Встаёт вопрос максимального переиспользования имеющихся в музеях средств: организации TUI на базе предметов из музейных фондов, а также использования имеющегося цифрового контента и средств его отображения (т. н. бесшовное встраивание CPS в инфраструктуру музея).
2. Возникает острая нехватка высокоуровневых средств для развёртывания и последующего управления CPS в условиях небольшого количества IT-специалистов в штате музейных сотрудников.

В рамках предыдущих исследований нами были предложены методы и высокоуровневые средства автоматизации создания аппаратных человеко-машинных интерфейсов на базе онтологического инжиниринга и технологий IoT [7], а также сформулирована концепция применения технологий IoT и научной визуализации для создания интерактивных музейных экспонатов [8]. Целью данной работы является синтез результатов предыдущих исследований и формулирование на их основе общей концепции создания музейных CPS, а также применение этой концепции на практике при создании киберфизических музейных экспонатов в Московском Государственном Дарвиновском музее и Музее пермских древностей.

2. Концепция создания киберфизических музейных экспонатов

Чаще всего музейные экспонаты уязвимы к тактильным взаимодействиям, и музеи находятся в постоянном поиске средства, которое бы «размыло» стекло витрины, отделяющее посетителя от предметов культуры. При этом любая экспозиция «за стеклом», будь то постоянная, или только временная выставка, образует нарратив, который может быть прочитан посетителями на разных уровнях. В некотором смысле экспонат выступает как текст, как часть рассказа. Экспонат музея представляет собой знак, символ, раскрытие которого дает нам наряду с эстетическим переживанием некую информацию. Эта дешифровка текста музейного объекта является своеобразным дополнением к уже имеющимся у нас знаниям.

При этом обычно посетителю доступен только визуальный контакт с предметами в витринах, максимум – аудиальный контакт или оцифрованные версии предметов (с которыми современный уровень учреждений

культуры в России позволяет знакомиться, не выходя из дома). Пространственные ограничения заметно влияют на коммуникативную систему «автор экспозиции – реципиент», и CPS являются способом расширить возможности посетителя по восприятию заложенной в экспозиции информации, добавив к прочим аспектам восприятия тактильный канал.

В контексте музейного дела предлагается следующий состав CPS:

1. Физические объекты: музейные предметы, оснащённые построенными на базе технологий IoT датчиками, способными детектировать то или иное взаимодействие с посетителем, а также актуаторами (исполнительными устройствами: электродвигателями, соленоидами и т. п.), способными при необходимости обеспечить обратную связь с посетителем.
2. Виртуальные объекты: дополняющий музейные предметы цифровой контент, в первую очередь выраженный графическим материалом, отображаемым с использованием методов и средств научной визуализации, чтобы обеспечить необходимый уровень достоверности подаваемой посетителю информации.
3. Дисплейное оборудование, предназначенное для отображения виртуальных объектов. Следует отметить, что в роли такого оборудования могут выступать как стационарные мониторы или проекционные экраны, размещённые в музее, так и личные электронные устройства посетителя: смартфоны или планшеты.

Практическая реализация CPS такого состава сталкивается со следующими проблемами, решение которых предлагается как часть формулируемой концепции.

Во-первых, музейные предметы, ввиду их хрупкости, ветхости и/или уникальности, зачастую недопустимо снабжать какими-либо электронными и электромеханическими устройствами, а также недопустимо организовывать прямое (например, тактильное) взаимодействие с ними посетителей. В такой ситуации в роли физических объектов CPS предлагается использовать не сами фондовые экземпляры, а их высокоточные реплики – реконструкции, выполненные посредством аддитивных технологий [2] с применением 3D-сканеров и 3D-принтеров.

Во-вторых, в настоящее время в музеях зачастую уже присутствует некоторый мультимедийный контент, отображаемый при помощи размещённого в музее электронного оборудования: «живые этикетки» (мониторы с отображаемой на них дополнительной информацией об экспонатах), мультимедийные инсталляции (например, виртуальные экспонаты, интерфейс которых построен на системах оптического распознавания жестов, таких, как MS Kinect), интерактивные киоски (отображающие какой-либо интерактивный тематический материал или организующие мини-игры, соответствующие тематике выставки) и др. Контент и оборудование функционируют внутри некоторой раз-

вёрнутой в музей цифровой инфраструктуры, к которой привыкли и которой умеют пользоваться ответственные за неё музейные сотрудники. При внедрении CPS встаёт вопрос максимального переиспользования имеющейся в музее элементной и контентной базы, чтобы, во-первых, минимизировать финансовые затраты, а во-вторых, снизить порог вхождения сотрудников. Иными словами, внедрение CPS должно происходить на принципах обогащения имеющейся цифровой инфраструктуры музея, а не полной её замены. Это, в свою очередь, требует наличия адаптивных инструментов организации CPS, позволяющих интегрировать различные TUI, системы управления контентом (англ. Content Management System, CMS) и средства его отображения (в частности – средства научной визуализации).

В качестве инструментария, удовлетворяющего указанным требованиям, предлагается использовать разработанную в рамках предыдущих исследований адаптивную мультиплатформенную систему научной визуализации SciVi [7]. Поведение этой системы управляется лежащей в её основе онтологической базой знаний, что обеспечивает её адаптивность и масштабируемость [7]. Возможность использования SciVi в качестве основы превращения существующих цифровых музейных инфраструктур в полноценные CPS обусловлена следующими функциями системы, доступными пользователям посредством высокоуровневого графического интерфейса:

1. Механизмы автоматизированной интеграции (включая прямую и обратную связь) со сторонними источниками данных, включая статические хранилища и динамические генераторы (программно-аппаратные решатели) [9].
2. Пополняемый набор настраиваемых механизмов предобработки данных, подлежащих визуализации [9].
3. Пополняемый набор настраиваемых механизмов, визуальных объектов и графических сцен для рендеринга данных [9].
4. Настраиваемые механизмы взаимодействия с аппаратными человеко-машинными интерфейсами [7].
5. Возможность автоматизированного создания легких копий SciVi, работающих в виде прошивок электронных устройств в экосистеме IoT [8].
6. Поддержка работы в режиме промежуточного ПО (англ. Middleware), обеспечивающего взаимодействие (в разных комбинациях) аппаратных устройств из экосистемы IoT, решателей, генерирующих данные, и визуализаторов, отображающих эти данные [7].

Благодаря вышеперечисленным функциям система SciVi может быть использована в роли набора соединительных механизмов для объединения IoT-устройств, хранилищ и генераторов данных, а также средств их визуализации в единую экосистему, в частности – в CPS. Следует отметить, что за счёт адаптивных интеграционных средств SciVi, любые из указанных элементов CPS могут быть как созданы на основе этой

системы с нуля, так и взяты в неизменном виде из существующей цифровой инфраструктуры музея. Тем самым оказывается возможным осуществить бесшовное встраивание CPS в музейную экспозицию.

Предложенная концепция была проверена на практике при создании различных киберфизических музейных экспонатов.

3. Киберфизический экспонат «Бонобо»

Киберфизический экспонат «Бонобо» является частью экспозиции «Бонобо. Фотовыставка о вымирающем виде человекообразных обезьян» в Государственном Дарвиновском музее (г. Москва) [12]. Он основан на 3D-модели черепа обезьяны бонобо (*Pan paniscus* Schwarz, 1929), полученной методом трёхмерного сканирования оригинала и предоставленной бельгийским Королевским музеем Центральной Африки [6]. Доступ к модели и её визуализация осуществляются посредством облачного сервиса Sketchfab [11]. Модель отображается в стандартном программном просмотрщике этого сервиса на установленном в музее терминале (киоске с компьютером и монитором, имеющем доступ в Интернет).

Создание экспоната происходило на принципах обогащения имеющейся в музее цифровой инфраструктуры: киоска с монитором, имеющего доступ к сервису Sketchfab, и беспроводной сети WiFi. Нововведением, превратившим имеющийся экспонат в киберфизический, стало IoT-устройство на базе микроконтроллера ESP8266 с датчиком пространственной ориентации (гиростабилизатором) GY-85 и тактовыми кнопками. Корпусом устройства была сделана распечатанная на 3D-принтере модель черепа бонобо. Устройство используется в качестве джойстика, управляющего отображаемой на мониторе киоска 3D-моделью: гиростабилизатор обеспечивает синхронизацию пространственной ориентации распечатанного черепа и 3D-модели, а нажатия размещённых на распечатанном черепе тактовых кнопок приводят к выводу на экране дополнительной информации о соответствующих зонах черепа. Текстовая информация продублирована аудиогидом.

Схема работы киберфизического экспоната «Бонобо» приведена на рис. 1. При создании данного экспоната система SciVi была использована для генерации прошивки IoT-устройства, обеспечивающего аппаратную часть TUI, и промежуточного ПО для трансляции команд от TUI сервису Sketchfab.

4. Киберфизический экспонат «Титанофон»

В основной экспозиции Музея пермских древностей находится анатомическая отливка титанофона (*Titanophoneus potens* Efremov, 1938), крупного хищного звероящера отряда Dinocerphalia, жившего в середине пермского периода. Для данного отряда характерна очень широкая внутривидовая изменчивость: различия между молодыми и взрослыми особями достаточны, чтобы принять их за разные виды, и даже ро-

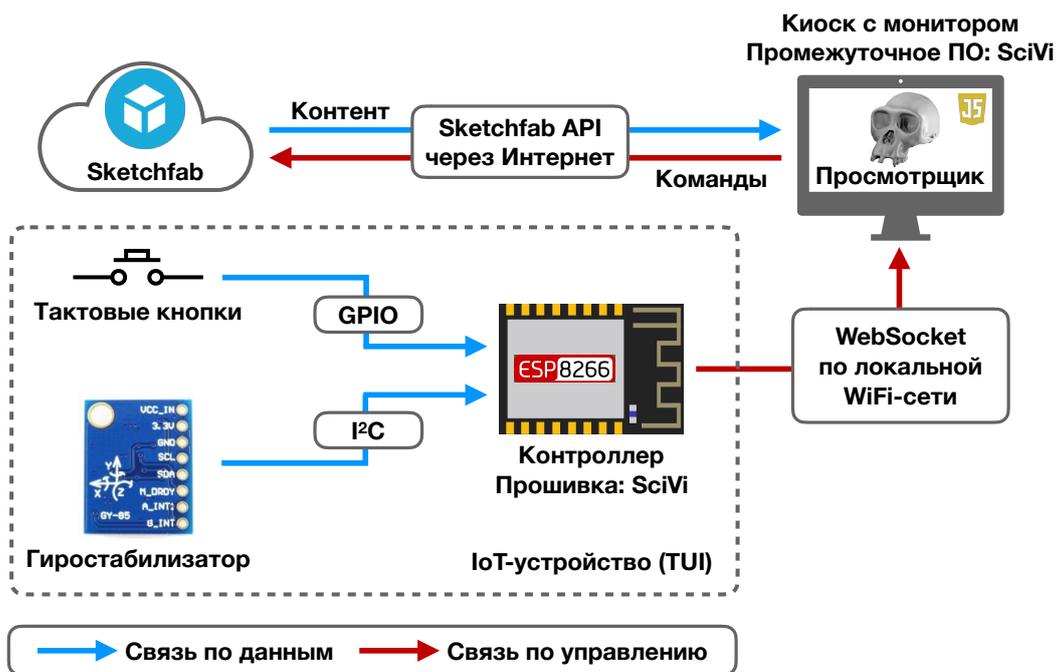


Рис. 1. Принципиальная схема работы киберфизического экспоната «Бонобо».

да. Ефремов в 1938 году описал титанофона по молодой особи (Скелет №157/1, Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН) [13]. В дальнейшем, в 2005 году, Ивахненко показал, что представитель вида *Doliosauriscus adamanteus* Orlov, 1958 является старым титанофоном [14]. Таким образом, имеющийся в Музее пермских древностей экспонат не даёт комплексного представления о морфологии вида.

Для решения данной проблемы было предложено изготовить киберфизический экспонат, состоящий из IoT-устройства и установленного в музее компьютера с монитором. Корпусом IoT-устройства являются две распечатанные на 3D-принтере модели черепов молодого и старого титанофона соответственно. Модели построены в Музее пермских древностей на основе материалов, предоставленных московским Палеонтологическим институтом РАН. Черепа размещены на одной линии, на расстоянии 40 см. В один из черепов вмонтирован датчик расстояния до препятствия VL53L0X, соединённый с микроконтроллером ESP8266. Микроконтроллер передаёт измеренное датчиком расстояние по протоколу WebSocket (посредством беспроводного WiFi-соединения) на компьютер, где это расстояние интерпретируется как параметр морфинга между тремя 3D-моделями черепов: молодого, среднего и старого титанофонов. Посетитель музея, помещая руку между черепами, может наблюдать за возрастными изменениям данного животного.

Схема работы киберфизического экспоната «Титанофон» приведена на рис. 2. При создании данного экспоната система SciVi была использована для генерации прошивки IoT-устройства и визуализации результатов морфинга 3D-моделей черепов титанофона.

5. Заключение

В результате проведённых исследований была предложена концепция развёртывания CPS в музейном пространстве. Ключевой идеей концепции является применение адаптивной мультиплатформенной системы научной визуализации и визуальной аналитики SciVi. Адаптационные механизмы этой системы позволяют использовать её в качестве эффективного связующего программного обеспечения для обогащения имеющейся в музее цифровой инфраструктуры новыми средствами управления мультимедийным контентом. Тем самым достигается бесшовное встраивание новых интерактивных возможностей в имеющуюся музейную экспозицию, например, создание на основе технологий IoT осязаемых интерфейсов к существующим музейным предметам.

Применимость и эффективность предложенной концепции проверена на практике при создании двух киберфизических музейных экспонатов: черепа обезьяны бонобо в Государственном Дарвиновском музее и черепов титанофона в Музее пермских древностей. Использование TUI в данных экспонатах позволило расширить спектр представляемой ими информации, обеспечивая ранее невозможное тактильное взаимодействие посетителя с музейными объектами и необходимую обратную связь при этом взаимодействии.

В будущем планируется изучение вопросов защиты беспроводных киберфизических экспонатов от кражи, а также дальнейшее обогащение цифровой инфраструктуры музеев тактильными пользовательскими интерфейсами.

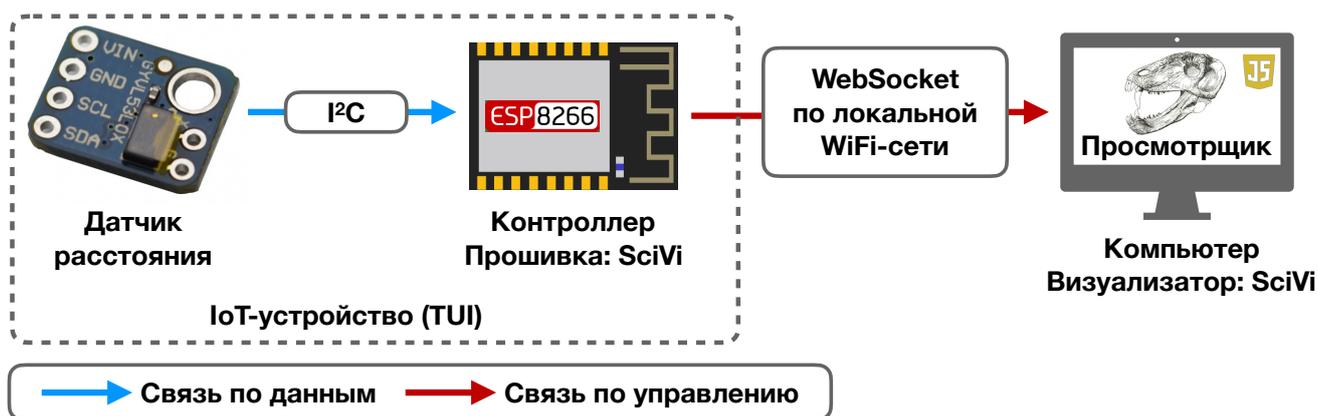


Рис. 2. Принципиальная схема работы киберфизического экспоната «Титанофон».

6. Благодарности

Авторы выражают благодарность Авроре Матис (Aurore Mathys), Королевский музей Центральной Африки, Бельгия, за предоставление 3D-скана черепа обезьяны бонобо.

Авторы выражают благодарность Константину Тарасенко, Валерию Голубеву, Андрею Сенникову, Палеонтологический институт имени А.А. Борисяка РАН, Москва, за предоставление доступа к голотипу звероящера титанофона.

7. Литература

- [1] Chianese, A., Piccialli, F. Designing a Smart Museum: when Cultural Heritage Joins IoT // Third International Conference on Technologies and Applications for Smart Cities (I-TASC'14). – 2014. – 7 p. DOI: 10.1109/NGMAST.2014.21.
- [2] Hassanin, H., Jiang, K. Chapter 10 - Net Shape Manufacture of Freestanding Ceramic Micro-components through Soft Lithography // Micromanufacturing Engineering and Technology (Second Edition). – Elsevier, 2015. – PP. 239–256. DOI: 10.1016/B978-0-323-31149-6.00010-4.
- [3] Ishii, H., Ullmer, B. Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces Between People, Bits and Atoms // CHI '97 Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. – ACM, 1997. – PP. 234–241. DOI: 10.1145/258549.258715.
- [4] Marr, B. Why Everyone Must Get Ready For The 4th Industrial Revolution // Forbes. – 2016 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2016/04/05/why-everyone-must-get-ready-for-4th-industrial-revolution/> (Дата обращения 17.08.2019).
- [5] Rose, K., Eldridge, S., Chapin, L. The Internet of Things: an Overview // The Internet Society (ISOC). – 2015 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.internetsociety.org/resources/doc/2015/iot-overview> (Дата обращения 17.08.2019).
- [6] Royal Museum for Central Africa [Электронный ресурс]. URL: <https://www.africamuseum.be/> (Дата обращения 17.08.2019).
- [7] Ryabinin, K., Chuprina S., Belousov K. Ontology-Driven Automation of IoT-Based Human-Machine Interfaces Development // Lecture Notes in Computer Science. – Springer, 2019. – Vol. 11540. – P. 110–124. DOI: 10.1007/978-3-030-22750-0_9.
- [8] Ryabinin K., Kolesnik M. Using IoT Devices Powered by Scientific Visualization Tools to Create Interactive Paleontological Museum Exhibitions // Proceedings of 28th International Conference on Computer Graphics and Vision “GraphiCon 2018”. – Tomsk, 2018. – PP. 70–73.
- [9] Ryabinin, K., Chuprina, S. High-Level Toolset for Comprehensive Visual Data Analysis and Model Validation // Procedia Computer Science. – Elsevier, 2017. – Vol. 108. – PP. 2090–2099. DOI: 10.1016/j.procs.2017.05.050.
- [10] Sanfelice, R. Analysis and Design of Cyber-Physical Systems. A Hybrid Control Systems Approach // Cyber-Physical Systems: From Theory to Practice / Rawat D., Rodrigues J., Stojmenovic I. – CRC Press, 2015. – PP. 3–31. DOI: 10.1201/b19290-3.
- [11] Sketchfab [Электронный ресурс]. URL: <https://sketchfab.com/> (Дата обращения 17.08.2019).
- [12] Бонобо. Фотовыставка о вымирающем виде человекообразных обезьян. – 2018 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.darwinmuseum.ru/projects/exhibition/bonobo> (Дата обращения 17.08.2019).
- [13] Ефремов И.А. Некоторые новые пермские рептилии СССР // Докл. АН СССР, отд. геол. – 1938. – Т. 19, № 9. – С. 771–776.
- [14] Ивахненко М.Ф. Тетраподы Восточно-Европейского плакката – позднепалеозойского территориально-природного комплекса. – Пермский областной краеведческий музей, 2001. – 200 с.

Об авторах

Рябинин Константин Валентинович, к.ф.-м.н., доцент кафедры математического обеспечения вычислительных систем Пермского государственного национального исследовательского университета. E-mail: kostya.gyabinin@gmail.com.

Ахтамзян Амир Ильдарович, старший научный сотрудник отдела мультимедийных технологий Государственного Дарвиновского музея. E-mail: darnhalm@gmail.com.

Колесник Мария Александровна, магистр палеобиологии, ведущий научный сотрудник отдела природы Пермского краеведческого музея. E-mail: kolesnik.ma@outlook.com.

Сударикова Елена Владимировна, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела Государственного Дарвиновского музея. E-mail: elsud@darwin.museum.ru.