



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2022. Т. 22, вып. 4. С. 251–261

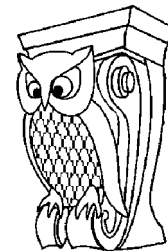
Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences, 2022, vol. 22, iss. 4, pp. 251–261

<https://geo.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2022-22-4-251-261>, EDN: DTFFDP

Научная статья

УДК 911.9:004.652



Геопорталы как инструмент доступа к облачным хранилищам данных о метагеосистемах

А. А. Ямашкин, С. А. Ямашкин✉

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарёва, Россия, 430005, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68

Ямашкин Анатолий Александрович, доктор географических наук, профессор, yamashkin56@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9995-8371>

Ямашкин Станислав Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, yamashkinsa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7574-0981>

Аннотация. Статья посвящена решению научной проблемы управления хранением пространственных данных посредством геопортальных систем на основе решения научной задачи анализа закономерностей пространственно-временной организации сложных динамических иерархически организованных метагеосистем. Доказывается, что задача интеграции больших массивов пространственной информации в инфраструктурах пространственных данных (ИПД) может быть решена на основе проектирования мультимодельных хранилищ, функционирующих на основе систем управления базами данных разных классов. Для повышения надежности систем интеграции пространственных данных целесообразно ориентироваться на микросервисную архитектуру, предполагающую организацию взаимодействия обособленных сервисов, каждый из которых выполняет свою конкретную задачу. В ИПД можно выделить следующие контексты использования микросервисов: геопорталы, системы анализа, обработки и управления пространственными данными, а также распределенные облачные хранилища.

Ключевые слова: геопорталы, пространственные данные, метагеосистемы, мультимодельные хранилища, микросервисная архитектура

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-27-00651, <https://rscf.ru/project/22-27-00651/>.

Для цитирования: Ямашкин А. А., Ямашкин С. А. Геопорталы как инструмент доступа к облачным хранилищам данных о метагеосистемах // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2022. Т. 22, вып. 4. С. 251–261. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2022-22-4-251-261>, EDN: DTFFDP

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Geoportals as a tool for access to cloud storage of metageosystems data

А. А. Yamashkin, S. A. Yamashkin✉

National Research Mordovia State University, 68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia

Anatoliy A. Yamashkin, yamashkinsa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9995-8371>

Stanislav A. Yamashkin, yamashkin56@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7574-0981>

Abstract. The article is devoted to solving the scientific problem of spatial data storage management using geoportal systems on the basis of solving the scientific problem of analyzing the patterns of spatiotemporal organization of complex dynamic hierarchically organized metageosystems. The paper proves that the problem of integrating large arrays of spatial information in spatial data infrastructures (SDIs) can be solved by designing multi-model storages operating on the basis of database management systems of different classes. To improve the reliability of spatial data integration systems, it is advisable to focus on a microservice architecture that involves organizing the interaction of separate services, each of which performs its own specific task. The following microservices usage contexts can be distinguished in the IPD: geoportals, spatial data analysis, processing and management systems, as well as distributed cloud storages.

Keywords: geoportals, spatial data, metageosystems, multi-model storages, microservice architecture

Acknowledgments. The research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation No. 22-27-00651, <https://rscf.ru/en/project/22-27-00651/>.

For citation: Yamashkin A. A., Yamashkin S. A. Geoportals as a tool for access to cloud storage of metageosystems data. *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2022, vol. 22, iss. 4, pp. 251–261 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2022-22-4-251-261>, EDN: DTFFDP

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC0-BY 4.0)



Введение

Ландшафтная оболочка является ареной многовекового развития процессов хозяйственного освоения, формирования широкого спектра систем природопользования. К. П. Космачев пишет, что «активной стороной, определяющей тип освоения территории, всегда является общество. Но результат освоения в значительной степени зависит и от природной основы территории, от того, как она "принимает" воздействие общества, насколько она способна накапливать результаты человеческого труда и сохранять их в течение длительного времени. Следовательно, при освоении территории необходимо сопоставление двух групп взаимосвязанных процессов – производственных и природных. От сочетания и взаимодействия этих процессов и зависит освоение территории, в ходе которого создается основа для размещения производительных сил» [1, с. 9]. Пространственно-временной анализ взаимодействия природных, социальных и производственных подсистем имеет особое значение для Российской Федерации, территория которой включает широкий спектр геосистем – от нивально-гляциальных геосистем Арктики до субтропических лесных ландшафтов на юге.

Данная статья направлена на поиск решения научной проблемы управления хранением пространственных данных посредством геопортальных систем на основе решения научной задачи анализа закономерностей пространственно-временной организации сложных динамических иерархически организованных метагеосистем.

Обработка и анализ пространственных данных сегодня в значительной мере должны опираться на технологии машинного обучения и искусственного интеллекта, внедрение облачных и распределенных вычислений. Практическую ценность консолидируемые массивы пространственных данных приобретают при условии предоставления возможности их гибкого использования представителями определенных ролей для решения задачи предоставления эффективного инструмента принятия взвешенных управленческих решений [2]. Исследования метагеосистем, отражающие условия жизнеобеспечения населения, могут быть использованы в территориальном развитии как крупных регионов, так и сравнительно небольших территорий [3].

Интеграция знаний о метагеосистемах в геопорталах для поддержки принятия управленческих решений

Значительное количество видов социально-экономических объектов обуславливает необходимость их четкой систематизации. Исследование закономерностей структуры, функционирования и развития метагеосистем ориентируется на выявление систем жизнеобеспечения для принятия управленческих решений разными институтами

в области производства и обращения материальных благ и в сфере услуг. Исследование включает несколько этапов:

программный – разработка стратегического документа научного исследования, определяющего цели, задачи, обосновывающего содержание разделов, график работ, состав исполнителей, стоимость работ и ожидаемый результат, а также методологию исследования исходя из специфики метагеосистемы и постановки практических задач, подлежащих решению;

аналитический – анализ и синтез первичной информации, обобщение, систематизация и интерпретация процессов и явлений, установление закономерностей формирования метагеосистем разного иерархического уровня;

информационный – формирование инфраструктуры пространственных данных, картографирование инвариантных и переменных элементов метагеосистем, выявление территориальных сочетаний, их границ и свойств;

модельный – разработка и реализация цифровых моделей метагеосистем, прогнозирование их развития для принятия управленческих решений;

концептуально-конструктивный – конструирование оптимальных пространственных сочетаний элементов метагеосистем, обоснование проектных решений, разработка рекомендаций по управлению наследием.

Цифровая карта геопортала, обеспечивающая информационную поддержку междисциплинарных исследований в области анализа метагеосистем культурного ландшафта для управления территориальными системами наследия, должна обеспечивать послойную визуализацию тематических слоев, оптимальный реестр которых определяется представленным выше перечнем взаимосвязанных подходов, обеспечивающих формирование систем электронных карт и баз данных региона для исследования метагеосистем: ландшафты, история и археология, культура, этнография, демография, экономика, экология (рис. 1).

Основной систем территориального управления любых видов и рангов является информационная база, представленная в реальных условиях того или иного региона в форме единого геопортала [4]. В электронном исполнении это хранилище геоинформации. Структура геопортала имеет территориальную и функциональную (отраслевую) составляющие. В территориальном плане он подразделяется на иерархически соподчиненные кадастры, а в функциональном отношении включает множество подразделений отраслевого характера. В функционально-отраслевом отношении структура геопортала определяется принципиальными схемами структуры территориальной природно-социально-экономической системы (метагеосистемы). Весь массив входящей в единый геопортал информации подразделяется, согласно принципу генеральной структуризации процесса

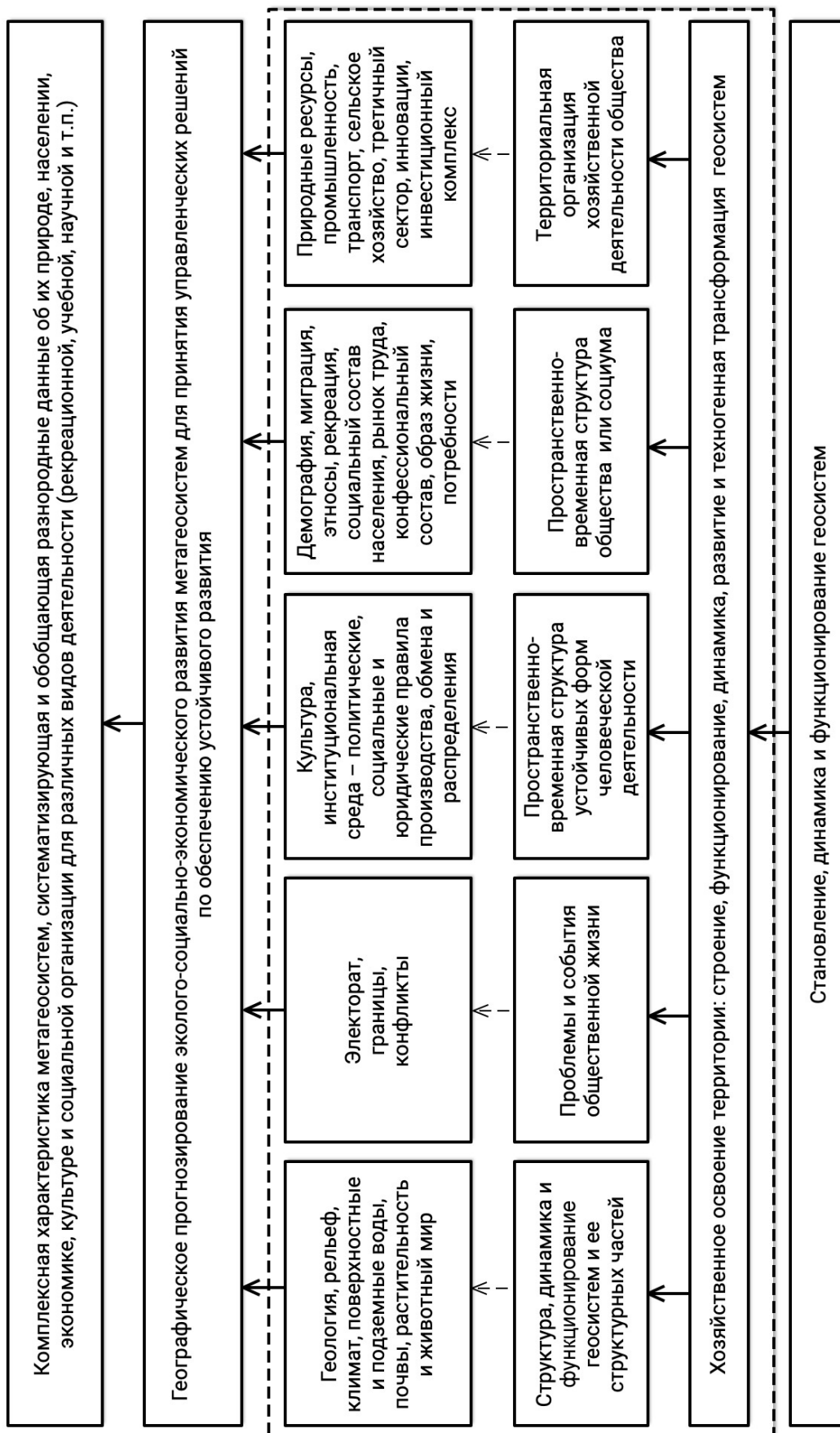


Рис. 1. Интегральный синтез информации



территориального управления, на три больших блока. Первый содержит информацию об объекте территориального управления, второй – о его субъекте, а третий – о технологии данной деятельности.

Оценка практической значимости входящей в единый геопортал информации показывает ее неоднозначность. Существует универсальная информация, имеющая базовый характер и во многом определяющая содержание других видов геоинформации, а есть, соответственно, и частная информация о состоянии природных объектов и функционировании отдельных элементов социума. Сказанное касается всех выделенных блоков геоинформации, но нагляднее всего это выражается в массиве информации об объекте территориального управления. В этом блоке целесообразно выделить три большие совокупности видов геоинформации, составляющих адресно-геодезическую основу территории, ее атрибутивную основу и комплекс частной территориальной информации.

Информация, собираемая в рамках адресно-геодезической и атрибутивной основы геопорталов при решении конкретных управленческих задач, дополняется частной, узкоспециальной геоинформацией. Этой дополнительной геоинформации имеется великое множество видов, а потому всю ее собирать «на всякий случай» практически нереально, ибо это слишком дорого да и чаще всего бессмысленно, так как информация в большинстве случаев достаточно быстро устаревает. В реальном процессе управления дополнительно нужная информация либо добывается специально, либо компилируется из состава основной.

Природный блок образуют общие карты всех компонентов геосистем, а именно: геологическая, инженерно-геологическая, гидрогеологическая, геоморфологическая, гидрологическая (речного стока, озер, водохранилищ и других поверхностных водных объектов), климатическая, почвенная, геоботаническая, зоогеографическая. В качестве центрального звена выступает синтетическая карта геосистем, отражающая влияние макроклиматических, тектонических, водно-геохимических, почвенно-биологических и экзогеодинамических факторов на структуру, развитие, динамику, функционирование и устойчивость геосистем.

Социальный блок. Население характеризуется картами (картосхемами, картограммами) его численности и плотности, возрастно-половой структуры, естественной динамики, миграции и прочих демографических характеристик. При анализе процессов хозяйственного освоения ландшафтов используется широкий спектр подходов: археологический, исторический, этнографический, культурологический, демографический.

Экономический блок содержит данные о системе производства, обмена и распределения продуктов в обществе; организации производства

и разделении труда в разных природных и культурных средах. Объекты недвижимости отображаются на схемах различных видов основных фондов: жилого, нежилого, производственных помещений, административных зданий и прочего. Инженерные сети изображаются на схемах электроснабжения, водоснабжения, газоснабжения, теплоснабжения, канализации, связи и т. д. Транспорт как сфера услуг по грузопассажирским перевозкам, в которую включаются транспортные сети, транспортные средства и транспортная инфраструктура (сервис), представлен соответствующими картами и картосхемами.

Экологический блок оценивает хозяйственную освоенность ландшафтов для целей оптимизации территориальной организации метагеосистем, декомпозирует аспекты функционирования и определяет пути оптимизации природно-социально-производственных систем.

Все виды геоинформации в электронном исполнении представляются первоначально в форме отдельных слоев. В дальнейшем, при решении управленческих задач, из этих слоев составляются разные комбинации, в результате чего образуется множество производных карт (картографических моделей), позволяющих оценивать корреляцию факторов и таким образом выявлять причины явлений и их взаимозависимость. Моделирование территориальных процессов является необходимой предпосылкой их прогнозирования с целью оптимизации.

Геопорталы представляют собой технологическую основу, реализующую возможность и право граждан, специалистов, управленцев и ученых на получение и распространение пространственной информации. Они становятся форпостами устойчивого эколого-социально-экономического развития регионов [5]. Системы данного класса формируют достаточный уровень координации и коммуникации участников разных отраслей для осуществления интеграции, обработки и анализа пространственных данных, а также последовательного преодоления барьеров инновационного развития стран и регионов, предоставляя гибкий доступ к пространственным данным на основе веб-технологий [6].

Для решения задачи анализа процессов функционирования природно-социально-производственных систем для выработки взвешенных управленческих решений в области реализации концепции устойчивого развития целесообразно выделить следующие уровни интеграции пространственных данных.

Уровень базовых пространственных данных, описывающий современную структуру метагеосистем, основанный на формировании базовой картографической основы.

Уровень пространственных моделей, предполагающий систематизацию данных по таким модулям, как природные (геосистемы и их динамические свойства), социальные (простран-



ственно-временная структура общества и культурные ландшафты), экономические (территориальная организация хозяйственной деятельности регионов в рамках спектра отраслей), геоэкологические (иерархически организованная среда обитания человека, измененная в условиях техногенеза) системы.

Уровень принятия управленческих решений, обеспечивающий использование пространственных данных для решения задач анализа структуры и свойств земель и прогнозирования природных и природно-техногенных процессов. Синтез цифровых пространственных моделей представляет собой многоэтапный процесс, при котором пространственные данные подвергаются обработке, анализу и структурированию.

В рамках внедрения геопортальных систем актуально решение следующих конкретных задач.

1. Визуализация пространственных данных в рамках цифровой карты геопортала с целью обеспечения возможности их эффективного распространения и использования.

2. Сбор пространственных данных, получаемых от внешних провайдеров, в том числе интеграция с компонентами интернета вещей.

3. Управление распределенными в пространстве объектами посредством отправки управляющих команд через интерфейсы диспетчера, представляющее собой функцию, обратную предыдущей.

4. Внедрение алгоритмов автоматизации, актуальное с точки зрения того, что в настоящее время значительное число пользователей заинтересованы в доступе не только к пространственным данным, но и к развитому функционалу их аналитической обработки, выработке прогнозов, принятию управленческих решений.

5. Проектно ориентированное использование интеллектуальных алгоритмов, основанных на применении методов машинного обучения для анализа разнородных пространственных данных, в том числе на основе глубоких нейросетевых моделей.

6. Интерактивная генерация отчетной документации на основе пространственных данных геопортала, содержащей как результаты аналитической обработки консолидированных данных, так и системы автоматизированно формируемых рекомендаций относительно возможности достижения конкретных параметров.

7. Функционирование подсистемы администрирования, предоставляющей функционал по манипулированию пространственными данными геопортала при наличии необходимых прав доступа.

Следует выделить два направления развития каркаса геопортальной системы. С одной стороны, необходимо придерживаться дедуктивной стратегии, при которой геопортал изначально разрабатывается с целью достижения возможности покрытия решений максимального количества

проектных задач. С другой – необходимо максимально эффективно реализовывать индуктивную стратегию, в рамках которой положительно зарекомендовавшие себя улучшения частных конкретных геопорталов становятся основой для развития каркаса системы. Совместное использование дедуктивной и индуктивной стратегий обеспечит эволюционное улучшение каркаса построения геопортальных систем, а также оптимизацию частных решений, разрабатываемых на его основе.

Микросервисная организация ИПД и геопортальных систем

С целью решения задачи эффективного функционирования систем консолидации, обработки и анализа геопространственных данных и выполнения геопространственных автоматизированных процессов в облачной среде могут быть применены микросервисные архитектурные решения, предполагающие, в частности, использование языков программирования, специфичных для предметной области. Облачная организация инфраструктуры пространственных данных решает проблемы масштабируемости, доступности, отказоустойчивости и подходит для хранения и обработки растущих объемов данных [7].

Традиционные настольные ГИС имеют функции, внедрение которых представляет интерес и в облачной системе. Важное место среди них занимают возможность автоматизации многократно повторяющихся рабочих процессов, позволяющих значительно сэкономить время и ресурсы. Актуальной проблемой является развитие систем управления рабочими процессами обработки геопространственных данных, позволяющих координировать и распараллеливать существующие алгоритмы.

В рамках использования облачных геоинформационных систем конечные пользователи заинтересованы в реализации следующих функций:

- использование геопортальных интерфейсов, предоставляющих возможность обработки и визуализации больших наборов геопространственных данных;
- работа с инструментарием для создания и управления процессами автоматизации повторяющихся задач без необходимости взаимодействия с деталями организации вычислительной инфраструктуры;
- внедрение масштабируемых компонентов, направленных на обработку и анализ мультимодельных пространственных данных с возможностью их комбинирования для создания сложных цепочек на основе процессов обработки.

Микросервисная архитектура предполагает организацию взаимодействия изолированных служб, каждая из которых выполняет свою



и только свою конкретную задачу. Архитектура облачного хранилища пространственных данных должна быть основана на использовании интерфейсов и точек расширения, позволяющих непрерывно интегрировать модули анализа пространственных данных без необходимости внесения фундаментальных изменений. Слабое зацепление компонентов системы представляет собой основной аспект формирования микросервисной архитектуры, обеспечивающий легкое расширение системы за счет интеграции новых компонентов и ее эффективное сопровождение.

Представим набор качественных свойств, достигаемых благодаря облачной организации инфраструктуры пространственных данных:

- масштабируемость, предполагающая обеспечение обработки произвольно больших объемов данных из разных источников с целью решения достаточного набора проектно ориентированных задач;
- модифицируемость, опирающаяся на интеграцию слабосвязанных и независимо разворачиваемых микросервисов (модулей) для обеспечения высокой устойчивости инфраструктуры в целом;
- диверсифицируемость процесса разработки, основанная на вовлечении распределенных команд инженеров и ученых, разрабатывающих независимые компоненты, которые можно интегрировать в общую систему для создания единого приложения;
- отказоустойчивость, базирующаяся на создании и внедрении изолированных компонентов, работающих в своем окружении и обменивающихся данными по стандартизированным протоколам.

Достижение обозначенных свойств определяет высокую устойчивость формируемой инфраструктуры к ошибкам разного уровня, появление которых не приводит к остановке работы системы при условии выхода из строя отдельных компонентов. Еще одним преимуществом при этом становится возможность вовлечения нескольких команд разработчиков в процесс постоянного развертывания новых версий своих компонентов без влияния на работу инфраструктуры в целом.

В системе ИПД можно выделить следующие ограниченные контексты для микросервисов: геопорталы (инструменты визуализации и управления пространственными данными), системы анализа, обработки и управления пространственными данными, а также распределенные облачные хранилища (рис. 2). Разделение на подсистемы визуализации, обработки и интеграции пространственной информации позволяет, начиная с верхнего уровня декомпозиции архитектуры системы, добиться увеличения связанности модулей или ее ослабления.

Необходимо отметить, что при этом может быть развернуто несколько распределенных экземпляров геопортальных систем, хранилищ

данных и систем анализа, причем каждая из них может иметь уникальные функциональные и качественные характеристики.

Геопортальные системы представляют собой точку доступа к информации, консолидированной в цифровых инфраструктурах пространственных данных, и проектируются исходя из решаемых задач. Исходя из набора консолидируемых данных и перечня проектных задач, требующих решения, формируются веб-интерфейсы, посредством которых решается задача взаимодействия ключевых акторов системы с инфраструктурой пространственных данных. Так, отдельные геопорталы могут быть нацелены на решение задач интеграции информации об объектах природного, исторического и культурного наследия, управление системами землепользования (например, предприятиями сельского хозяйства), а также производствами и службами, деятельность которых основана на внедрении и использовании компонентов интернета вещей.

На основе модуля аутентификации решается задача управления доступом на основе ролей, предполагающая внедрение политик избирательного управления доступом. От цели развертывания геопортала в значительной мере зависят сервисы, разворачиваемые в рамках CRUD системы управления пространственными данными и решающие задачи создания, чтения, обновления и удаления информации. Центральным сервисом в данном контексте выступает сервис визуализации цифровой карты, позволяющий управлять послойным отображением разных тематических слоев пространственных данных, который может быть организован на основе архитектурного паттерна Model-View-Presenter. В рамках отдельного тематического слоя должны быть обеспечены функции интерактивного взаимодействия с пространственными объектами, решаться задачи асинхронной загрузки данных и кластеризации.

Браузер пространственных данных позволяет осуществлять взаимодействие пользователя с системой фильтров, дающих возможность осуществлять интерактивный поиск пространственной информации. Несмотря на то что этот сервис во многих случаях используется совместно с цифровой картой, это отдельный компонент геопортальной системы, развивающийся независимо. Сервисы редактирования пространственных данных разрабатываются и развертываются с целью реализации возможности управления хранилищем пространственных данных, позволяют осуществлять единичное и пакетное добавление пространственных объектов, импорт и экспорт блоков информации, модифицировать пространственный и атрибутивный контексты. Наконец, сервисы оповещений обеспечивают оперативное получение важных уведомлений, в том числе визуализируемых в рамках цифровой карты геопортала или браузера пространственных данных.

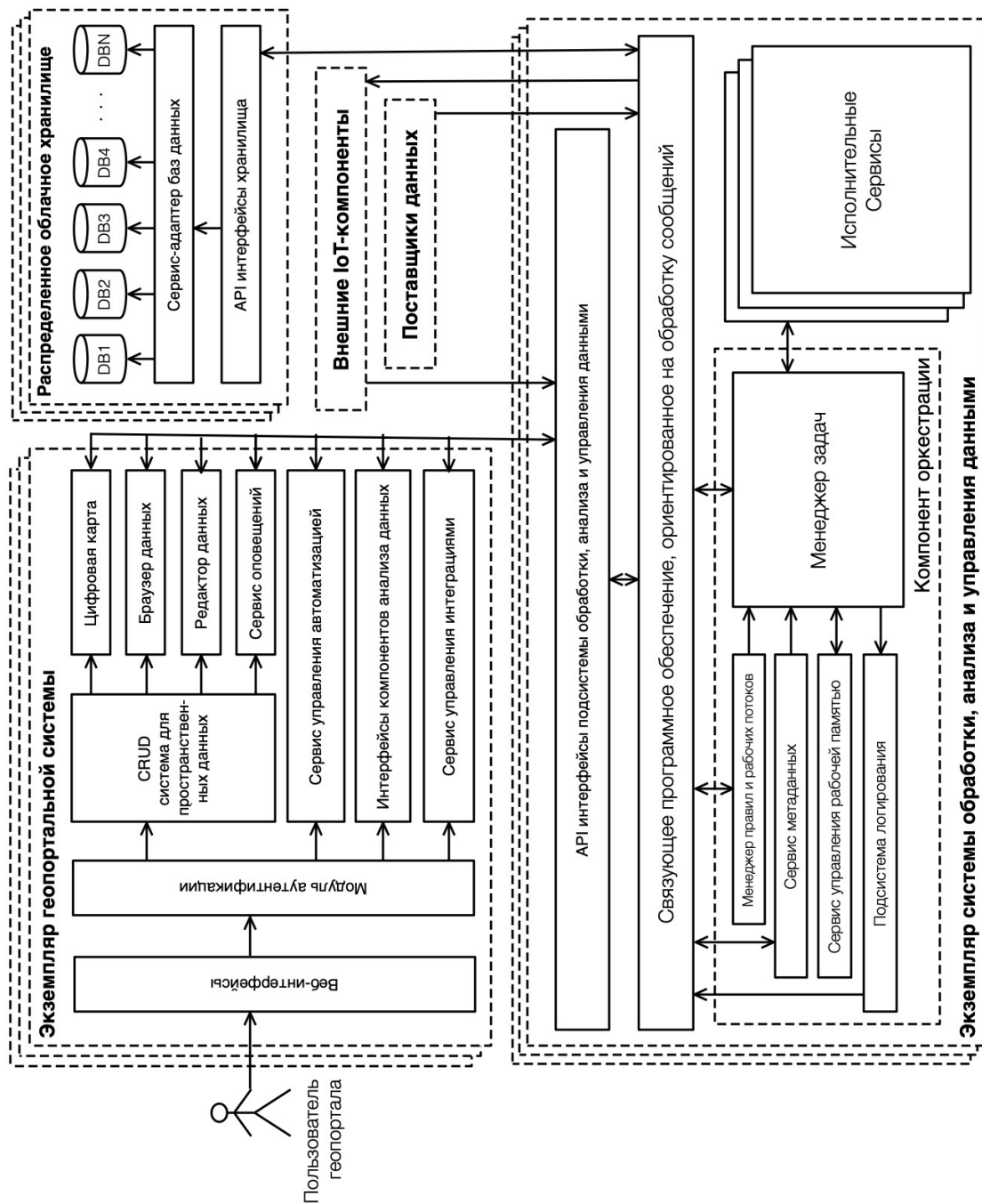


Рис. 2. Организация взаимодействия сервисов в инфраструктуре пространственных данных



Сервисы организации интерфейсов взаимодействия с компонентами анализа пространственных данных представляют собой связующее звено, позволяющее осуществлять взаимодействие с исполнительными сервисами подсистемы обработки, анализа и управления пространственными данными, являющимися внешними по отношению к геопортальным системам. В то же время сервис управления триггерами автоматизации дает возможность решить проблему оптимизации рутинных задач, осуществляя запуск определенных вычислительных расчетов при наступлении определенных условий: временных (наступление определенного времени, истечение периодического промежутка) и событийных (выполнение пространственных или атрибутивно ориентированных условий). При этом условия могут быть ориентированы как на анализ текущих параметров, так и на использование статистических характеристик накапливаемой информации.

Сервисы интеграции с внешними компонентами позволяют осуществлять настройку взаимодействия с удаленными системами, в том числе объектами интернета вещей. Сервисы интеграции при этом должны быть организованы на основе паттерна Адаптер, позволяющего осуществлять оперативное и унифицированное добавление оборудования новых поставщиков и иных модификаций.

Распределенные облачные хранилища пространственных данных формируются на основе мультимодельных хранилищ данных, подходы к построению которых представлены ранее. Общая архитектура программно-определяемой облачной среды хранения пространственных данных формируется на основе сервисов-адаптеров баз данных, определяющих особенности управления консолидируемой информацией на основе разных политик с целью управления, абстрагирования, объединения и автоматизации взаимодействия с физическими системами хранения на основе технологий виртуализации. Интерфейсы хранилища предоставляют доступ ко всем ресурсам пространственных данных, которыми управляют сервисы-адаптеры, делают среду открытой и расширяемой, благодаря чему возможно осуществлять интеграцию хранилища нескольких поставщиков.

В настоящее время основные геопрограммные базы данных классифицируются по двум категориям: реляционные базы данных и NoSQL-хранилища. Реляционные базы данных используются наиболее широко: самые зрелые СУБД десятилетиями применяются в разных отраслях [7]. Однако они имеют ряд недостатков, не позволяющих с их помощью развернуть крупномасштабные среды доступа к пространственным данным. Новые геопрограммные приложения, реализуемые в системе ИПД, требуют эластичной масштабируемости, устойчивости

к высоким нагрузкам, быстрого времени ответа на запросы со сложными агрегационными параметрами. Традиционные пространственные реляционные СУБД эту возможность обеспечить не могут. Так, потоковые запросы от компонентов интернета вещей к серверам легко могут привести к недоступности системы и увеличению времени ответа.

Альтернативные преимущества процессу интеграции пространственных данных способны предоставить NoSQL-хранилища, представляющие собой распределенные СУБД, не требующие жесткой структуризации данных. Они не ограничены реализацией стандартного для реляционных хранилищ свойств ACID (атомарность, согласованность, изоляция и надежность), что делает их открытыми для горизонтального масштабирования. При этом NoSQL СУБД демонстрируют возможность интегрировать и индексировать большие наборы данных, поддерживая значительное количество одновременных и сложных пользовательских запросов.

Каждая отдельная СУБД, основанная на определенной парадигме интеграции пространственно-временной информации в ИПД, не может предоставить ключ к решению всех задач в области консолидации пространственной информации. Комплексный анализ потенциальных функциональных требований к разворачиваемым ИПД, опыт проектной реализации систем данного класса, исследование рынка современных СУБД позволили сформировать реестр компонентов, на основе которых целесообразно организовать мультимодельное хранилище пространственной информации. Представим описание СУБД, а также подходов к их организации, формирующих основу для мультимодельного хранилища пространственных данных.

1. Реляционные СУБД (работающие под управлением MySQL или PostgreSQL) обеспечивают консолидацию в ИПД информации, требующей строгой нормализации и категоризации и обеспечения возможности CRUD-манипуляции с данными о территориальных объектах. Использование пространственных индексов позволяет повысить скорость и точность поиска информации на основе географических критериев.

2. Резиденты хранилища (основанные на Redis) предоставляют наиболее простую форму хранения данных (в формате «ключ – значение»), благодаря чему обладают свойством ресурсной эффективности и применяются в качестве высокопроизводительных внутрипроцессных баз данных. Предпочтительны для разработки систем кеширования данных, буферов высокоскоростного обмена с внешними системами и агентами интернета вещей.

3. Документы базы данных (функционирующие на базе MongoDB) характеризуются организацией данных без единой схемы (записи имеют



разные атрибуты, отличные внутри себя по типам данных, и могут иметь разную структуру). Актуальны для систематизации слабоструктурированных данных, информации о мониторинге пространственных процессов, хранения и регистрации событий.

4. Граф ориентированные хранилища (выстраиваемые на основе Neo4j) систематизируют данные в графовых структурах в виде вершин и ребер (отношений между вершинами), позволяют эффективно консолидировать данные в такой форме и вычислять свойства графа. Целесообразны для хранения информации о горизонтальных и вертикальных связях геосистем.

5. Хранилища временных рядов (основаны на TimescaleDB) внедряются для эффективного сбора и управления временными рядами с большим объемом транзакций. СУБД временных рядов предназначены для эффективного сбора, хранения и запроса разных временных рядов с большими объемами транзакций. Пригодны для систематизации пространственной информации, для которой характерно изменение с течением времени (например, показателей развития стихийных процессов).

6. Колоночные базы данных (формируемые на основе ClickHouse) консолидируют данные с возможностью хранения большого количества динамических столбцов, поэтому их можно рассматривать как двумерные хранилища ключей и значений. Сочетая в себе частичные преимущества документных и реляционных концепций, системы данного класса реализуют концепцию повышения производительности, при которой данные таблицы хранятся не запись за записью, а столбец за столбцом. Представляют безальтернативное решение для организации модулей интерактивной аналитической обработки данных (OLAP-компонентов) в системе цифровых ИПД.

В реестр СУБД, формирующих основу для организации мультимодельного хранилища данных ИПД, вовлечены системы, относящиеся к классу открытого программного обеспечения и поддерживающие операции с пространственными данными на том или ином уровне.

Связующим звеном между геопортальными системами и распределенными облачными хранилищами инфраструктуры пространственных данных выступают системы анализа, обработки и управления пространственными данными, основанные на технологиях автоматизированной обработки информации и анализа данных. Ядром систем этого типа являются исполнительные сервисы, инкапсулирующие в себе программную реализацию алгоритмов обработки и анализа пространственных данных. Для оркестрации процесса выполнения и взаимодействия отдельных сервисов необходимо развертывание менеджера задач, функционирование которого основано на подсистеме определения правил запуска сервисов и выстраивания потока выполнения работ.

Посредством сервиса метаданных решается задача описания унифицированного интерфейса для запуска сервисов обработки, анализа и управления пространственными данными. Для хранения и управления информацией о текущем состоянии выполнения рабочих потоков обработки и анализа данных используются сервисы для управления рабочей памятью. Модуль логирования представляет собой инструмент сохранения знаний о выполненных процессах. Связующее программное обеспечение инфраструктуры пространственных данных как комплекс программ для обеспечения взаимодействия между разными сервисами и компонентами целесообразно выстраивать на основе ориентации на обмен сообщениями в распределенном окружении.

Проектная реализация геопортальных систем

Консолидация данных в цифровых ИПД имеет особое значение для решения задачи информационного обеспечения просветительской деятельности в области междисциплинарных исследований, основанных на использовании пространственных данных. При этом конечные артефакты анализа данных ИПД становятся главным элементом, обеспечивающим управление системами распространения знаний о ключевых компонентах устойчивого развития регионов. Их использование позволяет повысить эффективность информационных процессов, обеспечивающих развитие образовательных и социально-экономических систем.

Проектное решение «Прогнозирование уровня подъема воды в период половодья» признано победителем второго этапа Международного конкурса World AI&Data Challenge Агентства стратегических инициатив по продвижению новых проектов. Разработанная система представляет собой геопортальное приложение, позволяющее визуализировать электронную карту прогнозируемой устойчивости территории к затоплению. Перечень сервисов системы включает: компонент визуализации территории на цифровой карте с возможностью послойного отображения объектов разных категорий (рис. 3, а); подсистему администрирования для ручной актуализации реестра объектов и автоматизированной актуализации исторических метеоданных и данных об уровне воды; модуль прогнозирования уровня воды и компонент краудсорсингового добавления объекта на карту с возможностью отправки оповещений.

Геопортальная система «Природное и культурное наследие Республики Мордовия» выполняет функцию организации управления системами культурного и исторического наследия. Каркас проекта изначально проектировался и разрабатывался с чистого листа на основе компонента ориентированного подхода для эффективного решения задачи распространения информации



о природном и культурном наследии региона. Графические интерфейсы информационной системы созданы с использованием технологий адаптивной верстки для достижения необходимых UX-показателей и удобства использования со смартфонов и десктопных устройств (рис. 3, б). База данных геопортала спроектирована исходя из решаемых в проекте задач на основе реляционного подхода.

Информация в геопортале представлена на трех языках: русском, английском и испанском. Данные в рамках проекта структурированы в 69 информационных блоках из 6 тематических разделов: «Административное устройство, природа и ресурсы», «История», «Народонаселение и социальная инфраструктура», «Экономика», «Экология», «Наследие муниципальных районов» – и снабжены иллюстративным материалом:

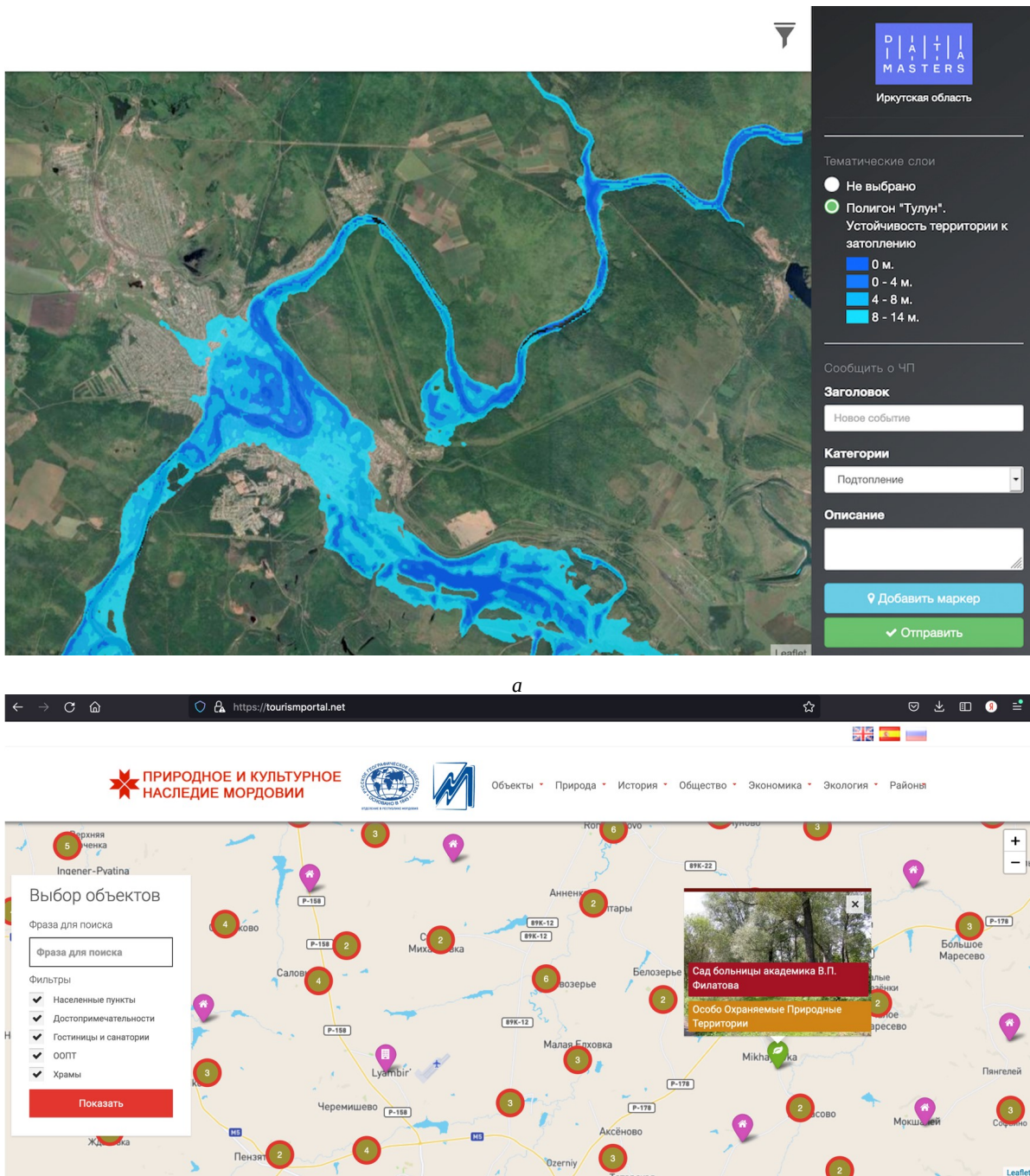


Рис. 3. Цифровые карты геопорталов: а – карта затоплений, составленная на основе анализа цифровой модели рельефа в рамках геопортала, б – карта исторического, природного и культурного наследия (цвет online)



более 800 фотографий объектов природного, исторического и культурного наследия.

Основу контентного наполнения формируют более 1240 информационных блоков о населенных пунктах с информацией о топонимике, географии, истории, размещенных на геопортале с привязкой к электронной карте, 830 объектах культурно-исторического наследия и 95 особо охраняемых природных территориях, описанных с пространственной привязкой к цифровой карте региона. На основе материалов региональной ИПД, синтезированных, в частности, с применением новых методов и алгоритмов машинного анализа пространственных данных, в рамках проекта разработано 139 тематических масштабируемых карт разной тематической направленности. Карты растительности, ландшафтов и эрозионных процессов разработаны и актуализируются на основе новых методов и алгоритмов.

Выводы

1. Решение задачи построения проблемно ориентированных геоинформационных систем, обеспечивающих процесс междисциплинарного исследования метагеосистем для решения задачи управления территориальными системами, должно опираться на фундаментальные принципы и методы, определяющие научно обоснованные способы анализа больших массивов пространственных данных, построения программно-аппаратных систем хранения, визуализации и распространения пространственно-временных данных посредством современных веб-технологий.

2. Геопорталы представляют собой технологическую основу, реализующую возможность и право граждан, специалистов, управленцев и ученых на получение и распространение пространственной информации, и становятся форпостами устойчивого эколого-социально-экономического развития регионов. В рамках внедрения геопортальных систем актуально решение задач консолидации и визуализации пространственных данных, управления распределенными в пространстве объектами посредством отправки управляющих команд через подсистему диспетчеризации, внедрения алгоритмов автоматизации и интеллектуальных алгоритмов. Совместное использование дедуктивной и индуктивной стратегий обеспечит эволюционное улучшение каркаса построения геопортальных систем, а также оптимизацию частных решений, разрабатываемых на его основе.

3. Для повышения надежности и отказоустойчивости хранилища данных ИПД целесообразно

использовать подход, ориентированный на разработку системы микросервисов. В системе ИПД можно выделить следующие ограниченные контексты для микросервисов: геопорталы, системы анализа, обработки и управления пространственными данными, а также распределенные облачные мультимодельные хранилища, основанные на функциональных возможностях СУБД разных классов.

4. Консолидация данных в цифровых ИПД имеет особое значение для решения задачи информационного обеспечения проектной деятельности в области междисциплинарных исследований, основанных на использовании пространственных данных. В качестве примера реализации геопортальных систем в статье представлены проектное решение «Прогнозирование уровней подъема воды в период половодья» и геопортальная система «Природное и культурное наследие Республики Мордовия», выполняющая функцию организации управления системами культурного и исторического наследия.

Библиографический список

1. *Космачев К. П.* Проблемы экономико-географической экспертизы информационной базы территориальной организации производства // Доклады Института географии Сибири и Дальнего Востока. 1974. № 45. С. 3–11.
2. *Кошкарев А. В., Антипов А. Н., Батуев А. Р., Ермошин В. В., Каракин В. П.* Геопорталы в составе инфраструктур пространственных данных: российские академические ресурсы и геосервисы // География и природные ресурсы. 2008. № 1. С. 21–32.
3. *Черкашин А. К.* Метатеоретическое системное моделирование природных и Социальных процессов и явлений в неоднородной среде // Информатика и математические технологии в науке и управлении. 2019. № 1 (13). С. 61–84.
4. *Кошкарев А. В.* Образовательные геопорталы: данные и сервисы // Геодезия и картография. 2017. Т. 78, № S17-1. С. 33–40.
5. *Yamashkin A. A., Yamashkin S. A., Aksyonova M. Y., Cimbalević M., Demirović D., Vuksanović N., Milentijević N.* Cultural landscapes space-temporal systematization of information in geoportals for the purposes of region tourist and recreational development // Geojournal of Tourism and Geosites. 2020. Vol. 29, № 2. P. 440–449.
6. *Yamashkin S. A., Radovanović M. M., Yamashkin A. A., Barmin A. N., Zanozin V. V., Petrović M. D.* Problems of designing geoportals interfaces // Geojournal of Tourism and Geosites. 2019. Vol. 24, № 1. P. 88–101.
7. *Jamshidi P., Pahl C., Mendonça N. C., Lewis J., Tilkov S.* Microservices: The journey so far and challenges ahead // IEEE Software. 2018. Vol. 35, № 3. P. 24–35.

Поступила в редакцию 31.07.2022; одобрена после рецензирования 20.02.2022; принята к публикации 01.09.2022
The article was submitted 31.07.2022; approved after reviewing 20.02.2022; accepted for publication 01.09.2022