

Проектирование и разработка геопортальных систем для обеспечения поддержки процессов принятия управленческих решений в области устойчивого развития регионов

А. А. Ямашкин✉, С. А. Ямашкин, В. А. Шабайкина

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет,
Российская Федерация
(430005, г. Саранск, ул. Большевикская, 68)

Аннотация. В представленном исследовании представлено решение задачи разработки и внедрения проектно-ориентированных геопорталов как точек доступа к массивам пространственных данных, обеспечивающих процессы поддержки принятия решений в области управления территориально распределенными системами для достижения условий устойчивого развития регионов.

Материалы и методы. Геопортал «Метагеосистемы Мордовии. Пространственные данные региона», призванный решать задачу интерактивной визуализации тематических цифровых карт региона, построен на основе исследования системы тестовых полигонов, выстроенных в области взаимодействия геосистем Приволжской возвышенности и Окско-Донской низменности. Анализ геосистем тестовых полигонов произведен на основе территориально-структурного, генетического и исторического принципов.

Результаты и обсуждение. Для функционирования геопортала обеспечена реализация модуля адаптивной визуализации пространственных данных о метагеосистемах, комплекса алгоритмов, обеспечивающих манипулирование пространственными данными, программного каркаса, управляющего логикой работы геопортала, в том числе функционалом интерактивного редактирования базы данных системы средствами графического интерфейса пользователя.

Заключение. Геопортал «Метагеосистемы Мордовии. Пространственные данные региона» доступен по адресу <http://meta.rgo.life/>, перечень его тематических слоев формирует набор тематических пространственных данных о метагеосистемах и ландшафтах, системный анализ которых позволяет решить задачу комплексного анализа территории Республики Мордовия.

Ключевые слова: геопорталы, метагеосистемы, пространственные данные, тестовые полигоны, геоинформационные системы.

Источник финансирования: 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., Шабайкина В. А. Проектирование и разработка геопортальных систем для обеспечения поддержки процессов принятия управленческих решений в области устойчивого развития регионов // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2024, № 4, с. 38-44. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/4/38-44>

ВВЕДЕНИЕ

Геопорталы, представляющие собой класс геоинформационных систем, доступных посредством веб-технологий через сеть Интернет и решающих задачу распространения и визуализации пространственных данными о природно-социально-производственных системах различного иерархического уровня для поддержки принятия управленческих решений [1, 6].

Цель представленного в статье исследования направлена на решение задачи разработки, внедрения и использования геопорталов для поддержки принятия управленческих решений и достигается посредством последовательного решения следующих задач: 1) разработка принципов и программных средств адаптивной визуализации пространственных данных о мета-

геосистемах в рамках графических геопортальных интерфейсов с возможностью отображения информации в форме многослойных, иерархически-упорядоченных цифровых карт; 2) реализация способа хранения и объектно-ориентированного манипулирования мультимодельным хранилищем пространственных данных о региональных геосистемах, позволяющего достичь решения задачи консолидации знаний о региональных метагеосистемах; 3) формирование программного каркаса, позволяющего управлять логикой работы геопортальной системы, в том числе функционалом интерактивного администрирования базы данных геопортала средствами графического интерфейса пользователя.

Система тематических пространственных данных геопортала должна обеспечивать оптимальную харак-



теристику метагеосистем региона – иерархически упорядоченных природных, социальных и хозяйственных подсистем [4].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Структуризация пространственных данных об объектах в геопорталах может быть осуществлена по различным направлениям, учитывая множество признаков. Однако существуют признаки, определяющие основные особенности объекта. Их можно назвать стратегическими, так как их использование при анализе структуры объекта определяет стратегию всех последующих исследований.

Анализ геосистем должен быть основан на следующих принципах [2]: территориально-структурный – предполагает структуризацию на основе анализа особенностей расположения и пространственного строения

территориальных систем; генетический принцип – опирается на анализ особенностей происхождения геосистем и определяет принципы их иерархической упорядоченности; исторический принцип – предписывает исследование периодических и трендовых особенностей развития пространственных процессов в геосистемах.

Система электронных карт природы, населения, хозяйства и экологии построена в региональной географической информационной системе (ГИС) «Мордовия». В качестве центрального информационного звена ГИС выступает ландшафтная карта, обеспечивающая выделение классов (подклассов), групп (подгрупп), типов (подтипов), родов (подродов) видов (подвидов) геосистем по классификации В.А. Николаева [2]. Общий алгоритм построения электронной карты геосистем в региональной ГИС «Мордовия» представлен на рисунке 1.

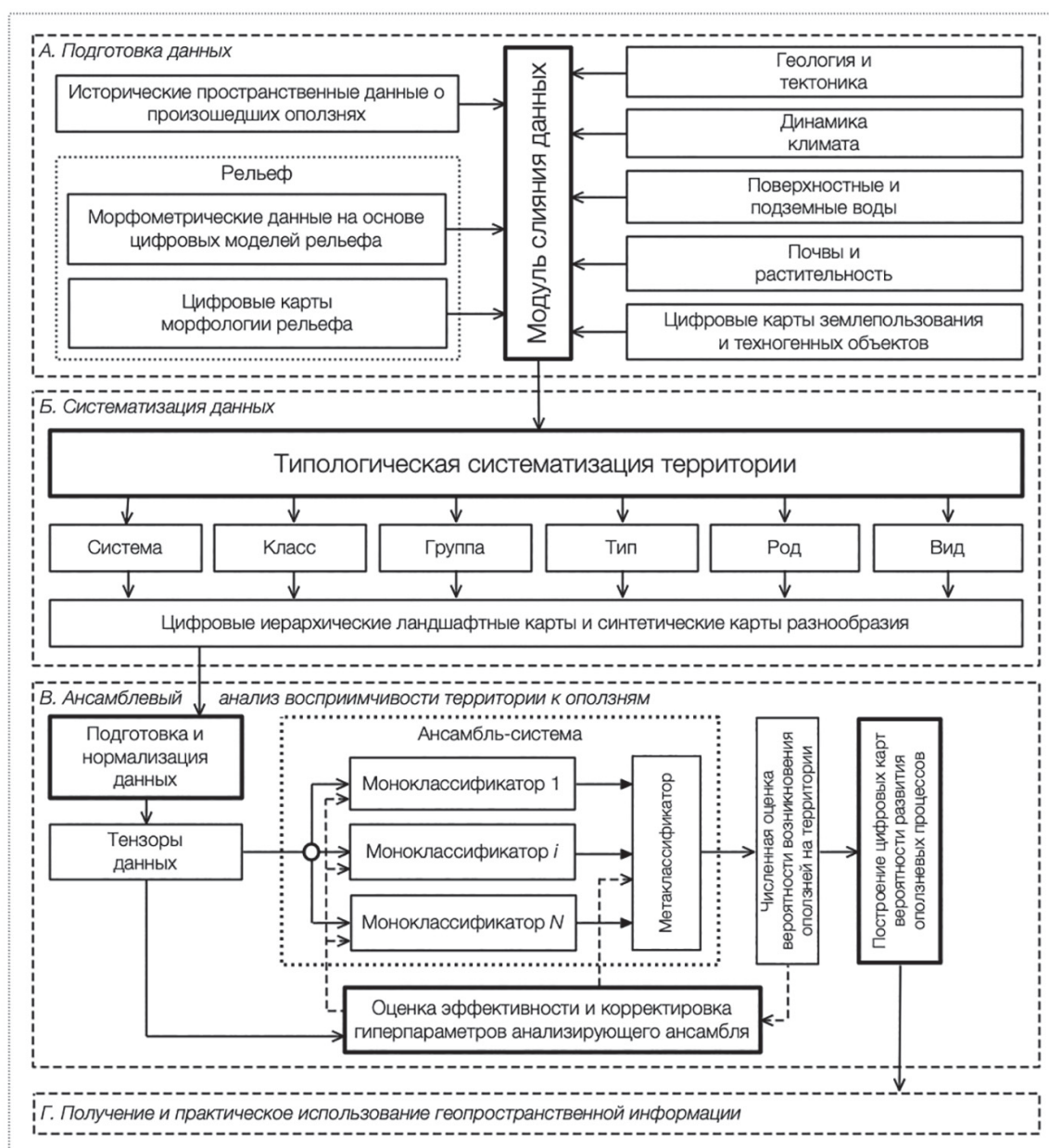


Рис. 1. Алгоритм составления электронной карты геосистем
[Fig. 1. Algorithm for compiling an electronic map of geosystems]

В основу новой базы данных тематических слоев «Метагеосистемы Мордовии. Пространственные данные региона» заложены массивы геопространственной информации, характеризующие инвариантные элементы метагеосистем: цифровая модель рельефа, геологическое строение, поверхностные и подземные воды, структура почвенного покрова. Интерактивная карта «Природное и культурное наследие Республики Мордовия» отражает процессы многовекового хозяйственного освоения ландшафтов.

Каждый тематический слой характеризует конкретный параметр геосистемы f_i . Выделение информативных параметров геосистем возможно посредством итерационного алгоритма оценки их важности, функционирующего на основе последовательного расчета весовых коэффициентов, определяющих вероятность того, насколько анализируемый параметр геосистемы отличается для ближайших объектов разного класса (δ) или близок для соседних объектов одного класса (σ).

$$\omega_i = P((f_i^\delta \neq f_i) | \delta) - P((f_i^\sigma \neq f_i) | \sigma) \quad (1)$$

Выбор ближайших (соседних) геосистем происходит через определение евклидова (или иного) расстояния $\Delta(G_p, G_q)$, рассчитываемого на основе их параметров:

$$\Delta(G_p, G_q) = \sqrt{\sum_{f=1}^N (x_p^f - x_q^f)^2} \quad (2)$$

Каждую итерацию работы алгоритма определения важности i -го признака происходит обновление весового коэффициента ω_i на величину Δ_i , рассчитываемую исходя из значения i -го признака для геосистемы (x^i), ее ближайшего соседа другого ($\delta^i(x)$) и того же ($\sigma^i(x)$) классов:

$$\Delta_i = \Delta_i^\delta - \Delta_i^\sigma = |x^i - \delta^i(x)| - |x^i - \sigma^i(x)| \quad (3)$$

Алгоритм оценки важности параметров метагеосистем позволяет оценить влияние пространственных данных различных слоев на целевой анализируемый показатель, что позволяет определить оптимальный набор тематических слоев цифровой карты геоportала для решения конкретной проектной задачи управления территориально-распределенными системами.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Геоportал «Метагеосистемы Мордовии. Пространственные данные региона» (доступен по адресу: <http://meta.rgo.life/>) и интерактивная карта «Природное и культурное наследие Республики Мордовия» (<https://map.rgo.life/>) призваны решать задачу визуализации системы цифровых карт для территории Республики Мордовия (рис. 2 и 3). В рамках обозначенного полигона выделены 6 дочерних полигонов [3], развернутых для решения задач картографирования геосистем на топологическом уровне.

Обозначенные геоportалы функционируют на основе разработанной программной платформы для управления пространственно-распределенными ресур-

сами и представляет собой клиент-серверную систему. Для взаимодействия с системой необходим компьютер или смартфон с установленным современным веб-браузером и доступом в Интернет. Графические интерфейсы цифровой карты, представленные на рисунках, характеризуются следующей композицией виджетов. Основную часть экрана занимает полотно визуализации тематических слоев и базовой картографической основы. Данный виджет служит для описания пространственного расположения объектов различной геометрической формы. Для манипуляции с полотном визуализации тематических слоев можно использовать жесты панорамирования (сдвига) и масштабирования. Для решения задачи визуализации больших массивов пространственных данных, объекты цифровой карты геоportала при масштабировании объединяются в кластеры различного иерархического уровня. Число на маркере кластера указывает на количество расположенных в рамках близлежащей территории пространственных объектов, определяя их плотность. Цвет маркера кластера изменяется в зависимости от количества ассоциированных объектов.

Интерактивная легенда цифровой карты может быть открыта и свернута при нажатии на соответствующую иконку. В рамках интерактивной легенды может быть выбрана базовая картографическая основа (3): спутниковый снимок, отображение улиц, гибридный, цифровая модель рельефа, данные Open Street Map, Единая электронная картографическая основа, карта «ГГЦ Генштаб». Реестр слоев базовой картографической основы может быть легко расширен при наличии поставщика данных в формате Slippy Tiles.

Виджет поиска позволяет осуществлять поиск объектов по ключевым словам. Поисковая фраза вводится в соответствующее текстовое поле, после чего нажатием на иконку поиска или клавишу Enter инициируется поиск релевантных объектов по наличию ключевых слов в их описании. При наличии результатов, полотно карты центрируется и масштабируется таким образом, чтобы вместить в рамки экрана все найденные объекты. Сбросить результаты поиска можно нажатием на соответствующую строковую кнопку под текстовым полем ввода ключевых слов. Интерактивный реестр тематических слоев позволяет включать и отключать отображение для любого набора тематических статических и динамических тематических слоев. Возможно включение и отключение целой группы тематических слоев. Реализация данной функции позволяет подобрать оптимальный набор тематических слоев для решения задачи анализа состояния систем землепользования и пространственно-распределенных ресурсов.

Для получения детальной информации об объекте, включая заголовок, изображение, атрибутивные данные, необходимо кликнуть курсором мыши на объекте. При использовании смартфона или планшета необходимо выполнить событие касание (тапа) по маркеру или площадному объекту. Графические интерфейсы цифровой карты разработаны на основе технологий

адаптивной верстки и могут быть эффективно использованы на смартфонах и планшетных компьютерах.

В интерфейсах администрирования геопортала реализован интерактивный способ определения стартовых параметров карты. Посредством изменения положения маркера центровки и смены масштаба визуализации определяются стартовые координаты визуализации цифровой карты геопортала. В рамках графических интерфейсов редактора данных об объекте администратор системы имеет возможность редактировать название, человеко-понятный URL (ЧПУ), ассоциированный портал, категорию объекта, стиль визуализации на цифровой карте, доступность данных об объекте на портале. После привязки объекта к определенной категории появляется возможность редактировать параметры объекта, ассоциированные с данной категорией. Для стилистического редактирования текстового описания объекта в рамках интерфейсов реализована функция WYSIWYG-редактора. Объекты геопортала могут характеризоваться различным типом геометрии. Функционал интерактивного редактора геометрии объекта позволяет определять положение маркера (точечного объекта), выстраивать геометрию полилинии и полигона. Таким образом, в системе администрирования реализована возможность манипулирования данными об объектах системы, включая интерактивное управление информацией о характеристиках объекта, включая геометрию и стилизацию отображения на цифровой карте, изменение атрибутивных данных.

Тематические слои интерактивной карты «Метагеосистемы Мордовии. Пространственные данные региона» (рис. 2): цифровая модель рельефа; экзогеодинами-

ческие процессы (1372 объекта); коренные породы: неогеновая, палеогеновая, меловая, юрская, пермская, каменноугольная системы (398 полигонов); четвертичные отложения (1700 полигонов); литологический состав поверхностных отложений (58 полигонов); полезные ископаемые и ресурсы (330 полигонов); группы почв и их эколого-геохимическая устойчивость почв к поступлению тяжелых металлов (5013 полигонов); глубина залегания грунтовых вод (6420 полигонов); водоносный каменноугольно-пермский карбонатный комплекс (1103 полигонов); реки, ручьи, родники, копани, мочажины, истоки, ключи, колодцы, озера (11 152 объектов); ландшафты – типы и роды геосистем (542 полигона).

Пространственная база данных геопортала «Природное и культурное наследие Республики Мордовия» содержит информацию для построения системы карт, раскрывающих туристский потенциал региона (рис. 3): «особо охраняемые природные территории» (99 объектов); «археология» (690 объекта); «населенные пункты» (1260 объектов); «объекты культуры, соборы и храмы» (646 объектов).

Представленные геопортальные решения решают задачу визуализации системы тематических карт природных и природно-техногенных территориальных комплексов. Графический интерфейс цифровых карт дает возможность комбинированной визуализации тематических слоев и управления видимостью и прозрачностью отображаемых данных.

Анализ пространственных данных о метагеосистемах обеспечивается следующими программными компонентами: 1) модуль адаптивной визуализации пространственных данных о метагеосистемах с возмож-

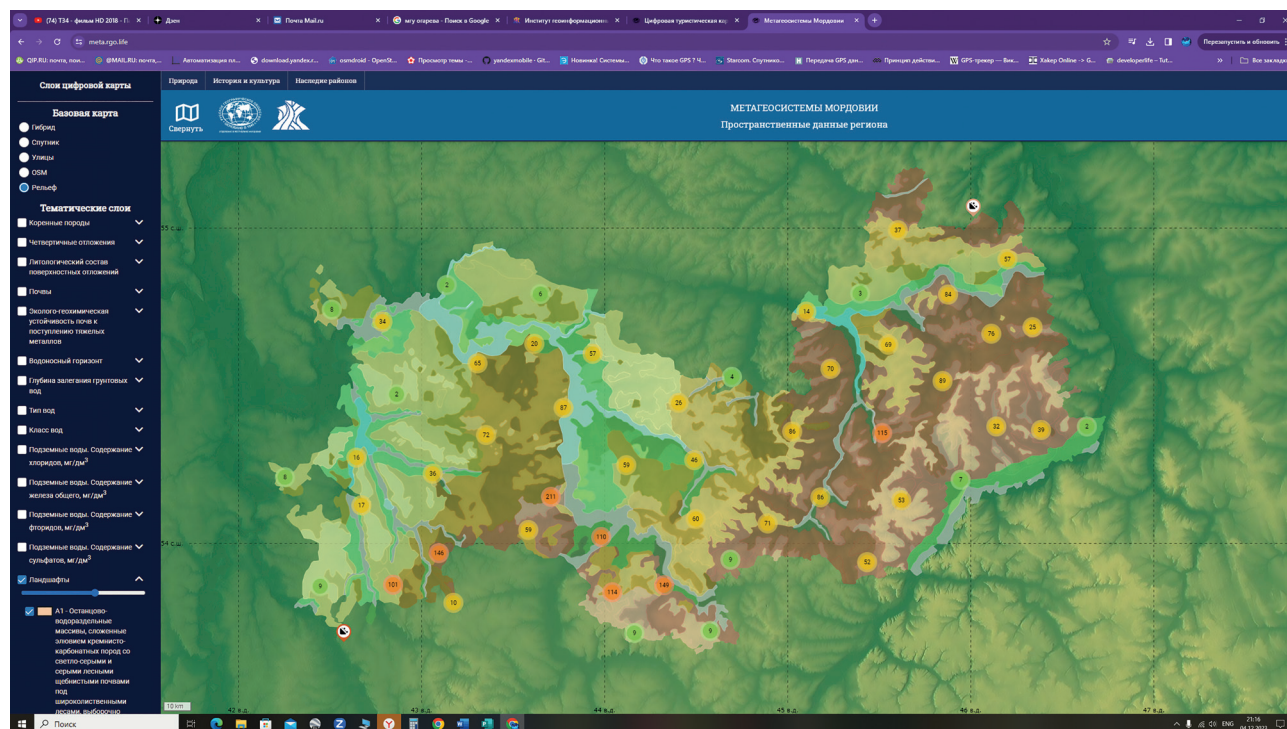


Рис. 2. Геопортал «Метагеосистемы Мордовии. Пространственные данные региона»
[Fig. 2. Geoportal «Metageosystems of Mordovia. Spatial data of the region»]

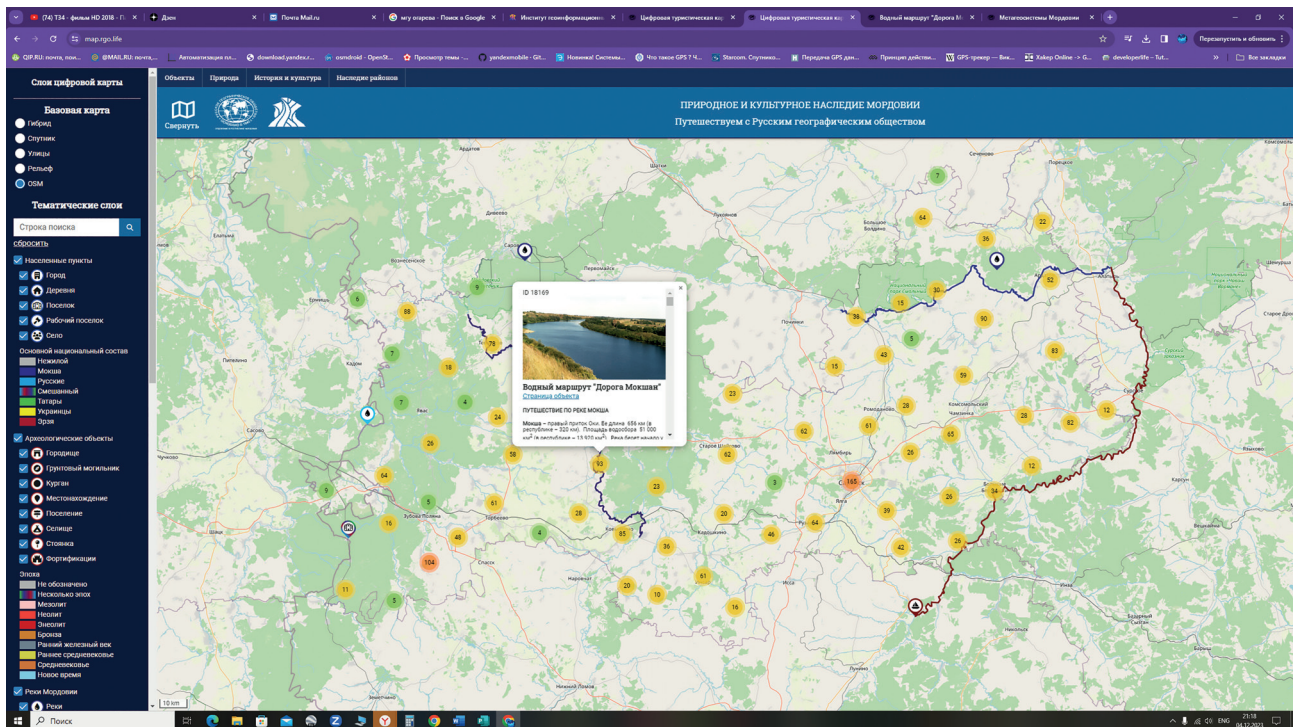


Рис. 3. Интерактивная карта «Природное и культурное наследие Республики Мордовия»
[Fig. 3. Interactive map «Natural and cultural heritage of the Republic of Mordovia»]

ностью отображения в форме многослойных, иерархически-упорядоченных цифровых ландшафтных карт; 2) комплекс алгоритмов, обеспечивающих решение задачи объектно-ориентированного манипулирования данными мультимодельного хранилища пространственных данных о региональных геосистемах, включая функции индексации и кеширование; 3) программный каркас, управляющий логикой работы геопортальной системы, в том числе функционалом интерактивного редактирования базы данных геопортала средствами графического интерфейса пользователя.

Хранение данных о метагеосистемах обеспечивается на основе реляционного подхода, предполагающего нормализацию структур данных о пространственных объектах. При этом обеспечена возможность эффективной выборки интегрированных данных по запросу, а также экспорта необходимой информации в стандартизированных форматах (GeoJSON и XML). Оптимизация графических геопортальных интерфейсов, решающих задачу визуализации интерактивной цифровой карты решалась на основе методов UI/UX проектирования.

Разработанные системы позволяют решать задачи анализа состояния метагеосистем различного иерархического уровня на основе совместной обработки информации нескольких тематических слоев для обеспечения процесса поддержки принятия решений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для решения задач проектирования и разработки геопортальных систем для обеспечения поддержки процессов принятия управленческих решений в области устойчивого развития регионов были разработаны

и реализованы в виде комплекса программ алгоритмы адаптивной визуализации пространственных данных о метагеосистемах в рамках графических геопортальных интерфейсов с возможностью отображения информации в форме многослойных, иерархически-упорядоченных цифровых карт. Оптимизация графических геопортальных интерфейсов, решающих задачу визуализации интерактивной цифровой карты решалась на основе методов UI/UX проектирования.

Предложен способ хранения и объектно-ориентированного манипулирования мультимодельным хранилищем пространственных данных о региональных геосистемах, позволяющий достичь решения задачи консолидации знаний о региональных метагеосистемах и опирающийся на реляционный подход, предполагающий нормализацию структур данных о пространственных объектах.

Представленные в статье геопортальные решения в комплексе раскрывают особенности взаимодействия лесостепных и лесных геосистем Приволжской возвышенности и Окско-Донской низменности. Геопортальная система функционирует на основе нового программного каркаса, позволяющего управлять логикой работы геопортальной системы, в том числе функционалом интерактивного администрирования базы данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геопорталы в составе инфраструктур пространственных данных: российские академические ресурсы и геосервисы / А. В. Кошкарёв, А. Н. Антипов, А. Р. Батюев и др. // *География и природные ресурсы*, 2008, № 1, с. 21-32.
2. Николаев В. А. *Ландшафтоведение*. Москва: Издательство Московского университета, 2000. 94 с.

3. Тестовые полигоны для диагностики состояния геосистем и развития методов интерпретации данных дистанционного зондирования Земли / А.А. Ямашкин, С.А. Ямашкин, М.Р. Байчурин и др. // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2022, № 4, с. 4-18.

4. Черкашин А.К. Предмет географических исследований: метатеоретический подход // *Известия Русского географического общества*, 2022, т. 154, № 2, с. 3-21.

5. Gkonos C. Spinning the wheel of design: evaluating geoportals Graphical User Interface adaptations in terms of hu-

man-centred design / C. Gkonos, I.I. Enescu, L. Hurni // *International Journal of Cartography*, 5 (1), 2019, pp. 23-43.

6. Reddy G. O. Geoportal platforms for sustainable management of natural resources // *Data Science in Agriculture and Natural Resource Management*, 2022, pp. 289-314.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию: 07.02.2024

Принята к публикации: 02.12.2024

UDC 911.5, 004.93

DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/4/38-44>

ISSN 1609-0683

Design and Development of the Geoportal Systems to Support Management Decision-Making Processes for Sustainable Regional Development

A.A. Yamashkin ✉, S.A. Yamashkin, V.A. Shabaykina

National Research Mordovian State University, Russian Federation
(68, Bolshevistskaya str., Saransk, 430005)

Abstract: The research is devoted to solving the problem of development and implementation of project-oriented geoportals as access points to arrays of spatial data, providing decision support processes in the field of management of territorial-distributive systems to achieve sustainable regional development.

Materials and methods. The geoportal «Metageosystems of Mordovia. Spatial data of the Region» This geoportal is designed to solve the problem of interactive visualization of thematic digital maps of the region. It is based on the study of test sites system, which are located in the area of interaction of geosystems of the Volga upland and Oka-Don lowland. The geosystems of the test sites are analysed on the basis of territorial-structural, genetic and historical principles.

Results and discussion. The module of adaptive visualisation of spatial data on metageosystems, a set of algorithms providing spatial data manipulation, a software framework controlling the geoportal operation logic, including the functionality of interactive editing of the system database by means of a graphical user interface were implemented for the geoportal functioning.

Conclusion. The geoportal «Metageosystems of Mordovia. Spatial data of the Region» is available at <http://meta.rgo.life/>, the list of its thematic layers forms a set of thematic spatial data on metageosystems and landscapes, the systemic analysis of which allows us to solve the problem of a comprehensive analysis of the area of the Republic of Mordovia.

Key words: geoportals, metageosystems, spatial data, test sites, geographic information systems.

Funding: The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 22-27-00651, <https://rscf.ru/en/project/22-27-00651/>.

For citation: Yamashkin A.A., Yamashkin S.A., Shabaykina V.A. Design and Development of the Geoportal Systems to Support Management Decision-Making Processes for Sustainable Regional Development. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2024, no. 4, pp. 38-44. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/4/38-44>

REFERENCES

1. Geoportaly v sostave infrastruktury prostranstvennykh dannykh: rossiyskiye akademicheskiye resursy i geoservisy [Geoportals as part of spatial data infrastructures: Russian academic resources and geoservices] / A.V. Koshkarev, A.N. Antipov, A.R. Batuyev i dr. *Geografiya i prirodnye resursy*, 2008, no. 1, pp. 21-32. (In Russ.)

2. Nikolaev V.A. *Landshaftovedenie* [Landscape Science]. Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 2000. 94 p. (In Russ.)

3. Testovyye poligony dlya diagnostiki sostoyaniya geosistem i razvitiya metodov interpretatsii dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli [Test sites for diagnosing the state of geosystems and development of methods of interpretation of remote sensing data of the Earth]

© Yamashkin A.A., Yamashkin S.A., Shabaykina V.A., 2024

✉ Anatoliy A. Yamashkin, e-mail: yamashkin56@mail.ru



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

and developing methods for interpreting Earth remote sensing data] / A. A. Yamashkin, S. A. Yamashkin, M. R. Baychurin i dr. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*, 2022, no. 4, pp. 4-18. (In Russ.)

4. Cherkashin A. K. *Predmet geograficheskikh issledovaniy: metateoreticheskiy podhod* [Subject of geographical research: metatheoretical approach]. *Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshchestva*, 2022, vol. 154 (2), pp. 3-21. (In Russ.)

5. Gkonos C. Spinning the wheel of design: evaluating geoportal Graphical User Interface adaptations in terms of hu-

man-centred design / C. Gkonos, I. I. Enescu, L. Hurni. *International Journal of Cartography*, 5 (1), 2019, pp. 23-43.

6. Reddy G. O. Geoportal platforms for sustainable management of natural resources. *Data Science in Agriculture and Natural Resource Management*, 2022, pp. 289-314.

Conflict of interests: The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 07.02.2024

Accepted: 02.12.2024

Ямашкин Анатолий Александрович

Доктор географических наук, профессор, директор Института геоинформационных технологий и географии национального исследовательского Мордовского государственного университета, г. Саранск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-9995-8371, e-mail: yamashkin56@mail.ru

Ямашкин Станислав Анатольевич

Доцент кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления национального исследовательского Мордовского государственного университета, г. Саранск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-7574-0981, e-mail: yamashkinsa@mail.ru

Шабайкина Виктория Александровна

Аспирант Института геоинформационных технологий и географии национального исследовательского Мордовского государственного университета, г. Саранск, Российская Федерация, e-mail: shabaykinav@yandex.ru

Anatoliy A. Yamashkin

Dr. Sci. (Geogr.), Prof., Director of the Institute of Geoinformation Technologies and Geography, National Research Mordovian State University, Saransk, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-9995-8371, e-mail: yamashkin56@mail.ru

Stanislav A. Yamashkin

Assoc. Prof. at the Department of Automated Information Processing and Control Systems, National Research Mordovian State University, Saransk, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-7574-0981, e-mail: yamashkinsa@mail.ru

Victoria A. Shabaykina

Postgraduate student of the Institute of Geoinformation Technologies and Geography, National Research Mordovian State University, Saransk, Russian Federation, e-mail: shabaykinav@yandex.ru