

УДК 528.92

DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-241-253

Синтез и распространение пространственных данных о метагеосистемах для информационной поддержки управленческих решений

Ямашкин А.А., Ямашкин С.А.

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева,
Россия, 430005, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевикская, 68
E-mail: yamashkinsa@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты анализа и систематизации отечественного и международного опыта проектирования, верификации, актуализации и практического использования цифровых инфраструктур пространственных данных для целей гармонизации взаимодействия природных, социальных и производственных подсистем, устойчивого развития территорий. Дана характеристика существующих международных, государственных, региональных, муниципальных (локальных) геопортальных систем, обеспечивающих синтез, структуризацию, визуализацию и распространение пространственно распределенных данных о метагеосистемах для информационной поддержки управленческих решений в области устойчивого эколого-социально-экономического развития с целью обоснования эффективной концептуальной модели проблемно-ориентированной геопортальной системы.

Ключевые слова: метагеосистемы, пространственные данные, геопорталы, машинное обучение, устойчивое развитие

Благодарности: исследование выполнено при поддержке РНФ (грант № 22-27-00651).

Для цитирования: Ямашкин А.А., Ямашкин С.А. 2022. Синтез и распространение пространственных данных о метагеосистемах для информационной поддержки управленческих решений. Региональные геосистемы. 46(2): 241–253. DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-241-253

Synthesis and Dissemination of Spatial Data on Metageosystems for Information Support of Management Decisions

Anatoliy A. Yamashkin, Stanislav A. Yamashkin

Ogarev Mordovia State University
68 Bolshevistskaya St, Saransk, Mordovia, 430005, Russia
E-mail: yamashkinsa@mail.ru

Abstract. The article analyzes and systematizes domestic and international experience in the design, verification, updating and practical use of digital spatial data infrastructure for the purposes of harmonizing the interaction of natural, social and industrial subsystems, sustainable development of territories. The characteristic of the existing international, state, regional, local geoportal systems providing synthesis, structuring, visualization and dissemination of spatially distributed data on metageosystems for information support of management decisions in the field of sustainable ecological, social and economic development is given in order to substantiate an effective conceptual model of problematic-oriented geoportal system. Systems of this class, based on the layers of a spatial database obtained by processing cartographic materials, remote sensing data, field studies, serve as a tool for visualizing and disseminating spatial data on metageosystems, studying the relationship and dependence between natural, social and industrial processes and phenomena, provide an opportunity develop recommendations for optimizing the processes of economic development of landscapes.



Keywords: metageosystems, spatial data, geoportals, machine learning, sustainable development

Acknowledgements: The research was supported by RSF (project No. 22-27-00651).

For citation: Yamashkin A.A., Yamashkin S.A. 2022. Synthesis and Dissemination of Spatial Data on Metageosystems for Information Support of Management Decisions. Regional Geosystems, 46(2): 241–253 (in Russian). DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-241-253

Введение

Актуальность разработки региональных геоинформационных систем (ГИС) и геопорталов определяется потребностью в выработке комплексного подхода к оценке, планированию, прогнозированию состояния природно-социально-производственных систем для принятия управленческих решений [Yamashkin et al., 2020a; Yamashkin et al., 2020b]. Решение стратегических задач обуславливает более жесткие требования к целенаправленности, системности и объективизации в пространственно-временном разрезе традиционных прогнозов, рекомендаций, справочных данных, оценок [Кошкарев, 2019]. Одновременно с увеличением экономической самостоятельности первичных звеньев производства растет потребность в информации для целей оперативного управления, т. е. информация должна своевременно реагировать на изменения ресурсов, охватывать все аспекты хозяйствования на конкретных территориях. Оперативное информационное обслуживание должно осуществляться в жестких рамках производственного режима, а информация, поступающая потребителям, иметь форму, позволяющую использовать ее для принятия решений.

Результаты исследования, представленные в статье, направлены на анализ и систематизацию международного опыта проектирования, верификации, актуализации и практического использования цифровых инфраструктур пространственных данных (ИПД) для целей гармонизации взаимодействия природных, социальных и производственных подсистем, устойчивого развития территорий.

Повышение точности и оперативности диагностики пространственно-временных изменений геосистем основывается на внедрении в практику интеллектуальных систем, технологий глубокого машинного обучения, применяемых для сопряженного анализа данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), результатов мониторинга экологических, социальных и экономических процессов в развитии территорий. Исследование систем природопользования, предпосылок их развития, основных технологических особенностей и региональной дифференциации требует обработки больших информационных массивов, имеющих в своем составе не только многомерную количественную и качественную информацию о природных объектах, но и об их пространственном положении [Candela et al., 2018]. Современные геоинформационные технологии призваны обеспечить высокую степень автоматизации проведения научно-практических исследований для принятия управленческих решений.

Объекты и методы исследования

Решение широкого спектра современных пространственно-временных задач по оптимизации взаимодействия природных, социальных, производственных систем реализуется в разработках схем территориального планирования, экологическом обосновании градостроительной документации, проектировании особо охраняемых природных территорий, прогнозировании природных и природно-техногенных чрезвычайных экологических процессов, сопряжено с развитием ГИС-технологий. Решение экологических проблем определяется развитием IT-технологий в области разработки региональных географических информационных систем и геопорталов – систем, обеспечивающих сбор, обработку и визуализацию информационных ресурсов о природно-социально-

экономических объектах регионов (стран). Их внедрение способствует реализации стратегических целей устойчивого развития регионов, созданию эффективного инструмента управления природными, социальными и экономическими ресурсами.

Современные ГИС – это системы, выполняющие как традиционные операции статистического анализа пространственных данных, так и функции интеллектуального анализа и визуализации больших объемов информации, что обеспечивает возможности применения систем данного класса в проектных задачах, связанных с анализом состояния земель и прогнозированием развития стихийных процессов [Rajabifard et al., 2002; Ienco et al., 2017].

Согласно статистике научной системы цитирования *Google Scholar*, использование машинного обучения для интерпретации пространственных данных (в том числе материалов космической съемки) непрерывно растет (рис. 1) с конца прошлого века [Yuan et al., 2021]. Технологии глубокого машинного обучения (*Deep Learning*) [LeCun et al., 2015] основаны на формировании моделей с большим количеством скрытых слоев, показывающих высокую эффективность в анализе геопространственных данных [Mohan et al., 2021].

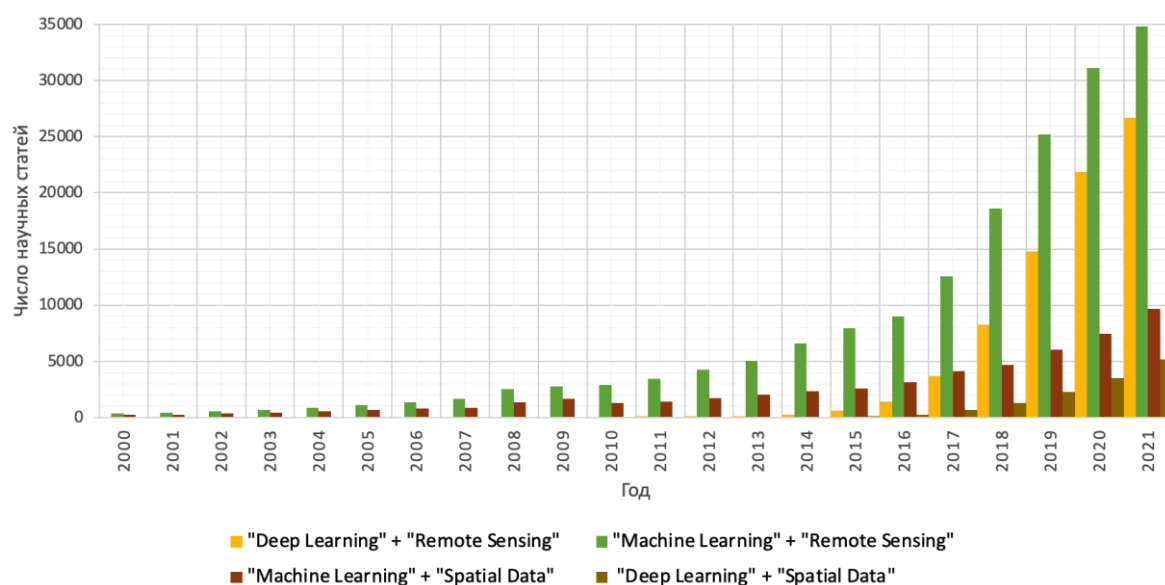


Рис. 1. Количество научных статей в системе *Google Scholar* по ключевым запросам из области анализа пространственных данных
Fig. 1. The number of scientific articles in the Google Scholar system for key queries from the field of spatial data analysis

Анализ международного опыта в области проектирования, разработки, внедрения и эффективного использования цифровых инфраструктур пространственных данных проводился на основе алгоритма, представленного на рис. 2. При систематизации международного научного опыта в области разработки методов и алгоритмов интеграции информации в ИПД использованы две стратегии. Реализация каждой из них опиралась на использование информационных баз данных и систем цитирования (*Google Scholar*, *Scopus*, *Web of Science*, *РИНЦ*, *IEEE Xplore*), а также репозиториях программного обеспечения (*GitHub*). В рамках первого направления поиск осуществляли по релевантным научному исследованию ключевым словам и их комбинациям (в том числе таким, как «*Machine Learning*» + «*Spatial Data*», «*Geoportal*», «*Spatial Data Infrastructure*»), а в рамках второго – реализован анализ цитируемых публикаций в авторитетных научных изданиях из области геоинформатики, ориентированный на поиск статей по ключевым словам с последующим рекурсивным анализом связанных публикаций, направленных в том числе на решение конкретных проектных задач в области анализа систем природопользования и

прогнозирования развития природных и природно-техногенных процессов. Акцент был сделан на анализ защищаемых положений диссертаций, научных и обзорных статей научных журналов, монографий и отдельных глав в книгах, тезисов докладов в сборниках трудов конференций. Отдельное внимание уделено изучению объектов патентования и открытых программных решений. Накопленные публикации и результаты интеллектуальной деятельности систематизированы с удалением дублей для формирования нормализованной библиографической базы знаний.

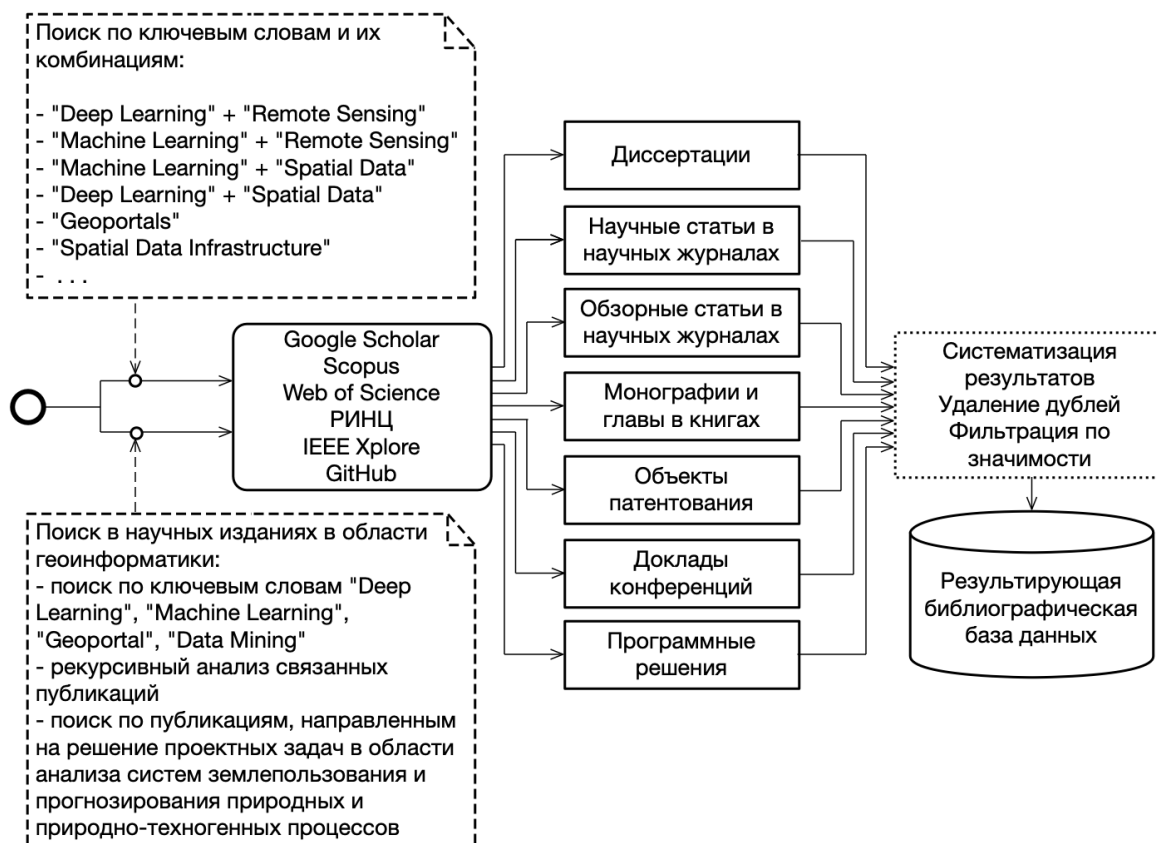


Рис. 2. Алгоритм систематизации международного опыта в области разработки методов и алгоритмов интеграции информации в ИПД

Fig. 2. Algorithm for international experience systematizing in the development of methods and algorithms for integrating information into SDI

Объектом системного пространственного анализа в ГИС являются геосистемы – «...земное пространство всех размерностей, где отдельные компоненты природы находятся в системной связи друг с другом и как определенная целостность взаимодействуют с космической сферой и человеческим обществом» [Сочава, 1978]. Учение о геосистемах получило развитие в сфере исследования не только природных объектов и процессов, но и их взаимодействия с социальными и экономическими системами. В такой расширенной трактовке геосистемы выступают как «метагеосистемы», цифровые модели которых становятся основным инструментом пространственного анализа.

В качестве интегрального процесса, развивающегося в метагеосистемах, выступает хозяйственное освоение – формирование различных типов геотехнических систем. Выделяются две основные фазы хозяйственного освоения: 1) освоение «вширь» – включение в хозяйственную деятельность новых территорий и 2) освоение «вглубь» – адаптация хозяйственной деятельности к структуре геосистем. В качестве индикаторов освоенности выступают показатели устойчивого развития и острота проявления геоэкологических про-

блем. Рациональное освоение выражается в адаптации хозяйственной деятельности к структуре природных геосистем.

Пространственная неоднородность метагеосистем, обусловленная природными и социально-экономическими процессами, обуславливает региональные различия природопользования и предопределяет различия в организации и функционировании региональных ГИС [Lee, Kang, 2015]. Помимо развития технических средств для получения и обработки пространственной информации, необходимо специальное географическое основание, включающее широкий спектр вопросов – от выявления объектов изучения, круга потребителей информации различных территориальных уровней до определения видов и содержания выходной продукции, создания географической информационной базы данных, методов прикладного ГИС-анализа для тематической обработки пространственной информации [Lü et al., 2019].

Важное место в данном контексте занимает проблема интеграции инструментов автоматизированного анализа пространственных данных в подсистему анализа и синтеза геопространственных данных, функционирующую на основе жестких и мягких вычислений. Для достижения свойства проектной ориентации репозитория моделей анализа данных алгоритмы должны быть ассоциированы с проектными задачами, в которых они могут быть применены, и с данными, которые они при этом анализируют [Chen et al., 2016]. Особое место в анализе больших массивов мультимодельных пространственных данных занимают ансамбли классификаторов и глубокие нейросетевые модели (рекуррентные [Kong et al., 2018] и сверточные нейронные сети [Liu et al., 2016], автокодировщики [Azarang et al., 2019]) для решения задач детекции аномалий, классификации и интерпретации данных, обучения признакам, слияния данных. С другой стороны, обучение без учителя используется для решения задачи сегментации пространственных данных [Li et al., 2017; Heaton et al., 2019].

Автоматизация в исследовании метагеосистем требует интеграции многих отраслей знаний, непосредственно связанных с научно-техническим прогрессом и основанных на системном подходе. Системный подход в исследовании геосистем – это прежде всего углубленное понимание объектов природопользования. Функциональные возможности проблемно-ориентированных ГИС часто обращаются к современным методам других наук, таких как математика, кибернетика, теория информации и др.

Результаты и их обсуждение

Для изучения, достоверной оценки состояния метагеосистем разработана и актуализируется региональная ГИС «Мордовия», в которой осуществляется накопление данных и знаний о природе, хозяйстве и населении регионов. Информация такого типа консолидируется на географической основе. Географический подход к анализу принимаемых решений неизбежно приводит к тому, что каждый географический объект входит в поле зрения некоторого субъекта управления народным хозяйством.

Схема технологического процесса синтеза цифровой карты геосистем в рамках геопортала как интерфейсной точки региональной ГИС представлена на рис. 3. Геосистемный (ландшафтный) подход включает следующие типы исследований:

- 1) морфологическое – диагностика элементов геосистем и структурных отношений между ними;
- 2) парагенетическое – анализ динамически пространственно взаимосвязанных между собой по происхождению и процессами современного метаболизма вещества и энергии геосистем;
- 3) синтетическое – исследование взаимодействия процессов метаболизма вещества и энергии со структурой географических объектов;

4) исследование систем техногенеза – анализ изменения состояния эколого-социально-экономических систем под влиянием хозяйственной деятельности человека.

Систематизация и классификация геосистем основывается на генетическом, историческом и структурном (системном) принципах. Для исследования зоны взаимодействия лесостепи Приволжской возвышенности и лесных типов геосистем Окско-Донской низменности в границах Республики Мордовия наиболее перспективным является использование таксонов, предложенных В.А. Николаевым [1978].

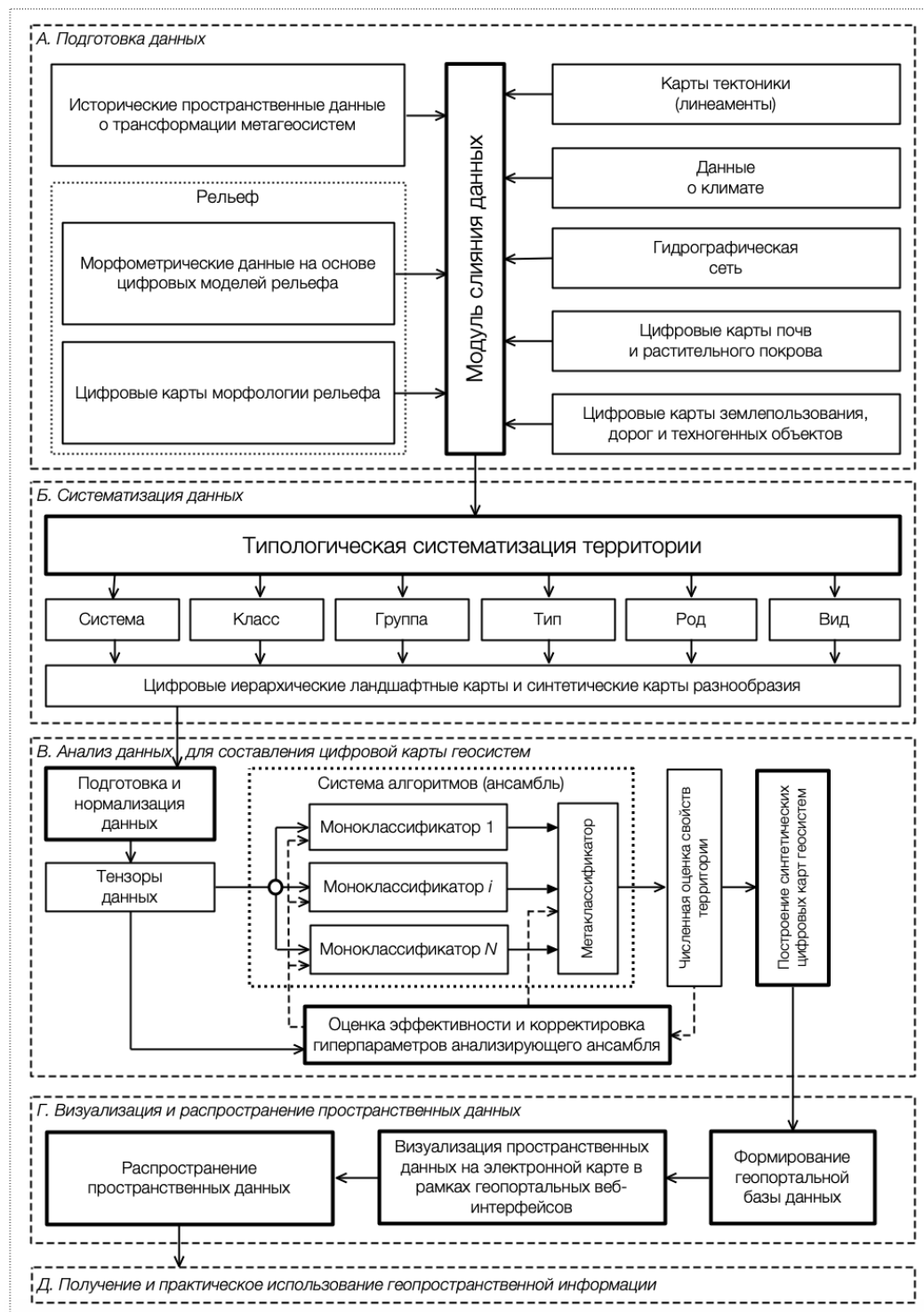


Рис. 3. Технологический процесс синтеза цифровой карты геосистем
Fig. 3. Technological process of digital geosystems map synthesizing

1) Разряд геосистем выделяется по особенностям макро- и мезоклимата. Среди климатических факторов в процессе формирования геосистем основную роль играют суммарная поглощенная солнечная радиация, температура воздуха, режим осадков, условия испарения (влажность, скорость ветра). Функционирование геосистем проявляется в сменах сезонов года

2) Класс (подкласс) геосистем картографируется по орографическим признакам. Роль рельефа в процессах формирования геосистем определяется высотой, крутизной и экспозицией склонов, которые перераспределяют водные массы и изменяют величину испарения.

3) Группа геосистем диагностируется по типам водного и геохимического режима. Основным объектом исследования является зона свободного водообмена, содержащая пресные и слабоминерализованные грунтовые воды, а также краевые части межпластовых водоносных горизонтов.

4) Тип геосистем диагностируется по почвенно-биотическим признакам с выделением зональных, интразональных, экстразональных и аazonальных геосистем. При составлении карты типов геосистем особое внимание уделялось анализу элементарных почвообразовательных, экзогеодинамических, геохимических и др.

5) Род геосистем в региональном масштабе исследований отражает морфоскульптурные формы рельефа и слагающие их отложения, что позволяет интегрально учитывать природное многообразие литогидрогенных систем и их элементов (области питания, транзита и разгрузки подземных вод и т. п.

6) Вид геосистем. Их выделение проводилось в процессе дешифрирования космических снимков на основе факторально-динамических рядов, спектр которых расширяется при их комбинированном использовании.

В рамках первого этапа осуществляется предварительная подготовка данных, направленная на слияние мультимодельной, в том числе ретроспективной информации о территориальных системах. Далее производится типологическая систематизация информации с построением иерархии геосистем и цифровых ландшафтных карт. Нормализованные многомерные данные о геосистемной модели территории могут быть интерпретированы на основе ансамблевого анализа, конечным артефактом которого становятся синтетические цифровые карты геосистем. Процесс хозяйственного освоения территории раскрывается через создание цифровых карт, характеризующих особенности социальных и производственных систем и их взаимосвязи с вмещающими геосистемами.

В исследовании процессов хозяйственного освоения ландшафтов, формирующих метагеосистемы, выделяется спектр взаимосвязанных подходов, определяющих формирование систем цифровых карт и баз данных геопортальных систем:

- археологический – воссоздает особенности жизни населения и процессы ранних периодов хозяйственного освоения территории на основе ландшафтной локализации и материальных свидетельств культуры;

- исторический – описывает историю социальных институтов (семьи, государства, церкви), образ жизни, обычаи, поведение людей в прошлых эпохах с точек зрения: а) их внутренней структуры как целостной органически взаимосвязанной системы; б) процесса исторического изменения внутренних связей; в) выявления и изучения качественных изменений в их структуре; г) выявления и раскрытия закономерностей развития;

- этнологический и этнографический – определяет принципы классификации народов, их субординацию; раскрывает проблемы этногенеза, расселения народов, демографических процессов, образ жизни народов и племен, обычаи, верования народов, социальную и политическую структуру и динамику культурных черт того или иного народа;

- культурологический – позволяет анализировать особенности социализации человека в различных средах: языки, быт, обычаи, традиции, культурные институты;

– демографический – раскрывает закономерности и особенности развития социума через исследование динамики численности населения, городские и сельские поселения, культуру, образование и др.;

– экономический – исследует системы производства, обмена и распределения продуктов в обществе; организацию производства и разделения труда в разных природных и культурных средах.

Представленные подходы становятся источником для формирования эффективной концептуальной модели проблемно-ориентированной геопортальной системы, являясь источником требований к систематизации слоев цифровых карт, которые могут быть использованы в территориальном планировании метагеосистем разного масштаба (глобального, регионального, локального). Анализ хозяйственного освоения геосистем должен быть направлен на раскрытие пространственно-временных закономерностей развития природных, социальных, производственных систем и их взаимодействия в характерные состояния метагеосистем.

Современные направления решения проблем моделирования метагеосистем сопряжены с внедрением ГИС-технологий и геопортальных систем, с разработкой методологии и алгоритмов анализа взаимодействия природных, социальных и производственных систем, комплексной интерпретации больших пространственных данных, прогнозирования развития пространственно-временных процессов, эффективного распространения пространственно-временных данных (рис. 4).



Рис. 4. Интегральный синтез информации о метагеосистемах
Fig. 4. Integrated synthesis of information about metageosystems

С позиций моносистемной модели метагеосистемы – это совокупность природных и техногенных систем, полисистемная модель рассматривает их во взаимосвязи с их пространственным окружением, т. е. учитываются геосистемы различных иерархий. Комплексный анализ метагеосистем ориентирован на достижение определенных целей. Например, для целей оптимизации сельскохозяйственного освоения территории анализируются:

- производственно-территориальные функции, обеспечивающие устойчивое земледелие;
- физико-химические функции, направленные на оказание воздействия на физико-химические свойства почвы, режим питания растений;
- гидрометеорологические функции, исполняющие роль регулирования поверхностного стока, уровня грунтовых вод, формирования запаса влаги, регулирования водного, температурного режимов почвы и воздуха, аккумуляции солнечной энергии;
- биологические функции, направленные на воспроизводство биопродуктивности, гумусообразование, саморегуляцию.

Представленные функции необходимы для поддержания средо-, ресурсовоспроизводящих функций геосистем для обеспечения их стабильности, поддержания общего экологического баланса территории, обеспечения самовосстановления в процессе хозяйственного использования. Экологический подход предполагает оценку хозяйственной освоенности ландшафтов для решения вопросов оптимизации территориальной организации метагеосистем, выявления региональных различий в эффективности их функционирования, определения путей оптимизации использования природных, экономических, социальных и демографических ресурсов.

Актуализация данных о метагеосистемах осуществляется на основе интерпретации данных ДЗЗ в ходе их визуального и автоматизированного дешифрирования [Kussul et al., 2017]. Функционирование алгоритмов классификации синтетической информации о земной поверхности должно основываться на тщательной калибровке результатов дешифрирования при их соотнесении с данными полевых исследований [Landgrebe, 2003]. Приведем перечень требований, которым должны удовлетворять тестовые полигоны.

- структурное разнообразие, обеспеченное включением набора факторально-динамических рядов геосистем, достаточного для создания базы спектральных характеристик обучающих и тестовых выборок;
- расположение, размеры и пространственное разрешение тестового полигона должны позволять сделать репрезентативную выборку тестовых и обучающих данных;
- точность детектирования спектральных характеристик должна обеспечивать достаточное для анализа отображение структуры и свойств геосистем;
- методическое обеспечение процесса сбора полевых данных об особенностях пространственно-временной организации геосистем должно быть согласовано с проектными задачами, решаемыми в рамках тестового полигона;
- наличие метаописания, включающего общие сведения, параметры съемки, описание ландшафтов и их антропогенных модификаций, административную характеристику.

Детализация ландшафтной модели региона на основе полевых обследований и анализа данных ДЗЗ на уровне землепользований сельскохозяйственных предприятий является основой для землеустроительного проектирования. Землеустройство на ландшафтно-экологической основе направлено на обеспечение ресурсовоспроизводящих и средозащитных функций агроландшафтов. Другой важной задачей оптимизации землепользования выступает проектирование микрозаповедников, миграционных коридоров и ландшафтно-экологических ниш, выполняющих функции экологического каркаса территории. В целом решение задач управления земельными ресурсами на ландшафтно-экологической основе исходит из внедрения в практику хозяйственной деятельности комплексных подходов, ориентированных на его адаптацию к возможностям вмещающего природно-территориального комплекса.

Опыт решения задач геоинформационной поддержки ландшафтно-экологических исследований в Республике Мордовия определяет, что функционирование ГИС и геопорталов требует ориентации на гибкий процесс разработки, а также постоянной актуализации данных. Эффективность геопорталов в значительной мере зависит от качества графических интерфейсов, позволяющих визуализировать цифровые карты метагеосистем,

мощности и структурированности пространственной базы данных, а также системной организации программных компонентов, определяющих функционирование бизнес-логики проекта и модулей анализа данных. Геопорталы как внешняя подсистема ИПД являются распределенной веб-системой, что определяет необходимость обеспечения свойств конфиденциальности, доступности и целостности консолидируемой в системе пространственной информации. Свойство масштабируемости определяет способность системы визуализации и распространения пространственных данных выдерживать увеличение функциональности и повышение рабочей нагрузки.

К цифровой карте геопортальной системы как узлового компонента следует предъявлять следующий набор функциональных требований: наличие картографической основы, реализация возможности комбинированного наложения тематических слоев, наличие удобных инструментов навигации по пространственной базе данных, доступа к атрибутивным характеристикам пространственных объектов, а также возможность получения иной связанной текстовой и мультимедийной информации. Среди множества важных качественных запросов выделены: адаптация графических интерфейсов под различные устройства, интуитивная понятность интерфейсов, модифицируемость и расширяемость, надежность и безопасность.

Заключение

На основе проведенного исследования можно сделать следующие выводы.

1. Важнейшим направлением оптимизации процессов хозяйственного освоения ландшафтов является иерархическое структурирование ландшафтной оболочки с выделением рядов, классов, групп, типов, родов и видов геосистем. Такой подход позволяет обоснованно выделить лимитирующие факторы хозяйственного освоения территории, особенности развития экзогеодинамических процессов, водного и геохимического режима, особенностей развития почвообразовательных и биологических процессов. Для достоверного определения количественных и качественных характеристик свойств геосистем важную роль приобретают автоматизированная обработка снимков в режиме единого технологического процесса. Инструменты автоматизированного анализа данных должны быть ассоциированы с проектными задачами, в которых они могут быть применены, и с данными, которые они при этом анализируют. Особое место в анализе массивов мультимодельных пространственных данных занимают ансамбли классификаторов и глубокие нейросетевые модели.

2. Процесс хозяйственного освоения ландшафтной оболочки сопровождается формированием метагеосистем, характеризующихся сложным взаимодействием природных, социальных и производственных процессов. Выделяются две основные фазы хозяйственного освоения: 1) освоение «вширь» – включение в хозяйственную деятельность новых территорий и 2) освоение «вглубь» – адаптация хозяйственной деятельности к структуре геосистем. Пространственно-временная структура процесса хозяйственного освоения геосистем раскрывается с использованием ландшафтно-археологических, историко-географических, этнографических, культурологических, демографических, экономических подходов и методов. В качестве индикаторов освоенности выступают показатели остроты проявления геоэкологических проблем.

3. Перспективным направлением решения задач по гармонизации взаимодействия природных, социальных и производственных систем является использование геопортальных систем. Опираясь на слои пространственной базы данных, получаемые при обработке картографических материалов, данных дистанционного зондирования, натурных исследований, системы этого класса служат инструментом визуализации и распространения пространственных данных о метагеосистемах, изучения взаимосвязи и зависимости между природными, социальными и производственными процессами и явлениями, дают возможность выработать рекомендации по оптимизации процессов хозяйственного освоения ландшафтов.

Список литературы

- Кошкарев А.В. 2019. Геоинформатика в инфраструктурном обеспечении цифровой экономики. *Геодезия и картография*, 80 (1): 119–126. DOI: 10.22389/0016-7126-2019-943-1-119-126.
- Николаев В.А. 1978. Классификация и мелкомасштабное картографирование ландшафтов. М., Изд-во Московского университета, 62 с.
- Сочава Б.В. 1978. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск, Наука, 319 с.
- Azarang A., Manoochehri H.E., Kehtarnavaz N. 2019. Convolutional Autoencoder-Based Multispectral Image Fusion. *IEEE Access*, 7: 35673–35683. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2905511.
- Candela L., Castelli D., Pagan P. 2018. Managing Big Data through Hybrid Data Infrastructures. *ERCIM News*, 89: 37–38.
- Chen Q., Song X., Yamada H. 2016. Learning Deep Representation from Big and Heterogeneous Data for Traffic Accident Inference. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 30 (1): 338–344.
- Heaton J., Datta A., Finley A.O. 2019. A Case Study Competition Among Methods for Analyzing Large Spatial Data. *Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics*, 24 (3): 398–425. DOI: 10.1007/s13253-018-00348-w.
- Ienco D., Gaetano R., Dupaquier C. 2017. Land Cover Classification Via Multitemporal Spatial Data by Deep Recurrent Neural Networks. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 14 (10): 1685–1689. DOI: 10.1109/LGRS.2017.2728698.
- Kong Y.L., Huang Q., Wang C. 2018. Long Short-Term Memory Neural Networks for Online Disturbance Detection in Satellite Image Time Series. *Remote Sensing*, 10 (3): 452. DOI: 10.3390/rs10030452.
- Kussul N., Lavreniuk M., Skakun S. 2017. Deep Learning Classification of Land Cover and Crop Types Using Remote Sensing Data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 14 (5): 778–782. DOI: 10.1109/LGRS.2017.2681128.
- Landgrebe D.A. 2003. *Signal Theory Methods in Multispectral Remote Sensing*. New Jersey, Wiley, 508 p. DOI:10.1002/0471723800.
- LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. 2015. Deep Learning. *Nature*, 521: 436–444. DOI: 10.1038/nature14539.
- Lee J., Kang M. 2015. Geospatial Big Data: Challenges and Opportunities. *Big Data Research*, 2 (2): 74–81. DOI: 10.1016/j.bdr.2015.01.003.
- Li M., Guo W., Duan L., Zhu X. 2017. A Case-Based Reasoning Approach for Task-Driven Spatial-Temporally Aware Geospatial Data Discovery Through Geoportals. *International Journal of Digital Earth*, 10 (11): 1146–1165. DOI: 10.1080/17538947.2017.1285968.
- Liu Y., Racah E., Correa J., Khosrowshahi A., Lavers D., Kunkel K., Wehner M., Collins W. 2016. Application of Deep Convolutional Neural Networks for Detecting Extreme Weather in Climate Datasets. *arXiv preprint*: 1605.01156. DOI: 10.48550/arXiv.1605.01156.
- Lü G., Batty M., Strobl J. 2019. Reflections and Speculations on the Progress in Geographic Information Systems (GIS): a Geographic Perspective. *International journal of geographical information science*, 33 (2): 346–367. DOI: 10.1080/13658816.2018.1533136.
- Mohan A., Singh A.K., Kumar B., Dwivedi R. 2021. Review on Remote Sensing Methods for Landslide Detection Using Machine and Deep Learning. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 32 (7): e3998. DOI: 10.1002/ett.3998.
- Rajabifard A., Feeney M.E., Williamson I.P. 2002. Future Directions for SDI Development. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4 (1): 11–22. DOI: 10.1016/S0303-2434(02)00002-8.
- Yamashkin A.A., Yamashkin S.A., Aksyonova M.Yu. 2020a. Cultural Landscapes Space-Temporal Systematization of Information in Geoportals for the Purposes of Region Tourist and Recreational Development. *Geojournal of Tourism and Geosites*, 29 (2): 440–449. DOI 10.30892/gtg.29205-480.
- Yamashkin S.A., Yamashkin A.A., Zanozin V.V. 2020b. Improving the Efficiency of Deep Learning Methods in Remote Sensing Data Analysis: Geosystem Approach. *IEEE Access*, 8: 179516–179529. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3028030.
- Yuan X., Shi J., Gu L. 2021. A Review of Deep Learning Methods for Semantic Segmentation of Remote Sensing Imagery. *Expert Systems with Applications*, 169: 114417. DOI: 10.1016/j.eswa.2020.114417.

References

- Koshkarev A.V. 2019. Geoinformatics in Infrastructural Support of the Digital Economy. *Geodesy and Cartography*, 80 (1): 119–126 (in Russian). DOI: 10.22389/0016-7126-2019-943-1-119-126.
- Nikolaev V.A. 1978. *Klassifikatsiya i melkomasshtabnoye kartografirovaniye landshaftov* [Classification and Small-Scale Landscape Mapping]. Publ. Moskovskogo universiteta, 62 p.
- Sochava B.V. 1978. *Vvedeniye v ucheniye o geosistemakh* [Introduction to the study of geosystems]. Novosibirsk, Publ. Nauka, 319 p.
- Azarang A., Manoochehri H.E., Kehtarnavaz N. 2019. Convolutional autoencoder-based multispectral image fusion. *IEEE Access*, 7: 35673–35683. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2905511.
- Candela L., Castelli D., Pagan P. 2018. Managing Big Data through Hybrid Data Infrastructures. *ERCIM News*, 89: 37–38.
- Chen Q., Song X., Yamada H. 2016. Learning Deep Representation from Big and Heterogeneous Data for Traffic Accident Inference. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 30 (1): 338–344.
- Heaton J., Datta A., Finley A.O. 2019. A Case Study Competition Among Methods for Analyzing Large Spatial Data. *Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics*, 24 (3): 398–425. DOI: 10.1007/s13253-018-00348-w.
- Ienco D., Gaetano R., Dupaquier C. 2017. Land Cover Classification Via Multitemporal Spatial Data by Deep Recurrent Neural Networks. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 14 (10): 1685–1689. DOI: 10.1109/LGRS.2017.2728698.
- Kong Y.L., Huang Q., Wang C. 2018. Long Short-Term Memory Neural Networks for Online Disturbance Detection in Satellite Image Time Series. *Remote Sensing*, 10 (3): 452. DOI: 10.3390/rs10030452.
- Kussul N., Lavreniuk M., Skakun S. 2017. Deep Learning Classification of Land Cover and Crop Types Using Remote Sensing Data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 14 (5): 778–782. DOI: 10.1109/LGRS.2017.2681128.
- Landgrebe D.A. 2003. *Signal Theory Methods in Multispectral Remote Sensing*. New Jersey, Wiley, 508 p. DOI:10.1002/0471723800.
- LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. 2015. Deep Learning. *Nature*, 521: 436–444. DOI: 10.1038/nature14539.
- Lee J., Kang M. 2015. Geospatial Big Data: Challenges and Opportunities. *Big Data Research*, 2 (2): 74–81. DOI: 10.1016/j.bdr.2015.01.003.
- Li M., Guo W., Duan L., Zhu X. 2017. A Case-Based Reasoning Approach for Task-Driven Spatial-Temporally Aware Geospatial Data Discovery Through Geoportals. *International Journal of Digital Earth*, 10 (11): 1146–1165. DOI: 10.1080/17538947.2017.1285968.
- Liu Y., Racah E., Correa J., Khosrowshahi A., Lavers D., Kunkel K., Wehner M., Collins W. 2016. Application of Deep Convolutional Neural Networks for Detecting Extreme Weather in Climate Datasets. *arXiv preprint*: 1605.01156. DOI: 10.48550/arXiv.1605.01156.
- Lü G., Batty M., Strobl J. 2019. Reflections and Speculations on the Progress in Geographic Information Systems (GIS): a Geographic Perspective. *International journal of geographical information science*, 33 (2): 346–367. DOI: 10.1080/13658816.2018.1533136.
- Mohan A., Singh A.K., Kumar B., Dwivedi R. 2021. Review on Remote Sensing Methods for Landslide Detection Using Machine and Deep Learning. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 32 (7): e3998. DOI: 10.1002/ett.3998.
- Rajabifard A., Feeney M.E., Williamson I.P. 2002. Future Directions for SDI Development. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4 (1): 11–22. DOI: 10.1016/S0303-2434(02)00002-8.
- Yamashkin A.A., Yamashkin S.A., Aksyonova M.Yu. 2020a. Cultural Landscapes Space-Temporal Systematization of Information in Geoportals for the Purposes of Region Tourist and Recreational Development. *GeoJournal of Tourism and Geosites*, 29 (2): 440–449. DOI 10.30892/gtg.29205-480.
- Yamashkin S.A., Yamashkin A.A., Zanozin V.V. 2020b. Improving the Efficiency of Deep Learning Methods in Remote Sensing Data Analysis: Geosystem Approach. *IEEE Access*, 8: 179516–179529. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3028030.
- Yuan X., Shi J., Gu L. 2021. A Review of Deep Learning Methods for Semantic Segmentation of Remote Sensing Imagery. *Expert Systems with Applications*, 169: 114417. DOI: 10.1016/j.eswa.2020.114417.

*Поступила в редакцию 11.04.2022;
поступила после рецензирования 25.04.2022;
принята к публикации 16.05.2022*

*Received April 11, 2022;
Revised April 25, 2022;
Accepted May 16, 2022*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ямашкин Анатолий Александрович, декан географического факультета, Мордовский государственный университет, г. Саранск, Россия

Anatoliy A. Yamashkin, Dean of Geography Faculty, Mordovia State University, Saransk, Russia

Ямашкин Станислав Анатольевич, доцент института электроники и светотехники, Мордовский государственный университет, г. Саранск, Россия

Stanislav A. Yamashkin, Associate Professor of Institute of Electronics and Lighting Engineering, Mordovia State University, Saransk, Russia