

УДК 004.052.2

ФОРМИРОВАНИЕ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЗНАНИЙ В ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ

Дулин С.К., д.т.н., профессор, главный научный сотрудник, АО «НИИАС»;

ИПИ ФИЦ ИУ РАН, Москва, Россия, E-mail: skdulin@mail.ru

Духин С.В., к.т.н., начальник Научно-технического комплекса, АО «НИИАС»,

Москва, Россия, E-mail: s.duhin@vniias.ru

Аннотация

Статья посвящена актуальной проблеме интеграции знаний о транспортной инфраструктуре в геоинформационной системе. Авторы обосновывают необходимость более глубокого понимания и формализации геопространственных знаний, их структуры и взаимосвязей, для автоматизации анализа и оценки размещения транспортной инфраструктуры. В статье обсуждается организация геопространственных знаний при решении задач, в которых необходим анализ специфики местности. Логико-семантический анализ позволяет описать особенности геопространственных знаний. Научно-прикладное значение геопространственных знаний в этом контексте заключается в возможности оптимизации различных процессов, связанных с транспортной инфраструктурой. Предложенный авторами подход к моделированию геопространственных знаний и их компьютерной реализации включает не только формальные методы представления знаний, но и методы обработки реальных геопространственных данных. Авторы обращают внимание на вопросы визуализации результатов анализа, чтобы обеспечить простоту использования разработанных систем для специалистов разного уровня подготовки.

Ключевые слова: геопространственные знания, геопространственные данные, геопространственная информация

FORMATION OF GEOSPATIAL KNOWLEDGE IN THE TRANSPORT INFRASTRUCTURE

Dulin S.K., Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher, JSC NIAS;

IPI FIC IA RAS, Moscow, Russia, E-mail: skdulin@mail.ru

Dukhin S.V., Ph.D., Head of the Scientific and Technical Complex, JSC NIAS, Moscow, Russia,

E-mail: s.duhin@vniias.ru

Abstract

The article is devoted to the actual problem of integrating knowledge about transport infrastructure in a geographic information system. The authors substantiate the need for a deeper understanding and formalization of geospatial knowledge, their structure and interrelations to automate the analysis and assessment of the location of transport infrastructure. The article discusses the organization of geospatial knowledge in solving problems in which it is necessary to analyze the specifics of the terrain. Logical-semantic analysis allows you to describe the features of geospatial knowledge. The scientific and applied value of geospatial knowledge in this context lies in the possibility of optimizing various processes related to transport infrastructure. The approach proposed by the authors to the modeling of geospatial knowledge and its computer implementation includes not only formal methods of knowledge representation, but also methods of processing real geospatial data. The authors pay attention to the issues of visualization of the analysis results in order to ensure the ease of use of the developed systems for specialists of different levels of training.

Keywords: geospatial knowledge, geospatial data, geospatial information

Введение

Стремительное развитие компьютерных технологий и дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) породило лавинообразный рост объемов геопространственных данных и, как следствие, резко увеличило требования к системам их обработки и управления. При этом глубокое понимание сути геопространственных данных и их тщательный анализ при размещении транспортной инфраструктуры на местности является определяющим фактором эффективной реализации. Современные ГИС кардинально отличаются от своих предшественников. Они интегрированы, масштабируемы, распределенные, облачные и, что особенно важно, интеллектуальны, обладая способностью к самообучению и адаптации. Ключевая задача настоящего момента – максимально упростить взаимодействие пользователя с данными, минимизируя рутинные операции по предварительной обработке и подготовке к анализу. Идеальная ГИС будущего должна предоставлять пользователю готовые, легко интерпретируемые результаты через веб-интерфейс, независимо от местонахождения и формата исходных данных. Эта цель достижима лишь при решении целого ряда сложных задач:

Во-первых, необходимо разработать эффективные механизмы управления огромными, распределенными и разнородными массивами геоданных. Речь идет о петабайтах и эксабайтах данных, получаемых из различных источников: спутниковых снимков высокого и сверхвысокого разрешения (с учетом различных спектральных диапазонов, включая гиперспектральные и мультиспектральные данные), данных LiDAR, аэрофотосъемки, сенсоров Интернета вещей (IoT) и разнообразных наземных измерений. Все эти данные хранятся в различных форматах, и задача их унификации и интеграции представляет собой значительный вызов. Разработка эффективных систем хранения и доступа к таким объемам данных часто опирается на облачные технологии, распределенные файловые системы (например, Hadoop Distributed File System – HDFS) и базы данных NoSQL, специально разработанные для работы с большими данными.

Во-вторых, необходимо реализовать интеллектуальные механизмы извлечения релевантного знания. Пользователь не должен разбираться в тонкостях работы с данными; система должна самостоятельно интерпретировать запрос и предоставлять ему именно ту информацию, которая ему необходима. Здесь на помощь приходят методы искусственного интеллекта (ИИ), включая машинное обучение (ML) и глубокое обучение (DL). Например, нейронные сети могут быть использованы для автоматической классификации объектов на спутниковых снимках, обнаружения изменений, прогнозирования и других задач пространственного анализа. Кроме того, важную роль играют технологии обработки естественного языка (NLP) для понимания пользовательских запросов, сформулированных на естественном языке.

В-третьих, необходимо обеспечить быстрый и эффективный пространственно-временной поиск. Объектно-ориентированный подход к моделированию геоданных позволяет создавать более гибкие и эффективные системы поиска. Для ускорения поиска используются пространственные индексы (например, R-tree, quadtree), а также различные оптимизационные алгоритмы.

Интеграция ГИС и методов пространственного анализа сформировала междисциплинарную область – географическую информатику, которая синтезирует точную геометрию, характерную для ГИС, с глубоким анализом пространственных паттернов, корреляций и трендов, которые являются объектом исследования пространственного анализа. Географическая информация, в отличие от просто про-

пространственных данных, несет в себе семантическую нагрузку, контекст и специфические атрибуты, существенно ограничивающие пространство возможных интерпретаций. Превращение данных в знания требует сложного процесса интерпретации и моделирования, что подчеркивает важность интеграции ИИ в современные ГИС. Взаимодействие с такими системами будет осуществляться через интуитивно понятные интерфейсы, возможно, с использованием виртуальной и дополненной реальности, для более эффективного восприятия и анализа пространственной информации. Таким образом, будущее ГИС – это интеллектуальные, масштабируемые и ориентированные на пользователя системы, тесно интегрированные с методами ИИ и обеспечивающие быстрый доступ к релевантной информации в любое время и в любом месте.

Термин "географическая информация" не синоним "пространственной информации", а её более узкое, специализированное подмножество. В то время как "пространственная информация" описывает расположение объектов в абстрактном пространстве, "географическая информация" сосредоточена на земной поверхности и её характеристиках, включая не только положение объектов, но и их взаимосвязи, исторические изменения, природные и антропогенные факторы, влияющие на их существование и взаимодействие. Эта специализация вносит существенные коррективы в методы анализа и обработки данных. Теория географической информации, будучи частью более общей теории пространственной информации, расширяет её, вводя новые понятия и алгоритмы, учитывающие специфику географических данных. Например, в географической информации критическую роль играет геоид, земная эллипсоидальная модель и система координат, которые не являются столь важными в общей пространственной теории. Более того, географические данные часто характеризуются неполнотой, неоднородностью и неточностью, что требует применения специфических методов обработки и анализа, отличных от тех, что используются для работы с "чистыми" пространственными данными. Различные системы координат (географические, проекции Гаусса-Крюгера, UTM и др.), системы высот (балтийская, нормальная) и способы их преобразования составляют существенную часть теории географической информации.

Понятие "знание" в контексте географической существенно большее, чем просто данные. Знание включает в себя не только сами данные, но и их интерпретацию, контекст, связи между различными фрагментами информации, а также метаданные, описывающие точность, происхождение и достоверность данных. В геоинформатике знание представляет собой совокупность фактов, моделей и правил, позволяющих интерпретировать географические данные и извлекать из них полезную информацию. Знания обладают следующими свойствами, которые часто используются в качестве их определения:

- внутренняя интерпретируемость;
- структурированность;
- связность;
- семантическая метрика;
- активность.

Для представления знаний в системах геоинформатики используются различные методы, включая семантические сети, онтологии, правила производства и нейронные сети. Выбор метода зависит от конкретной задачи и характера используемых данных.

1. Логико-семантический анализ понятия «геопространственные знания»

Понятие геопространственных знаний (ГПЗ) в геоинформатике – это уже не новая, но стремительно развивающаяся область исследования, тесно связанная с обработкой и анализом геопространственных данных. Часто возникает путаница в терминах: «данные о местности», «информация о местности» и «знания о местности». Хотя все три понятия имеют пересекающиеся области, их ключевые отличия становятся очевидны при рассмотрении конкретных задач геопространственного анализа. Разъяснение этих различий и определение роли ГПЗ в геоинформатике является критическим шагом для развития данной области.

Для ясного понимания, необходимо проанализировать смысловое содержание и сферу применения геопространственных данных (ГПД), геопространственной информации (ГПИ) и ГПЗ [1]. ГПД – это сырые, необработанные факты, представленные в цифровом или аналоговом виде. ГПД сами по себе не несут смысловой нагрузки, требуя интерпретации и обработки.

ГПИ, в свою очередь, представляет собой результат обработки и интерпретации ГПД. Это уже структурированная и осмысленная информация, представляющая собой описание реальных объектов или явлений в географическом пространстве. ГПИ может быть представлена в различных форматах: карты, таблицы, базы данных, 3D-модели и т.д. Она может быть статической (например, историческая карта) или динамической (например, данные о движении транспорта в реальном времени).

ГПЗ же находятся на более высоком уровне абстракции. Это не просто данные или информация, а обобщенное понимание, интерпретация и оценка географических явлений и процессов. ГПЗ включают в себя не только фактические данные, но и модели, теории, экспертные оценки, практический опыт и интуитивное понимание [2]. ГПЗ позволяют принимать информированные решения, предсказывать будущие события и разрабатывать эффективные стратегии.

Современные ГИС способны обрабатывать большие объемы ГПД и создавать различные виды ГПИ. Однако, автоматический вывод ГПЗ из ГПИ является одной из самых сложных задач современной геоинформатики. Разработка алгоритмов и моделей для извлечения знаний из геопространственных данных требует междисциплинарного подхода, объединяющего знания в области информатики, географии, экологии и других наук.

Важно отметить, что ГПИ, как и любая информация, может быть представлена в трёх состояниях: проявленная, непроявленная и отображенная [1-6]. Непроявленная ГПИ – это скрытая информация, которая может быть получена только с помощью специальных методов анализа. Это может быть информация о подземных водах, геологических структурах, или о распространении загрязнения. Отображенная ГПИ – это представление ГПИ в доступной для восприятия форме, например, на карте, в таблице или в виртуальной реальности.

Более того, для полного понимания геопространственных знаний необходимо рассмотреть концепцию онтологии и семантики. Онтология в этом контексте определяет структуру и свойства геопространственных объектов и их взаимосвязей. Семантика же занимается смысловым содержанием этих объектов и взаимодействий. Интеграция онтологии и семантических технологий в ГИС позволяет создавать более интеллектуальные системы, способные к автоматическому извлечению знаний из геопространственных данных и их использованию для решения сложных задач. Развитие ГПЗ и использование онтологий и семантики являются ключом к созданию более умных и эффективных геоинформационных систем будущего. Это позволит не только анализировать данные, но и извлекать из них глубокие познания о нашей планете и принимать более взвешенные решения в различных областях применения.

На рис. 1 показано отличие проявленной, не проявленной и отображенной ГПИ.

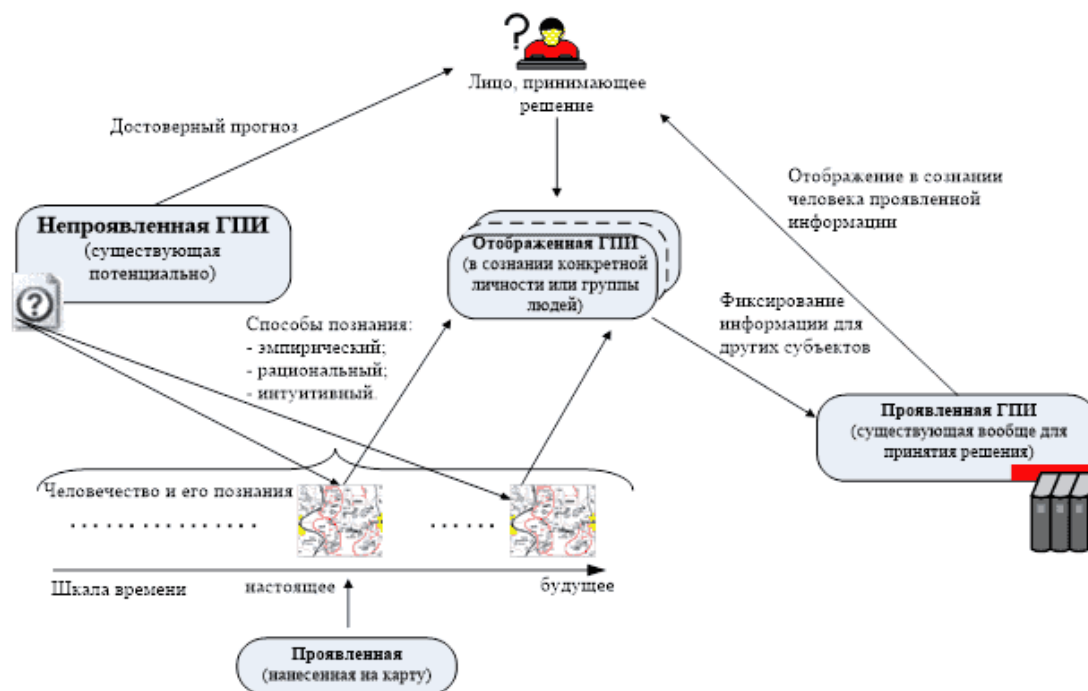


Рисунок 1. Схема приращения геопространственной информации

При оценке пространственно-временных характеристик местности с использованием карт, лицо, принимающее решение (ЛПР), сталкивается с определенными ограничениями. В частности, оно не может заранее предугадать все возможные сценарии, которые могут возникнуть в данной местности, поскольку эта информация остается скрытой. Однако по мере того как время проходит и ситуация развивается, ЛПР начинает осознавать и воспринимать эту скрытую информацию. В этом контексте проявленная ГПИ выступает как первичная информация о местности, представленная на карте. Это базовые данные, которые доступны для анализа и интерпретации.

Отображенной ГПИ является та часть информации, которая была осмыслена и понята ЛПР. Это значит, что ЛПР не просто видит данные на карте, но и интерпретирует их, принимая во внимание контекст ситуации и свои цели. Непроявленная ГПИ, напротив, включает в себя ту информацию о местности, которая остается скрытой до определенного момента. Этот аспект подчеркивает динамическую природу геоинформации, поскольку по мере изменения условий и обстоятельств, ранее скрытая информация может стать доступной для анализа и принятия решений.

Динамика ГПИ также подчеркивается тем, что она постоянно обновляется и прирастает. Например, в картографии информация определяется как составная часть ГПИ [5]. Она включает в себя сведения и данные об элементах местности, которые изображаются на топографических и специальных картах. Это может быть информация о рельефе, водоемах, инфраструктуре и других важных элементах, которые могут оказывать влияние на принятие решений.

Некоторые ученые-картографы утверждают, что информация – это осмысленные данные. В этом контексте информация становится полезной только тогда, когда она была интерпретирована и осмыслена.

Таким образом, процесс работы с ГПИ представляет собой сложную и многогранную задачу. ЛПР должен учитывать не только доступные данные, но и то, как

эти данные могут изменяться со временем, а также как они могут быть интерпретированы другими участниками процесса [6]. Важно также отметить, что в современном мире с развитием технологий, таких как ГИС, доступ к геопространственной информации стал более широким. Это позволяет более эффективно анализировать и визуализировать данные, что, в свою очередь, способствует более обоснованным и информированным решениям.

Окружающий мир сам по себе не является данными. Данные – это результат выделения определенных аспектов реальности человеческим сознанием, процесс, требующий предварительного знания о том, какие именно аспекты следует выделять. Без субъекта познания, без человека, данные существовать не могут. Они являются продуктом когнитивной деятельности.

Разнообразие правил формализации ГПД определяет разнообразие абстрактных форм их представления. Картографическая информация, являющаяся подмножеством ГПД, является примером формализованных данных, основанных на строго определенных правилах и стандартах, таких как проекции, системы координат, легенды и символика.

Следует подчеркнуть еще раз различие между ГПИ и ГПД. ГПД – это всего лишь одна из форм существования ГПИ. ГПИ – более широкое понятие. Один из важных аспектов ГПИ – её непроявленная, потенциальная форма существования, независимая от человеческого знания и восприятия (Рис. 2). Это информация, которая существует объективно, но не осознана нами. Наличие этой непроявленной составляющей делает понятие ГПИ более емким, чем ГПД. Можно утверждать, что ГПД – это тот фрагмент, который удалось формализовать и сделать доступным для обработки.

В схеме познания первичной является потенциальная, непроявленная информация – вся совокупность объективных данных о пространстве, существующая независимо от наблюдателя. Человеческое сознание способно "выделить" лишь часть этой информации – проявленную, актуальную часть, которую мы можем воспринимать и обрабатывать. Именно эта проявленная информация преобразуется в данные, благодаря процессу формализации.



Рисунок 2. Схема познания географического пространства

Признак неполноты формализации свидетельствует о том, что ГПД всегда представляет собой только часть ГПИ.

Важно отметить роль метаданных. Метаданные – это данные о данных. Они описывают структуру, содержание и происхождение ГПД, обеспечивая их интерпретацию и использование. Без качественных метаданных данные теряют свою ценность, становясь неинтерпретируемыми. Метаданные являются неотъемлемой частью процесса формализации и обеспечивают надежность и воспроизводимость результатов обработки ГПД. Они также помогают обеспечить совместимость данных, полученных из различных источников, и позволяют эффективно управлять большими объемами ГПИ.

Отображение информации, будь то географическая местность или любой другой объект, подразумевает ее осмысление и последующую формализацию. Этот процесс, в основе которого лежат определённые правила и инструментарий, сводится к выделению ключевых характеристик предмета или явления и созданию устойчивых материальных конструкций – данных. В контексте геоинформатики, ГПД представляют собой формализованные составляющие проявленной или отображенной ГПИ. Эта формализация обеспечивает хранение, обработку и передачу информации. Важно отметить фундаментальный аспект: отображается исключительно та информация, о которой у субъекта (человека или системы) уже имеются знания. В отношении местности или географического пространства, это отображенное знание мы обозначаем как ГПЗ.

Можно заметить, что существующие базы геоданных могут быть весьма полезны для формирования ГПЗ, так как они - формальные документы, которые были разработаны, чтобы зафиксировать взгляд специалиста на некоторую предметную область реального мира. Существующие базы геоданных могут, поэтому, использоваться, чтобы создать приблизительные ГПЗ, в то время как существующие ГПЗ могут использоваться, чтобы генерировать схемы баз геоданных (рис. 3).

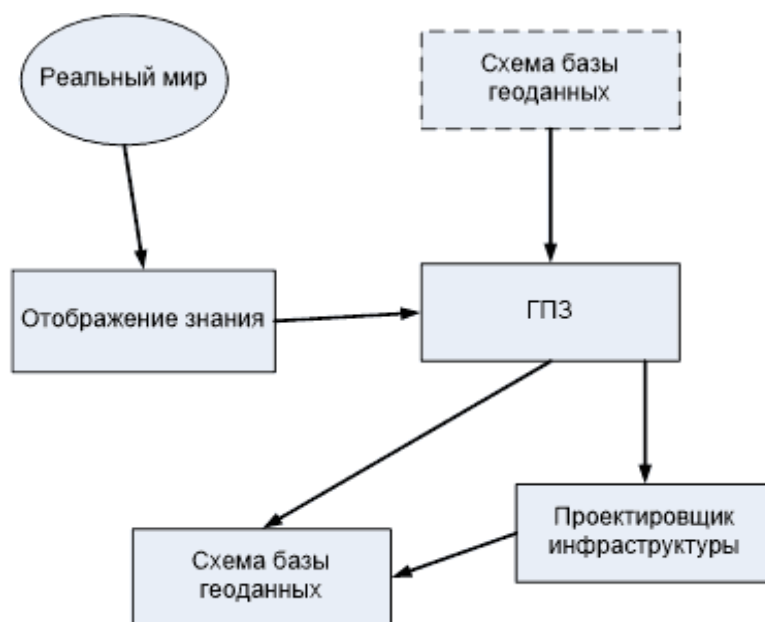


Рисунок 3. Отображение знания географического пространства

Имеются три различных уровня абстракций, на которых находятся как ГПЗ, так и схемы базы геоданных (рис. 4).

	ГПЗ	Концептуальные модели геоданных
Формальный уровень	Абстракция формальных особенностей научных предметов: геометрия, география, время, пространство	Понятия концептуального моделирования: объекты(цели), области(поля), отношения
Уровень логических типов геоданных прикладной области	ГПД и ГПЗ географических видов: представление, местоположение, топология, географическая информатика	Концептуальная модель и нотация: классы, пространственные отношения, пространственные ограничения целостности
Прикладной уровень	ГПД и ГПЗ инфраструктуры объектов ОАО «РЖД» Станции, перегоны и др.	Концептуальная схема БГД атрибутивное описание сущностей ОАО «РЖД»

Рисунок 4. Уровни абстракций ГПД и ГПЗ

Первый уровень - формальный, на котором в конструкции ГПЗ, ГПД и концептуальных схем включены абстрактные концепции.

Когда мы сопоставляем содержание формального уровня с географическими приложениями, мы получаем второй уровень абстракции, или уровень типов геоданных.

На прикладном уровне, ГПД и ГПЗ более конкретны, являясь уточнением специализаций уровня типов геоданных, и формируются в соответствии с концепциями поля знания, заданного приложением. На этом уровне онтология – это способ осмысления набора концепций, позволяющего совместно и согласованно использовать его группой пользователей.

Термин "знание" в геоинформатике, как и в системах ИИ, возник в ответ на усложнение задач, решаемых средствами автоматизации. Ранние цифровые картографические системы, включая программные и технические средства, ориентировались преимущественно на хранение информации о местности в заданном формате, ее отображение и выполнение картометрических расчётов. Структура данных была относительно простой, не требующей сложных алгоритмов обработки и анализа. Однако, появление задач, связанных с поддержкой принятия решений в режиме реального времени (например, мониторинг чрезвычайных ситуаций, управление транспортом, планирование городской инфраструктуры), радикально изменило ситуацию.

Современные ГИС должны выполнять функции, частично дублирующие человеческий интеллект, включая анализ пространственных данных, оценку различных ситуаций и прогнозирование. Это потребовало переосмысления архитектуры ГИС и принципов работы с данными. Простая запись координат и атрибутов объектов на карте оказалась недостаточной. Возникла необходимость в представлении знаний о пространстве в более сложной и комплексной форме. Это привело к развитию таких концепций, как онтологии, семантические сети и базы знаний, позволяющих хранить и обрабатывать не просто данные, а знания о данных.

Например, вместо простого описания реки как линии на карте с определенными атрибутами (название, длина, ширина), современная ГИС может хранить информацию о ее гидрологическом режиме, экологическом состоянии, истории развития, прилегающей инфраструктуре и т.д. Эти знания, представленные в формализованном виде, позволяют системе не только отображать реку на карте, но и анализировать ее состояние, прогнозировать возможные изменения, оценивать риски и принимать обоснованные решения.

Более того, современные ГИС всё чаще интегрируются с другими системами,

например, системами мониторинга окружающей среды, системами управления транспортом, системами безопасности. Это требует создания стандартов обмена данными, разработки специальных языков описания знаний и интеграционных платформ. В рамках такого расширенного контекста ГПД перестают быть просто набором координат и атрибутов, превращаясь в знания о пространстве, используемые для поддержки принятия решений на различных уровнях.

Значительное влияние на развитие ГИС оказало развитие технологий ИИ, включая машинное обучение и глубокое обучение. ИИ-алгоритмы способны анализировать огромные объемы ГПД, выявлять закономерности, строить прогнозные модели и автоматизировать многие рутинные операции. Например, использование глубокого обучения позволяет создавать высокоточные цифровые модели местности на основе спутниковых снимков и аэрофотосъемки. Машинное обучение помогает автоматизировать классификацию объектов на изображениях, определять типы растительности, выявлять изменения в ландшафте и т.д.

Дальнейшее развитие ГИС будет во многом определяться успехами в области ИИ, развитием новых методов анализа данных и созданием эффективных инструментов для работы с пространственными знаниями.

2. Представление геопространственных знаний

В программировании и, в особенности, в геоинформатике, представление знаний тесно связано с организацией данных [7]. Можно сказать, что знания – это хорошо структурированные данные, или, используя более формальный термин, метаданные, описывающие не только сами данные, но и их взаимосвязи, контекст и смысл [5]. Это концептуальное сходство между данными и знаниями является основой многих подходов к разработке интеллектуальных систем. В цифровой картографии, например, эволюция от простых данных к сложным знаниям проявляется в постепенном наращивании структурной сложности. Начальный этап – это сбор сырых данных: координаты, атрибуты объектов, изображения. Следующий шаг – их структуризация в базы данных, например, базы геоданных, включающие в себя пространственные и атрибутивные данные, связанные между собой с помощью различных топологических отношений. Дальнейшее развитие приводит к созданию геоинформационных моделей, которые отражают не только сами объекты, но и их взаимосвязи, динамику изменений во времени, и даже вероятностные характеристики. Таким образом, простой набор координат превращается в сложную модель, описывающую территорию с учётом её различных аспектов.

Развитие ИИ внесло значительный вклад в области представления знаний. Были разработаны специализированные структуры данных, позволяющие эффективно кодировать и обрабатывать сложные знания. К ним относятся фреймы, семантические сети, продукционные системы (сценарии), и ситуационные модели. Фреймы представляют собой иерархические структуры, описывающие объекты и их свойства. Семантические сети представляют знания в виде графов, где узлы соответствуют объектам или понятиям, а рёбра – отношениям между ними. Продукционные системы оперируют правилами "если-то", позволяющими выводить новые знания из существующих. Ситуационные модели описывают состояния системы и переходы между ними. Все эти структуры находят широкое применение в интеллектуальной геоинформатике, позволяя создавать более сложные и "интеллектуальные" ГИС.

В контексте углубления автоматизации в изучении и оценке местности, ключевым аспектом является исследование логических закономерностей, присущих

данной предметной области. Это включает в себя анализ пространственных отношений, временных зависимостей, каузальных связей между различными географическими объектами и явлениями.

ГПД представляют собой структурные компоненты отображаемой ГПИ. Однако, ГПИ включает в себя не только сами данные, но и их интерпретацию, контекст и значение для пользователя. Человеческое сознание обрабатывает информацию на многих уровнях, используя интуицию, опыт и знания, полученные из различных источников. Это делает перевод человеческого понимания в машинное представление сложной задачей, требующей развития новых методов и алгоритмов. В будущем развитие ИИ может привести к созданию ГИС, способных более полно и адекватно отражать сложность геопространственной информации и ее многоаспектное понимание человеком. Важно также учитывать онтологии и другие подходы к семантической веб-технологии, которые позволяют более точно определять и представлять знания в машинном формате. Включение нечеткой логики позволит учитывать неопределенность и неточность данных, что характерно для многих географических явлений. В итоге, целью развития ГИС является создание инструментов, которые не только хранят и обрабатывают геопространственные данные, но и позволяют пользователям получать знания из этих данных и принимать информированные решения.

ГПД также являются структурными частями проявленной ГПИ в той части ее, где происходит «материализация» – переход в статическое. Данные о местности как части проявленной ГПИ могут храниться в файлах в различных форматах (shx, shp, dbf и т.д.) [9]. На рис. 5 показана схема, в которой ГПД переходят в отображенную в компьютере графическую информацию.

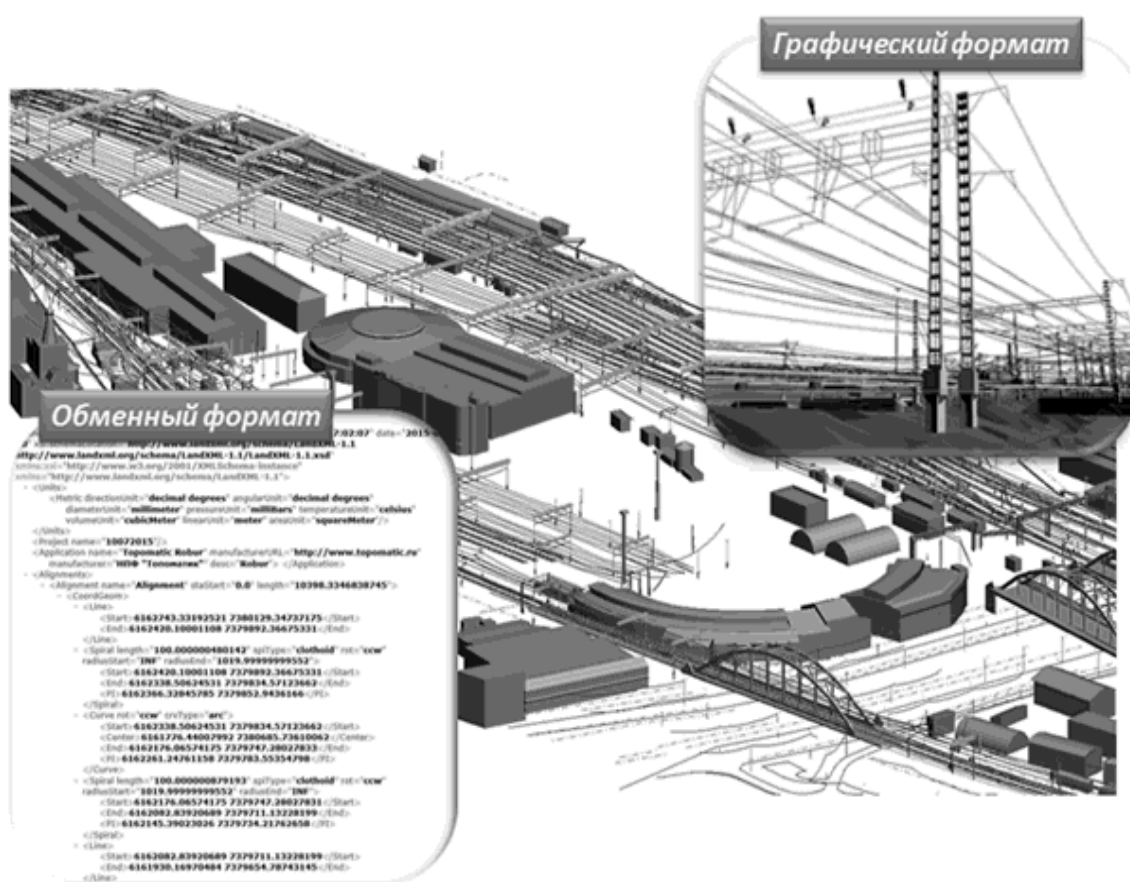


Рисунок 5. Схема приращения данных в цифровой графический формат

Трансформация ГПД на рис.3 позволяет выделить следующие этапы:

1. Выделение человеком ГПД как результат измерений и наблюдений (отображение информации в сознании человека);
2. Фиксирование ГПД на материальные носители (проявление информации в формате sxf);
3. Интерпретация ГПД в компьютере на языке описания данных (отображение в компьютере согласно модели БД).

В процессе рассуждений о понятии географической пространственной структуры можно показать, что она является важной частью отображенной ГПИ. Это приводит к выводу, что ГПЗ, как концепция более высокого уровня действительно представляет собой отображенную ГПИ [6]. Однако в этом определении существует определенное противоречие. С одной стороны, для того чтобы отобразить информацию, необходимы знания, а с другой — знания сами по себе являются отображенной информацией.

Знания можно определить как проверенные практикой результаты познания действительности, которые корректно отражены в сознании человека. Таким образом, знание о каком-либо объекте местности, как и информация о нем, представляет собой целостное представление, своего рода «абстрактная картина», которая включает в себя модель представления и значение данных в этой модели. При этом необходимо учитывать индивидуальные способности человека или средства искусственного интеллекта, которые участвуют в познании данного объекта.

Последовательность преобразования ГПД в ГПЗ была подробно рассмотрена в ряде исследований. Однако стоит подчеркнуть, что если данные отображаются в компьютере согласно определенной модели базы данных, то знания должны включать как отображенные данные, так и саму модель базы данных. Это важно, поскольку именно модель базы данных определяет, как структурируются и хранятся данные, а также как с ними взаимодействуют.

В учебниках по ИИ знания традиционно делятся на два типа: процедурные и декларативные [5, 6]. Процедурные знания управляют данными, определяя, как с ними работать. Для изменения таких знаний необходимо изменять сами программы, что может быть трудоемким процессом.

С развитием технологий и ИИ акцент постепенно смещается в сторону декларативных знаний. Декларативные знания становятся более значительными, поскольку они позволяют более гибко управлять данными и их обработкой. Это изменение в подходе к знаниям отражает общую тенденцию в области ИИ, где акцент делается на создание более универсальных и адаптивных систем, способных обрабатывать и анализировать большие объемы данных.

Таким образом, анализ показывает, что понимание и использование знаний в контексте географической информации требует комплексного подхода, который включает как теоретические, так и практические аспекты. Это связано с тем, что знание о географических объектах не может быть изолировано от данных, которые их описывают, и моделей, которые определяют их структуру и использование. В конечном итоге интеграция этих элементов позволяет создать более полное и точное представление о географической реальности, что имеет важное значение для различных приложений, таких как картография, геоинформационные системы и другие области, связанные с пространственными данными.

4. Картографический метод познания действительности

Для более глубокого понимания понятия ГПЗ важно рассмотреть содержание электронной карты и ее составляющие. Информация, представляемая на таких картах, делится на две основные категории: семантическую и метрическую [10, 11]. Эти категории помогают уточнить, что именно включает в себя ГПЗ и как она может быть использована в различных областях, таких как география, экология, городское планирование и многие другие.

Семантическая информация — это сведения, которые описывают определенные характеристики объектов местности, процессов или событий, представленных на карте [11]. Важно отметить, что семантическая информация не просто описывает объекты, но и придает им смысл, позволяя пользователю понять, как эти объекты взаимодействуют друг с другом и как они вписываются в более широкий контекст.







Метрическая информация, в свою очередь, относится к количественным характеристикам объектов, таким как расстояния, площади, координаты и другие измеримые параметры. Она позволяет точно определить расположение объектов на карте и их размеры, что особенно важно для навигации и планирования.

Следует также обратить внимание на понятие «знак» в контексте картографии. Знак — это символ, который представляет собой материальный объект, процесс или явление, существующее в реальном мире. Он выступает как представитель действительных объектов местности и используется для передачи информации.

Для более глубокого понимания знаков в картографии полезно обратиться к концепции «знаковой ситуации», которая включает в себя пару «знак — обозначаемое». Например, знак «парк» на карте обозначает конкретное место, где располагается зеленая зона. В этом контексте знак не просто указывает на местоположение, но и передает информацию о свойствах этого места.

Таким образом, семантическая информация и знаки на картах играют ключевую роль в формировании нашего понимания ГПИ. Они помогают нам не только ориентироваться в пространстве, но и осмысленно понимать окружающий мир.

Таблица 1. Объекты местности в символическом представлении

Символьный знак	Содержание предмета (денотат)
	Электростанции
	Электрические подстанции
	Радиостанции, телевизионные центры
	Мосты
	Церкви, костелы, кирхи
	Аэродромы

Кроме того, в последние годы наблюдается рост интереса к использованию ГПЗ в различных сферах, включая экологические исследования, управление природными ресурсами, транспортное планирование и даже в области здравоохранения. С помощью геопространственной информации можно анализировать влияние различных факторов на окружающую среду, планировать оптимальные маршруты для доставки товаров или услуг, а также отслеживать распространение заболеваний и организовывать реагирование на чрезвычайные ситуации.

Таким образом, понятие ГПЗ охватывает широкий спектр данных и их взаимо-

связей, что делает его крайне важным для современного общества. Понимание семантической и метрической информации, а также знаков и их значений, позволяет лучше использовать геопространственные данные для решения реальных задач и улучшения качества жизни.

Существует большое разнообразие знаковых систем (рис. 6). В цифровой картографии нас будут интересовать: из неязыковых – знаки-символы, знаки графической информации; из языковых – знаки естественного языка.



Рисунок 6. Обзорно-знаковая модель местности

Карта – это не просто изображение местности, это сложная система кодирования информации, включающая в себя несколько взаимосвязанных языков. Один из них – это искусственный язык номенклатуры, строго регламентирующий обозначение каждого картографического листа. Этот язык, базирующийся на буквенно-цифровых кодах (например, Р-41-133-А-а, б для карты масштаба 1:25 000 или Р-38-І, ІІ для масштаба 1:200 000), указывает на его географическое положение относительно экватора и нулевого меридиана, позволяя однозначно идентифицировать любой фрагмент земной поверхности, охваченный картографическим покрытием. Система номенклатуры построена на иерархическом принципе: более крупные листы разбиваются на более мелкие, и каждый подлист получает свой уникальный код, являющийся частью кода родительского листа. Это позволяет легко ориентироваться в обширном массиве картографической информации и быстро находить необходимый лист. Более того, структура кодирования отражает масштаб карты: чем мельче масштаб, тем короче код, так как он обозначает более крупную территорию.

Помимо номенклатуры, на карте присутствует другой, не менее важный язык – язык цифровых знаков координатной сетки. Эти цифры, выражающие координаты точек, представляют собой метрическую информацию, отображающую пространственное расположение объектов. Однако, утверждение о строгом разделении информации на метрическую и семантическую является условным. Метрическая информация сама по себе несет семантическую нагрузку, поскольку определяет взаиморасположение объектов и их положение относительно системы координат.

Далее, карта использует различные знаковые системы для отображения разнообразных объектов и явлений. Это могут быть условные обозначения (леса, реки, дороги, населенные пункты), картодиаграммы (картограммы) – графическое представление статистических данных, распределённых по территории (например, плотность населения, уровень осадков, распределение типов почв). Цветовая гамма и насыщенность фона карты также являются мощным средством передачи информации, позволяя визуально дифференцировать территории по различным признакам: например, различным типам растительности, рельефу местности, геологическим формациям. Специальные знаки служат для отображения динамических объектов, например, движения войск (военные карты), распространение эпидемий (медицинские карты), движения воздушных масс (метеорологические карты) [8].

Кроме того, существуют карты специального назначения, которые используют свои собственные знаковые системы, адаптированные к специфике отображаемой информации. Например, геологические карты используют особые обозначения для различных типов горных пород, а топографические карты – для обозначения высот и форм рельефа.



Рисунок 7. Схема картографического метода познания действительности

В навигации активно используются электронные карты, где знаковые системы представлены в цифровом виде, используя векторную или растровую графику, что позволяет значительно расширить возможности отображения и анализа информации. Количество и сложность взаимодействующих знаковых систем напрямую зависят от масштаба и тематики карты: более детальные и специализированные карты содержат большее количество знаков и более сложные правила их интерпретации. Масштабируемость картографического языка – ключевое свойство, позволяющее применять картографический метод для исследования объектов разных масштабов, от локальных участков до всей планеты. Анализ знаковых систем и их

взаимодействий позволяет проводить пространственный анализ, выявлять пространственные закономерности, создавать модели и прогнозы. Таким образом, карта – это не просто статичное изображение, а динамическая система представления информации, язык которой нуждается в изучении и понимании для эффективного использования ее потенциала.

Картографические исследования можно пояснить схемой на рис. 7, на которой выделены стадии картографирования и использования карты: 1) получение информации I_1 т. е. сведений об окружающем мире, в результате наблюдения некоторой части действительности D_1 – ее явлений и процессов; 2) обработка информации I_1 и построение карты K – пространственной обзорно-знаковой модели исследуемой части действительности; 3) изучение (чтение) карты K для извлечения из нее информации I_2 об отображенных на карте явлениях; 4) мысленное формирование в сознании исследователя образа D_2 о моделированной на карте действительности на основе информации, заключенной в карте, и ранее накопленных знаний.

Суть первой и второй стадии заключается в отображении информации о некоторой части действительности в сознании человека, затем, на основе определенных правил, – проявление этой информации в виде карты. С точки зрения семиотики, этот процесс называется формированием первичной семантической информации об объекте по заданию (рис. 8).

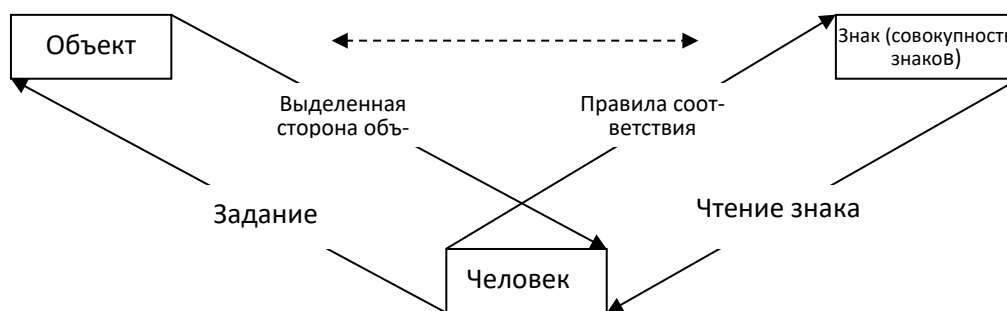


Рисунок 8. Схема абстрагирования объектов обстановки

Согласно теории познания [12], первичная семантическая информация представляет собой зафиксированное отображение выделенной человеком стороны (сторон) объекта. Человек при этом руководствуется выделением относительно устойчивых категорий, образующих своего рода каркас – логическую структуру первичной семантической информации. Основой являются категории диалектики: цель, метод, средство, общее, единичное, особенное, качество, количество, причина, следствие, содержание, форма и др. (категория – обобщенное отражение объективной реальности и вместе с тем существенное определение аспекта объекта). Таким образом, создается абстрактная модель земной поверхности [13], так как она смоделирована с использованием знаковой системы, которая по своей сути является абстракцией. К примеру, линия, которая описывает границу озера на карте, в природе не существует. Человек использует эту абстракцию для отображения, а затем для познания формы водоема. Третий и четвертый этапы заключают в себя декодирование информации, заключенной в знаках на основе правил чтения каждой знаковой системы [14, 15].

Следует отметить важность этапа оцифровывания. Посредством определенных методов происходит преобразование одной формы семантической информации в другую. Визуально-отображенная информация переходит в форму, приемлемую для компьютера, т.е. проявленная на карте информация отображается посредством компьютерной знаковой системы в форму, пригодную для программной обработки.

5. Обсуждение

Картографическое изображение, будь то бумажная карта или электронный аналог, представляет собой сложную систему знаков, несущих семантическую нагрузку. Эта информация воспринимается визуально – будь то линии, цвета, символы на бумаге или пиксели на экране. Однако глубинная сущность карты выходит за рамки простого визуального восприятия. Электронные карты, например, демонстрируют особенно ярко это двойное существование информации. На экране мы видим проявленную информацию – визуальное представление местности, дорог, объектов инфраструктуры. Однако за этой картинкой скрывается отображенная информация – цифровая модель, набор данных, хранящихся в компьютерной памяти [16]. Это координата, атрибуты объектов, многослойная структура данных, доступная для обработки и анализа вычислительной машиной. Именно это цифровое представление позволяет выполнять сложные операции, такие как маршрутизация, поиск объектов, анализ пространственных данных, недоступные для простого чтения бумажной карты.

Аналогию можно провести с человеческим восприятием мира [6]. Внешняя реальность – это проявленная информация, которую мы воспринимаем через органы чувств. Однако наше понимание этой реальности формируется через призму отображенной информации – системы концепций, знаний, представлений, полученных в процессе обучения и жизненного опыта. Мы не просто видим дом, мы распознаем его как дом, основываясь на нашем опыте и знании этого понятия. Это преобразование проявленной информации в отображенную происходит постоянно и неосознанно [3]. Отображенная информация, в свою очередь, может вновь становиться проявленной, но уже в преобразованном виде. Например, мы можем описать увиденный дом словами, создав таким образом вербальную модель, которая передаст кому-то другому представление об этом объекте. Или же мы можем нарисовать его, создав графическое представление. В обоих случаях мы переводим внутреннюю, отображенную информацию, обратно в проявленную форму, используя знаковые системы – язык и рисунок.

Заключение

Проведенные исследования показывают, что существенная разница между отображенной информацией, полученной из внешнего мира, и информацией, создаваемой человеком, заключается в степени ее полноты и объективности. Наша модель реальности всегда неполна, упрощена и субъективна. Мы видим только то, что способны воспринимать и интерпретировать. Наши знания определяют границы нашего восприятия. Если у нас отсутствуют понятия, относящиеся к определенным объектам или явлениям, мы просто не будем их замечать [4]. Это подчеркивает существование непроявленной информации – информации, потенциально существующей в идее ГПЗ, но недоступной нам в силу ограниченности нашего познания. Развитие науки и технологий, появление новых концепций и терминов расширяют наши возможности "проявления" ранее непроявленной информации.

Возвращаясь к анализу карты как таковой, можно сделать вывод, что она представляет собой попытку перевести часть проявленной информации о реальном мире в отображенную форму, а затем снова сделать ее проявленной, но уже в структурированном и обобщенном виде [17, 18]. Различные типы карт отражают разные аспекты реальности и используют разные знаковые системы. Топографическая карта использует изолинии, условные обозначения для рельефа, гидрографии и объектов инфраструктуры. Тематическая карта может фокусироваться на определенных явлениях, таких как распределение населения, температура, тип почвы. Каждая из них предоставляет пользователю определенный набор проявленной информации, основанной на

предварительно обработанной и структурированной отображенной информации.

Наибольший интерес у авторов статьи вызывают электронные карты, которые используют множество различных знаковых систем. Цифровые данные здесь могут быть представлены в разных форматах, использующих различные кодировки и алгоритмы сжатия. Визуальное представление на экране также может варьироваться в зависимости от масштаба, проекции и настроек отображения. В результате возникает сложная многоуровневая система представления информации, где проявленная и отображенная формы тесно переплетаются и дополняют друг друга. Разработка и использование карт – это постоянный процесс перевода, интерпретации и преобразования информации между различными формами и знаковыми системами, целью которого является предоставление пользователю наиболее полного и понятного представления о реальности.

Список использованной литературы

1. ГОСТ 28.441-99 Цифровая картография. Термины и определения // – М.: Госстандарт. 1999.
2. Оразбаев Б. Б., Курмангазиева Л. Т., Коданова Ш. К. Теория и методы системного анализа // – Пенза: ИД "Академия Естествознания". 2017. 248 с.
3. Шавенько Н.К. Основы теории информации – М.: Изд-во МИИГАиК, 2019. – 135 с.:
4. История и философия науки: учебник для вузов / А. С. Мамзин [и др.] ; под общей редакцией А. С. Мамзина, Е. Ю. Сиверцева. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2020. — 360 с.
5. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем // – СПб.: Питер, 2001 г. – 384 с.
6. Хромов Л. И. Теория информации и теория познания. – 2-е изд., доп. – Спб., Изд. Русского философского общества, 2021. – 310 с.
7. Киргизова Е.В. Технологии программирования: от теории к практике / Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2021. – 124 с.
8. Радченко Л.К. Познавательный аспект в картографии // Вестник СГУГиТ. – 2020. Т.25, №4. С. 138-145.
9. https://docs.orbismap.ru/editor/import_export_files.
10. Розенберг И. Н., Дулин С. К. Развитие геоинформационных технологий // Автоматика, связь, информатика. №11, 2021. С. 20-25.
11. Дулин С.К., Дулина Н.Г., Косарик В.В., Никишин Д.А. Макет интероперабельной информационно-аналитической системы для обеспечения пространственного и семантического поиска и анализа геоданных // Системы и средства информатики. Т. 27. № 1. 2017. С. 47-60.
12. Макаренко С. И., Соловьева О. С. Основные положения концепции семантической интероперабельности сетевых систем //Журнал радиоэлектроники, 2021. № 4.С. 1–24.
13. Новаковский Б.А., Пермяков Р.В. Комплексное геоинформационно-фотограмметрическое моделирование рельефа. – М.: Изд-во МИИГаик. 2019 – 175 с.
14. Сяо Н. Алгоритмы ГИС / пер. с англ. А.А.Слинкина. - М.: ДМК Пресс. 2021. – 328 с.
15. Третьяков В.Ю. Геоинформационные системы в экологии и природопользовании: программирование на Python в arcGIS и Quantum GIS . - СПб: РГТУ. 2022 - 112 с.
16. NextGIS Web. <https://nextgis.ru/blog/nextgis-frontend/> (дата обращения 20.01.2025).
17. OpenStreetMap. <https://www.openstreetmap.org/> (дата обращения 20.01.2025).
18. 8 Javascript-библиотек для визуализации данных в виде интерактивных карт. <https://habr.com/ru/articles/318600/> (дата обращения 20.01.2025).