

УДК: 523.21

Геоинформатика транспорта

Geoinformatics of transport

Бронников С.В., к.т.н., эксперт, РКК «Энергия»,
E-mail: sbronnik@mail.ru, Королёв, Россия

Bronnikov S.V., Ph.D., assessor, PJSC Corporation Energia,
E-mail: sbronnik@mail.ru, Korolev, Russia



Аннотация

В статье рассматривается современное состояние, развитие и динамика транспортной геоинформатики. Геоинформатика транспорта трактуется как синтез прикладной геоинформатики и географии транспортных сетей. В статье показано место транспортной геоинформатики в системе наук. Отмечается, что транспортная геоинформатика изучает транспортную инфраструктуру, а не только подвижной состав. Транспортная геоинформатика связана с теорией управления. поэтому он органично вписывается в технологии управления и является дополнительным ресурсом управления транспортом. Показана диверсификация транспорта по различным видам. Транспортная геоинформатика исследует автомобильные, железные дороги и сетевые системы на основе системного анализа. описаны особенности транспортной системы географической информации. Введено понятие и модель «зон анализа трафика». Описаны методы транспортного геоинформационного моделирования.

Ключевые слова: транспорт, геоинформатика, геоинформатика транспорта, география транспортных сетей, транспортное моделирование, геоинформационное моделирование, пространственная неоднородность.

Abstract

The article examines the state, development and dynamics of transport geoinformatics. Geoinformatics of transport is interpreted as a synthesis of applied geoinformatics and geography of transport networks. The article shows the place of transport geoinformatics in the system of sciences. It is noted that transport geoinformatics studies transport infrastructure, and not just rolling stock. Transport geoinformatics is related to control theory. therefore, it organically fits into management technologies and is an additional resource for transport management. The diversification of transport by various types is shown. Transportation geoinformatics examines roads, railways, and network systems based on systems analysis. the features of the geographic information transport system are described. The concept and model of "traffic analysis zones" is introduced. Methods of transport geoinformation modeling are described.

Keywords: transport, geoinformatics, geoinformatics of transport, geography of transport networks, transport modeling, geoinformation modeling, spatial heterogeneity.



Введение

Современное состояние геоинформатики связано с разработкой технологий и проведения научных исследований. Изучение пространственных процессов окружающего мира как прикладное направление привело к созданию прикладной геоинформатики. Прикладная геоинформатика имеет два направления развития. Самостоятельное развитие и применение для решения прикладных задач на основе интеграции математики, информатики и наук о Земле. Второе направление связано с поддержкой и развития специализированных наук или предметных областей. В рамках второго направления появилась геоинформатика транспорта [1-4]. В рамках второго направления появились ряд наук, связанных в разной степени с геоинформатикой транспорта. Это новое направление в экономике – пространственная экономика [5, 6]. Кроме это науки следует выделить: логистическую геоинформатику [7], экологическую геоинформатику [8, 9], экономическую геоинформатику [10], космическую геоинформатику [11], геоэкологию [12].

Место геоинформатики транспорта в системе наук

Геоинформатикой транспорта называют специализированную прикладную геоинформатику, ориентированную на изучение и решение задач транспорта. На рис.1 показано место геоинформатики транспорта (ГТ) в системе, связанных с ней наук. Основными источниками ГТ являются география транспортных сетей, прикладная геоинформатика и науки о Земле. Геоинформатика транспорта формировалась задолго до появления прикладной геоинформатики. Первоначально научная дисциплина, которая занималась этим направлением назвалась география транспортных сетей [13]. Она была тесно связана с транспортной географией [14]. География транспортных сетей возникла в Германии в середине XIX века. Основателем ее считается немецкий ученый Иоганн Коль. Он исследовал транспортные сети Европы России, США и Канады. Иоганн Коль обобщил типы транспортных систем во многих странах. На основе исследований и обобщений возникла география транспортных сетей. География транспортных сетей явилась методической основой геоинформатики транспорта. Для срав-

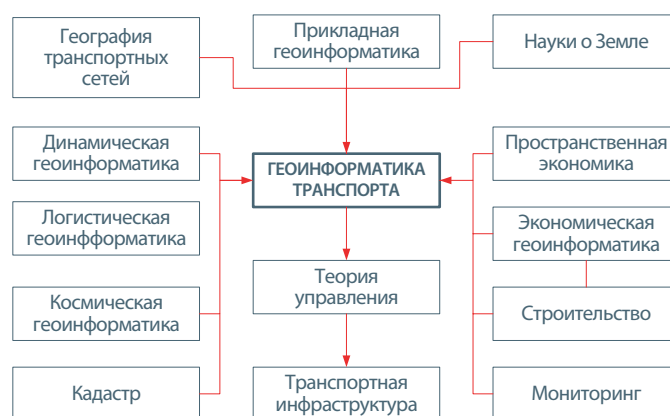


Рисунок 1. Место геоинформатики транспорта в системе наук

нения, методической основой обычной геоинформатики является картография.

Геоинформатика транспорта развивалась на основе интеграции географии транспортных сетей с науками о земле и картографической геоинформатикой. Поэтому наряду с подходами и методами, характерными для география транспортных сетей, она включила ряд специальных методов.

Геоинформатика транспорта имеет отношение с рядом специализированных направлений геоинформатики. Это показывает левый столбец на рис.1. Кроме перечисленных выше направлений геоинформатики, в него входит транспортный кадастр. Правый столбец отражает экономические и строительные направления. Он включает пространственную экономику и экономическую геоинформатику. Прикладная геоинформатика [15] широко применяется в строительстве. Основой контроля за транспортной инфраструктурой является мониторинг транспорта. Основой мониторинга транспорта является геоинформационный мониторинг [16].

Геоинформатика транспорта связана с теорией управления. Особенность геоинформационных систем [17] и геоинформационных технологий [18] в том, что они имеют возможности для управления. Поэтому ГТ органически вписывается в управленческие технологии и задачи.

Геоинформатика транспорта охватывает наземный, водный и воздушный транспорт. Наземные виды: железнодорожный, автомобильный и трубопроводный; водные – морской

и речной; воздушные – авиационный. Делится также на пассажирский и грузовой. Преимущество геоинформатики транспорта в возможности создавать интегрированную информационную модель, которая объединяет разные виды транспорта, что важно для интермодальных перевозок. Геоинформационные модели это есть модели интермодальных перевозок. В частном случае это модели отдельных видов транспорта.

Задачи транспорта разнообразны. Это приводит к диверсификации геоинформатики транспорта на следующие виды:

- теоретическая ГТ, которая включает разработку математических и статистических методов для анализа транспортных потоков и моделей транспортных сетей.
- топологическая ГТ, которая включает изучение функционирования транспортных потоков и топологическую оптимизацию транспортных потоков. В это направление попадает раздел развития путей,
- контролирующая ГТ, которая включает контроль и мониторинг состояния транспортных сетей;
- геоинформатика отдельных видов транспорта (железнодорожного, автомобильного, воздушного, морского, речного, трубопроводного, телекоммуникаций);
- геоинформатика транспортной инфраструктуры;
- региональная геоинформатика транспорта (описание транспорта отдельных регионов и стран);
- космическая геоинформатика транспорта, которая включает применение космических технологий для мониторинга и управления транспортной инфраструктурой, а также управление подвижным составом.
- логистическая геоинформатика.

Общим для разных направлений является системный анализ [19]. Важными ключевыми параметрами транспортной геоинформатики, являются: топологическая сеть, топологическая система, сложная организационно-техническая система, пространственные связи и отношения, пространственное моделирование, информационное моделирование, цифровые модели, волюметрические модели [20]. Транспорт понятие обобщенное. В ГТ необходимо говорить о транспортной системе, которую следует моделировать как сложную систему. Это обеспечивает вложен-

ность и связанность частей транспортной системы. Отдельные управления и дороги можно рассматривать как подсистемы,

Особенностью геоинформатики транспорта является использование двух типов сложных систем: сложных систем данных и сложных технологических систем обработки информации. Одной из первичных задач геоинформатики транспорта является нахождение и формализация пространственных отношений между объектами транспортной инфраструктуры. Отношения находя в заранее определенных координатных системах.

Координатные системы [21, 22] являются обязательным компонентом ГТ. Они устанавливают пространственные отношения между объектами транспортной инфраструктуры, включая подвижные объекты. Отношения и связи устанавливают на основе качественных [23] и количественных признаков с использованием геометрии, пространственной логики, теории множеств. При этом в геоинформатике используют разные координатные системы, но в единой среде, что позволяет переходить при необходимости от одной к другой. Метод классификаций основан на установлении пространственных отношений на основе качественных признаков между объектами и их элементами и дополняет метод координатных систем в геоинформатике. В совокупности оба метода обеспечивают полноту анализа.

Особенностью развития геоинформатики транспорта является то, что она возникла и развивается на основе интеграции наук и благодаря этому является инструментом междисциплинарного переноса знаний. Процесс интеграции основан на системном подходе, интеграции знаний, нахождении единства и целостности "интегрируемых" дисциплин, получение синергетического эффекта от интеграции.

Методология геоинформатики транспорта основана на использовании методов информационного и геоинформационного моделирования для получения знаний, моделей или данных, используемых в других дисциплинах. Информационное моделирование как фундаментальный метод познания дает возможность сопоставления явлений на основе использования информационных моделей. Информационное моделирование дополняет и повышает эффективность использования вычислительных средств.

Визуальное моделирование полно представлено в геоинформатике транспорта. Геоинформатика включает в обработку и анализ



графическое представление пространственно-распределенной информации, что позволяет эффективно обрабатывать и анализировать региональную информацию и делать наглядный сопоставительный анализ состояния системы образования по субъектам федерации и даже на уровне более мелких территориальных единиц.

Включение в геоинформационные технологии данных дистанционного зондирования позволяет оперативно отслеживать все существенные изменения в транспортной сфере и, сопоставляя их с текущей информацией, формировать более точные управленческие решения. Геоинформатика дает инструмент анализа транспортных сетей, дополняя его визуальным. Таким образом, транспортная геоинформатика дает возможность многоаспектно и всесторонне исследовать проблемы транспорта.

Одной из особенностей транспортной геоинформатики является исследование дорог и железнодорожных путей, сетевых систем, которые с одной стороны являются сложной системой, как комплекс сооружений и устройств, с другой представляют собой специфические топологические объекты. Это делает необходимым использовать теорию топологии при изучении транспортных систем методами геоинформатики.

Транспортные ГИС и транспортное геоинформационное моделирование

Применение ГИС на транспорте привело к их специализации и постепенному формированию специализированных ГИС транспорта или ГИС-Т [24]. Тесно с развитием ГИС-Т развивается транспортное геоинформационное моделирование (ТГМ).

Развитие ГИС-Т характеризуется такими направлениями: составление карт, моделирование с использованием спутниковой навигации, моделирование трасс, моделирование логистических потоков, ситуационное моделирование поведения транспортных средств и инфраструктуры. Статическая природа представления карты благоприятствует приложениям, связанным с инвентаризацией и описанием, и поднимает сложные вопросы точности и нахождения. В навигационном представлении добавляются проблемы связности и планарности, а также хранения зависящих от времени атрибутов. Навигация также поднимает проблемы представления, связанные

с масштабом, включая необходимость подключения на уровне полосы движения.

Поведенческие модели основаны на динамической геоинформатике [25] и управляющем транспортном пространстве [26]. Соответствующие представления поведенческой точки зрения еще предстоит разработать. Во всех случаях требуется проводить много исследований.

Современная геоинформатика транспорта позволяет использовать такие потенциалы, такие как пространственное управление общественным транспортом, мобильная маршрутизация, умная логистика. Требуемые интеллектуальные транспортные системы (ИТС) опираются на точные данные и хорошо работающие компоненты связи, управления и анализа, каждый из которых имеет четкое пространственное представление. В системах ТГМ произошел парадигматический сдвиг от агрегированных моделей к геоинформационным моделям и темпоральным моделям.

В современном обществе ГИС и транспортные исследования тесно взаимосвязаны. Современное транспортное моделирование является областью применения ГИС или областью ТГМ. Для моделирования транспортных потоков все чаще предоставляют интегрированные возможности ГИС.

ГИСТ можно рассматривать как среду [27] для сбора, управления, анализа и визуализации пространственных данных о транспорте. Они позволяют интегрировать различные источники данных в масштабируемую, динамическую и адаптируемую пространственную модель.

С помощью моделей, симуляций и анализа, каждый из которых учитывает пространственную природу транспорта, можно получить новую информацию и новое знание. Кроме того, ГИС также облегчает визуализацию информации, которая служит коммуникационной платформой с контурами обратной связи для интеграции данных и настройки моделей, моделирования и анализа.

В стандартной агрегированной транспортной модели системы ТГМ, описанной в [27], использовалась обработка данных для разграничения зон анализа дорожного движения (ЗАДД) и визуализации результатов модели. Модели ЗАДД формируют пространственную привязку для транспортных моделей, основанных на спросе, где оценивается количество поездок из этих зон, в эти зоны и через них. Для этих оценок различные социально-демографические, экономические и структурные данные связываются друг с другом посредством регрессионного



анализа и подаются в модель, которая затем рассчитывает потребности в поездках на основе количества поездок и привлекательности поездок для каждой ЗАДД.

На этом этапе широко игнорируются пространственные зависимости, а также вариации внутри и пространственные отношения между ЗАДД. На следующем этапе ТГМ сгенерированные поездки распределяются по всей изучаемой территории. Обычно это делается в матрицах отправителя-назначения (МОН), которые отображают только очень абстрактную пространственную информацию. Используя физические модели, сгенерированные поездки распределяются в соответствии с матрицей МОН. Недостатки упрощенных подходов к моделированию спроса широко обсуждались концептуально и методологически [27].

Используют разные подходы ТГМ. В первом подходе зоны анализа трафика (ЗАТ) играют главную роль. Однако после того, как они определены, их нельзя изменить, если параметризация модели не начинается с нуля. С разграничением зон связана проблема введения изменяемых участков площади с помощью пространственных информационных единиц. Модель ЗАТ является аналогом метода зонирования в кадастровой оценке стоимости. ЗАТ описывает влияние масштаба и пространственного зонирования на результаты ТГМ. Модели ЗАТ получил широкое признание, например, в региональной статистике или общественном здравоохранении (работа скорой помощи). ЗАТ применимы в областях, которые используют более или менее произвольно определенные пространственные единицы измерения, такие как административные границы. В [27] описали потенциальный вклад ГИСТ в решение этой проблемы.

Если доступны необработанные данные, ГИСТ можно использовать для оценки эффекта масштабирования и зонирования, а также для определения оптимизированных ЗАДД. Эффекты масштабирования и зонирования в более широком смысле актуальны не только для моделей, основанных на спросе, но и практически для всех видов транспортных моделей. Преимуществом этого подхода является возможность применения агентного моделирования движения [28].

Другой подход ТГМ использует концепция пространственной неоднородности. Концепция пространственной неоднородности тесно связана с пространственной зависимостью протека-

ния процессов и трафика. Это обусловлено тем, что в сложных интенсифицированных ситуациях многие пространственные процессы связаны на макроуровне, но не обязательно на микроуровне. Пример движения транспортного средства в ночное и дневное время. При отсутствии диссипативных и стохастических факторов движение регламентируемо, прогнозируемо и регулярно. В этом случае имеет место пространственная однородность движения. При наличии интенсивности движения и появления стохастических факторов, движение становится непредсказуемым. Основная причина в том, что пропускная способность трасс становится ниже интенсивности реального движения. В этом случае (заторы, пробки, очереди) появляется пространственная неоднородность движения.

Игнорирование эффекта пространственной неоднородности может привести к ошибочному прогнозу или ошибочной интерпретации результатов движения. Чтобы справиться с пространственной неоднородностью, было разработано и реализовано в приложениях ГИС несколько методов, таких как пространственно-взвешенный регрессионный анализ, которые можно использовать для определения и взвешивания параметров транспортных. На наш взгляд более эффективным является метод концептуального смешивания.

Заключение

Транспорт в качестве основной функции осуществляет перемещение объектов (людей или грузов) в пространстве и времени. Хотя пространственная природа транспорта очевидна, при управлении транспортом ею часто пренебрегали. С первых лет существования геоинформационных систем человеческое сообщество активно занимается исследованиями в области геоинформатики транспорта. Современная геоинформатика транспорта представляет собой научное направление, которое развивается в тесной взаимосвязи с прикладной геоинформатикой и рядом близких наук. Одной из тенденций развития транспортной геоинформатики следует считать применение методов искусственного интеллекта [29, 30], включая задачи беспилотного управления [31].

Современная геоинформатика транспорта позволяет выделять и учитывать факторы, которое обычное транспортное модели-



рование не использует. Это пространственная неоднородности, стратификация транспортных потоков, пространственная корреляция и временная корреляция движения. Современная геоинформатика транспорта использует специальные инструменты, такие как ГИСТ или ТГМ, которые позволяют решать задачи, не решаемые ни в обычном транспортном моделировании,

ни в обычной геоинформатике. Как показывает опыт перенос технологии пространственного зонирования из кадастра в транспортную геоинформатику приносит определенную пользу. Развитие транспортной геоинформатики скорее всего будет происходить на уровне транспортных геоинформационных моделей и транспортных геоинформационных технологий. ■

Список литературы

1. Лёвин Б.А., Круглов В.М., Матвеев С.И., Коугия В.А., Цветков В.Я. Геоинформатика транспорта // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 3 – С. 223-223.
2. Лёвин Б.А., Круглов В.М., Матвеев С.И., Цветков В.Я., Коугия В.А. Геоинформатика транспорта. – М.: ВИНТИ РАН, 2006. – 336 с.
3. Булгаков С. В. Геоинформатика транспорта в условиях цифровой трансформации //Наука и технологии железных дорог. – 2021. – Т. 5. – №. 3. – С. 28-37.
4. Шайтура С. В., Кожаев Ю. П. Геоинформатика автомобильного транспорта //Славянский форум. – 2019. – №. 3. – С. 379-386.
5. V. Ya. Tsvetkov. Spatial Relations Economy // European Journal of Economic Studies 2013, Vol.(3), № 1 p.57-60.
6. Маркелов В.М. Логистика и пространственная экономика // Славянский форум. – 2013. – 1(3). – С.91-95.
7. Цветков В. Я., Булгаков С. В. Логистическая геоинформатика – Москва: МАКС Пресс, 2023. – 192 с.
8. Тодорова А.И. Применение геоинформатики в геоэкологии // Славянский форум. 2023, 1(39). С. 358-362.
9. Awange J., Kiema J. B. Environmental geoinformatics //Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. doi. – 2013. – Т. 10. – С. 978-3.
10. Иконников В. Ф., Седун А. М., Токаревская Н. Г. Экономическая геоинформатика: учебная программа для магистрантов. – БГЭУ, Минск, 2012. -8с.
11. Bondur V. G., Tsvetkov V. Ya. New Scientific Direction of Space Geoinformatics // European Journal of Technology and Design, 2015, 4 (10), pp. 118-126.
12. Rajakaruna N., Boyd S. Geoeology //Oxford Bibliographies in Ecology. – 2014.
13. Rodrigue J. P., Ducruet C. 2.1—the geography of transportation networks. – 2020.
14. Shaw J., Hesse M. Transport, geography and the'new'mobilities //Transactions of the Institute of British Geographers. – 2010. – Т. 35. – №. 3. – С. 305-312.
15. Иванников А.Д., Кулагин В.П., Тихонов А.Н., Цветков В.Я. Прикладная геоинформатика. – М.: МАКС Пресс, 2005. – 360 с.
16. Цветков В.Я. Геоинформационный мониторинг //Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2005. – №5. – с.151 -155.
17. Маркелов В.М. ГИС как системы управления транспортом. // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2013. – №2. – С.85. -87.
18. Цветков В.Я. Применение геоинформационных технологий для поддержки принятия решений // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2001. – №4. – С.128-138.
19. Tsvetkov V.Y. Dichotomous systemic analysis // Life Science Journal. 2014. Т. 11. № 7s. С. 246-250.
20. Цветков В.Я., Мордвинов В.А., Матчин В.Т. Технология генерации виртуальных ландшафтов с применением метода вокселизации и волюметрических данных //Образовательные ресурсы и технологии. 2023. № 1 (42). С. 91-99.
21. Sedrak M., Alaminos-Bouza A. L., Srivastava S. Coordinate systems for navigating stereotactic space: >>>

- how not to get lost //Cureus. – 2020. – Т. 12. – №. 6.
22. Mugnier C. J. Coordinate Systems of the World: Datums and Grids. – CRC Press, 2023.
 23. Tsvetkov V.Ya. Qualitative analysis relations // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall., Krasnoyarsk, Russian Federation, 2021. С. 12127.
 24. Goodchild M. F. GIS and transportation: status and challenges //Geoinformatica. – 2000. – Т. 4. – С. 127-139.
 25. Раев В.К. Динамическая геоинформатика // Славянский форум. 2022, 2(36). С. 195-205.
 26. Ознамец В.В. Информационное управляющее транспортное пространство // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 4(16). – С.43-50.
 27. Loidl M. et al. GIS and transport modeling—Strengthening the spatial perspective //ISPRS International Journal of Geo-Information. – 2016. – Т. 5. – №. 6. – С. 84.
 28. Мельников Д.А. Поддержка принятия решения в управлении транспортом с использованием мультиагентных систем // Наука и технологии железных дорог. 2023. Т. 7. №2 (25). – с.53-57.
 29. Савиных В.П., Цветков В.Я. Развитие методов искусственного интеллекта в геоинформатике // Транспорт Российской Федерации. – 2010. -№ 5. – С.41-43
 30. Ivan I. et al. (ed.). Geoinformatics for intelligent transportation. – Gewerbestrasse : Springer International Publishing, 2015. – С. XIX.
 31. Позняк И.И., Полянская А.С, Поклонская А.В, Шевченко И.А Перспективные проекты беспилотного транспорта // Славянский форум. – 2019. – 2(24). – С.224-227.