

Лебедева Ольга Анатольевна,
к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: kravhome@mail.ru

Денисюк Алексей Валерьевич,
ст. преподаватель, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: alekseykod.ang@gmail.com

ИНСТРУМЕНТЫ С ОТКРЫТЫМ ИСХОДНЫМ КОДОМ ДЛЯ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА В ТРАНСПОРТНОМ ПЛАНИРОВАНИИ

Lebedeva O.A., Denisjuk A.V.

OPEN-SOURCE TOOLS FOR GEOGRAPHICAL ANALYSIS IN TRANSPORT PLANNING

Аннотация. Географические методы, такие как анализ маршрутов, редактирование сетей, локализованная оценка воздействия и интерактивная визуализация карт, имеют большой потенциал для поддержки современных приоритетов транспортного планирования. Целью данной статьи является исследование новых инструментов с открытым исходным кодом для географического анализа в транспортном планировании.

Ключевые слова: открытый исходный код, географические данные, транспортное планирование, программное обеспечение.

Abstract. Geographic methods such as route analysis, network editing, localized impact assessment, and interactive map visualization have great potential to support contemporary transport planning priorities. The aim of this paper is to explore new open source tools for geographic analysis in transport planning.

Keywords: open source, geographic data, transport planning, software.

Технологический прогресс увеличил возможности доступа к более подробным наборам данных о поведении пассажиров и транспортной инфраструктуре. Огромный объем, и сложность таких наборов требуют иных подходов, которые могут масштабировать и интегрировать несколько источников данных. В процессе транспортного планирования становится востребованным применение инструментов, которые позволяют анализировать данные [1-6]. Развитие в области программного обеспечения и оборудования позволяют не только моделировать транспортные системы с высоким временным и географическим разрешением, но и проводить эксперименты, которые позволяют реализовать наиболее эффективные проекты. С продвижением программного обеспечения с открытым исходным кодом, технологические драйверы позволяют интегрировать географический анализ в инструменты транспортного планирования, а также способствуют большей организованности данных и упорядоченному рабочему процессу в области транспортного планирования.

Цифровые инструменты планирования транспорта похожи на любую другую компьютерную программу, поскольку они принимают входные данные, которые обрабатываются для генерации выходных данных. Термин «транспортная модель» используется взаимозаменяемо с транспортным программным

обеспечением. В отношении более узкого понятия «алгоритм» программное обеспечение планирования транспорта можно рассматривать как вычислительную среду или систему, которая предоставляет пользовательский интерфейс для интерактивного запуска алгоритмов на ряде входных наборов данных для генерации выходных данных, которые могут быть включены в процесс планирования транспорта.

Программное обеспечение для планирования транспорта возможно сгруппировать по масштабу, в котором оно работает, при этом категории включают микроскопические и макроскопические модели. Микроскопические транспортные модели представляют отдельные транспортные средства на улично-дорожной сети, способные отображать локализованные явления (заторы). Макромодели представляют совокупности транспортного потока в больших пространственных масштабах, в которых изучается общий поток, а поведение отдельных транспортных средств не учитывается. Достижения в области вычислительной техники позволяют объединять оба подхода, выбирая наиболее подходящие пространственные масштабы для их применения.

Этапы предварительной обработки и анализа данных обычно выполняются в специализированном программном обеспечении для транспортного планирования. Этапы географического анализа и картографической визуализации проводятся в специализированных геоинформационных системах (ГИС). В таблице 1 представлены наиболее популярные программные продукты для транспортного планирования, которые демонстрируют различные уровни возможностей.

Таблица 1

Программное обеспечение для моделирования транспорта, используемого специалистами [6]

Программное обеспечение	Компания/разработчик	Местоположение компании	Лицензия
MATSim	TU Berlin	Германия	Открытый исходный код
Visum	PTV	Германия	Патент
ArcMap	ESRI	США	Патент
SUMO	DLR	Германия	Открытый исходный код
TransCAD	Caliper	США	Патент
Emme	INRO	Канада	Патент
Cube	INRO Citilabs	США	Патент
sDNA	Университет Кардиффа	Великобритания	Открытый исходный код

Варианты с открытым исходным кодом – MATSim, SUMO и sDNA имеют ограниченные «внутренние» географические возможности. Это можно объяснить философией «Unix», принципом которой является модульность, означающая, что «каждая программа должна качественно выполнять одну задачу», что снижает дублирование функций и позволяет использовать лучший инструмент для конкретной ситуации.

Запатентованные инструменты имеют высокую стоимость (часто одна лицензия обходится в сотни долларов), гарантируя, что только небольшая часть транспортных предприятий имеет к ним доступ. Многие запатентованные инструменты привязаны к системе Windows, что не позволяет использовать их в других операционных системах, таких как Linux, Mac и FreeBSD. Это снижает воспроизводимость результатов и препятствует развитию науки. Более широким барьером является то, что функции ГИС, как правило, разрознены, что означает, что транспортные организации могут не иметь доступа к новейшим географическим данным или программному обеспечению.

Прежде чем описывать инструменты с открытым исходным кодом для транспортного планирования, стоит рассмотреть, что означает «открытый исходный код». Программное обеспечение с открытым исходным кодом отличается от проприетарного программного обеспечения тем, что пользователи могут свободно просматривать, загружать и изменять исходный код. Свобода является центральным элементом программного обеспечения с открытым исходным кодом, которое иногда называют просто «свободным программным обеспечением». Эта адаптивность способствует сотрудничеству, созданию взаимоподдерживающих сообществ пользователей/разработчиков и быстрой эволюции, делая экосистемы программного обеспечения с открытым исходным кодом быстро развивающимися и весьма разнообразными. Невозможно описать все варианты программного обеспечения, которые можно использовать для географического транспортного планирования: существуют тысячи программных проектов, написанных на десятках языках программирования, многие из которых больше не поддерживаются.

Инструменты с открытым исходным кодом можно классифицировать по типам пользовательского интерфейса (UI) (таблица 2):

- инструменты интерфейса командной строки (CLI), управляемые путем ввода команд;
- инструменты графического пользовательского интерфейса (GUI), управляемые щелчками мыши;
- инструменты веб-интерфейса пользователя (WUI), к которым пользователи получают доступ через веб-браузер;
- интерфейсы программирования веб-приложений (API), к которым компьютеры получают доступ через интернет.

Инструменты на основе интерфейса командной строки (CLI) предназначены для управления путем ввода команд. Преимущества инструментов на основе CLI для пользователей довольно существенны. Подход с сотнями команд всего в нескольких нажатиях клавиш и преимуществами воспроизводимости и масштабируемости, связанными с представлением вычислительных рабочих процессов в коде является достаточно продуктивным.

Таблица 2

Инструменты с открытым исходным кодом для географического анализа в транспортном планировании, классифицированные по пользовательскому интерфейсу [6]

Инструмент	Тип	Лицензия	Язык
CLI интерфейс командной строки			
OSMnx	Пакет Python	MIT	Python
OSMnx	Автономный	EPL-2.0	C++
UrbanSim	Пакет Python	AGPLv3	Python
MovingPandas	Пакет Python	BSD-3	Python
MATSim	Автономный	GPLv2	Java
Scikit-mobility	Пакет Python	BSD-3	Python
stplanr	Пакет R	MIT	R
momepy	Пакет Python	MIT	Python
Trip-simulator	JavaScript-пакет	MIT	JavaScript
	Пакет Python	AGPLv3	Python
spaghetti	Пакет Python	BSD-3	Python
GUI графический пользовательский интерфейс			
ABStreet	Автономный	Apache-2.0	Rust
Veins	Автономный	GPLv2	C++
AequilibraE	плагин QGIS	Custom	Python
QNEAT3	плагин QGIS	GPLv3	Python
Networks plugin	плагин QGIS	GPLv3	Python
sDNA	плагин QGIS	GPLv3	C++
AwaP	плагин QGIS	GPLv3	Python
WUI веб-интерфейс пользователя			
Citybound	Автономный	AGPLv3	Rust
StreetMix	Хостинг-сервис	BSD-3	JavaScript
flowmap.blue	Автономный	MIT	TypeScript
Conveyal Analysis	Хостинг-сервис	MIT	Java
PCT	Хостинг-сервис	AGPLv3	R
Trajanalytics	Автономный	BSD-3	JavaScript

Пользователь не ограничен параметрами, предоставляемыми в GUI, и во многих инструментах на основе CLI можно включать новые функции. Подход также имеет преимущества для разработчиков: писать программное обеспечение значительно проще без необходимости разрабатывать GUI, что снижает барьер входа потенциальным участникам. Простота разработки объясняет, почему CLI представляют собой наиболее распространенный тип инструмента с открытым исходным кодом для географического анализа. Самые давние и все еще активно поддерживаемые инструменты CLI для географического анализа в транспортном планировании – это SUMO (2001 г.) и MATSim (2006 г.). Оба работают на «микроскопическом» уровне и моделируют отдельные транспортные средства с высоким пространственным и временным разрешением, хотя акцент в MATSim (Multi-Agent Transport Simulation) делается на анализе в масштабах города, который можно редактировать с помощью плагина к JOSM GIS, по сравнению с акцентом на моделировании движения на перекрестках в SUMO с включением редактора географической дорожной сети (называемого NETEDIT), что означает, что инструмент можно использовать для анализа географических

изменений. Ввиду сложности инструкции по установке и использованию, SUMO и MATSim предназначены для продвинутых пользователей. Это дает преимущество в том, что позволяет проводить множество исследований и (особенно в случае MATSim) применять варианты использования из-за гибкости инструментов, но имеет недостаток в виде снижения доступности. Остальные инструменты на основе CLI представляют собой более мелкие, простые и доступные пакеты R/Python, которые вписываются в рамки уже существующих экосистем программного обеспечения с открытым исходным кодом.

OSMnx – это пакет Python для загрузки и анализа транспортных сетей из OpenStreetMap, который фокусируется на анализе городских транспортных сетей. Он использовался для широкого спектра исследовательских и реальных приложений с акцентом на анализ пространственных сетей с помощью функций расчета ряда транспортных показателей.

Movingpandas – это пакет Python и подключаемый модуль QGIS для визуализации наборов данных о движении с учетом траектории.

MoMery – это пакет Python для измерения и анализа наборов географических объектов, составляющих города.

UrbanSim и UrbanAccess – это пакеты Python, первый ориентирован на статистический анализ городских транспортных систем, а второй – на анализ данных географической транспортной сети с точки зрения доступности. Помимо использования данных OSM, UrbanAccess может импортировать и обрабатывать данные GTFS для расчета времени мультимодальных поездок. UrbanPy имеет схожие цели и включает в себя функциональность для развертывания контейнеров для маршрутизации с использованием механизма OSRM, подчеркивая совместимость между инструментами с открытым исходным кодом. Как и momery, пакет spaghetti (SPAtial Graphs: NETworks, Topology, & Inference) ориентирован на анализ уличной сети, но фокусируется на статистике на уровне сегментов. Scikit-mobility реализует структуру для статистического моделирования поведения при поездках, включая функции оценки перемещения между географическими зонами с использованием моделей пространственного взаимодействия, а также назначения маршрутов. Пакет JavaScript Trip-simulator от некоммерческой организации Shared Streets позволяет проводить географический анализ для планирования транспорта путем моделирования потоков GPS на улично-дорожных сетях. Интерфейс командной строки позволяет моделировать широкий спектр типов и объемов поездок, которые можно использовать для оценки влияния изменений на сеть с учетом новой компоновки. Остальные два инструмента на основе CLI – это пакеты R, ориентированные на прикладное планирование транспорта. Stplanr (устойчивое транспортное планирование с R) содержит ряд функций для обработки исходных данных и маршрутных сетей. Пакет использует географический подход к транспортному планированию, а функции включают буферы и пространственную агрегацию, которые начинают-

ся с исходных данных и заканчиваются оценками спроса на поездки вплоть до уровня маршрутной сети.

Opentripplanner – это пакет R для анализа многомодальной маршрутизации и доступности, который предоставляет интерфейс для библиотеки OpenTripPlanner Java, позволяя не только рассчитывать время в пути и геометрию маршрута, но также денежные затраты и изохронные карты доступности, где это позволяют данные.

За исключением A/B Street, все инструменты на основе GUI являются плагинами QGIS. Учитывая доминирование GUI во многих областях вычислений, можно было бы ожидать разработки ряда автономных инструментов планирования транспорта. A/B Street сочетает возможности MATSim в реальном времени с удобством использования онлайн-инструментов, таких как Streetmix, используя подход «SimCity» к планированию транспорта, при этом позволяя пользователю увеличивать масштаб отдельных транспортных средств (пока они находятся в движении с помощью камеры) и изменять геометрию улиц интуитивно понятным встроенным редактором.

Плагины QGIS транспортного планирования ориентированы на географический анализ для транспортного планирования. Плагины AequilibraE, QNEAT3 и Networks предоставляют различные инструменты транспортного планирования на основе графического интерфейса пользователей QGIS. AequilibraE предоставляет широкий спектр функций для обработки транспортных сетей и распределения потока.

QNEAT3 предоставляет более узкий, но хорошо документированный набор алгоритмов для приложений транспортного планирования, включая кратчайший путь, сетевые буферы и визуализацию матрицы корреспонденций. Плагин Networks использует интерфейс к внешнему программному обеспечению Mulsiw для включения многомодальной маршрутизации и импорта данных GTFS. Плагин AwaP использует данные о городских зданиях для расчета показателей, относящихся к пешеходной доступности. Плагин sDNA QGIS предоставляет интерфейс для проекта C++ sDNA, инструмента для пространственного сетевого анализа, который разработан для поддержки транспортного планирования для пешеходного и велосипедного движения. Доступен ряд функций анализа маршрутной сети, позволяющих пользователю параметризовать модели для наилучшего представления поведения при поездках в масштабах города на основе высокопроизводительной маршрутизации между каждой вершиной в сети.

Инструменты веб-интерфейса пользователя (WUI). Установка и запуск кода на достаточно мощных компьютерах долгое время были препятствием для доступа к программному обеспечению, а инструменты транспортного планирования (веб-API) могут предоставить множество преимуществ с точки зрения

совместного планирования (хотя облачные решения также представляют риски относительно концентрации обработки и экономической мощности).

CityBound использует игровой подход к транспортному планированию с интерактивным редактором и агентным подходом, который позволяет сотням транспортных средств взаимодействовать в сетях городского масштаба в режиме реального времени. Его особенностью является фреймворк редактирования, который предлагает профессиональные инструменты САПР, более интуитивные и интересные в использовании. Проект подходит к городскому планированию с научной точки зрения, используя последние разработки в области цифровых технологий, такие как WebAssembly.

Streetmix в первую очередь доступен и используется как бесплатный и открытый веб-сервис, размещенный на streetmix.net, но это также проект программного обеспечения с открытым исходным кодом, поддерживаемый гигантом свободного программного обеспечения Mozilla, который позволяет любому человеку создать локально размещенный экземпляр сервиса. Streetmix не использует двумерные данные (долгота/широта), а вместо этого позволяет пользователю интерактивно редактировать 1D-профиль улицы: добавлять тротуары, велосипедные дорожки, ландшафтные объекты. Сочетание акцента на совместном проектировании для устойчивого будущего в Streetmix с технологией интуитивного редактирования 2D (и даже 3D) в CityBound представляет возможность для исследований. Conveyal Analysis представляет проект, позволяющий отследить изменения в общегородской черте. Но имея ограниченную документацию этому инструменту еще предстоит пройти путь по ее разработке.

Проекты на основе JavaScript/TypeScript flowmap.blue и TrajAnalytics представляют интерактивные веб-инструменты визуализации данных географической мобильности, находящиеся на противоположных концах спектра с точки зрения размера и сложности. Flowmap.blue – это инструмент, который фокусируется на простоте использования и, посредством пакета R работает с данными об отправке-назначении. TrajAnalytics – это проект, предоставляющий структуру визуализации для отображения и анализа больших наборов траекторий. Оба проекта предназначены для визуализации транспортных систем городского и регионального масштаба.

Анализ инструментов для транспортного планирования показывает разнообразие подходов, начиная от редактирования до анализа географических данных, доступных пользователям инструментов на основе QGIS. Инструменты включают разные функции, такие как географическое разрешение, поддержку анализа временных рядов, масштаб, в котором инструменты документируются для работы, и уровень знаний, необходимый для установки, настройки и использования инструмента. Многие инструменты предоставляют функциональность через документированные интерфейсы к другим пакетам. R имеет зрелую экосистему пакетов для географического анализа, с особыми сильными сторо-

нами в статистическом анализе и визуализации. Аналогичным образом, существует растущая экосистема пакетов Python для географического анализа, некоторые из которых доступны как плагины QGIS, помещая пользователя в продвинутую ГИС.

Не существует единого инструмента, который бы обладал всеми желаемыми функциями для географического анализа в транспортном планировании. Программное обеспечение разрабатывается не изолированно, а в социальном контексте, и совместная природа инструментов с открытым исходным кодом, как правило, поощряет решения, которые являются взаимодополняющими, а не конкурирующими. Большинство инструментов, имеют определенную специализацию, но многие из них, возможно использовать для анализа в различных масштабах.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Лебедева, О.А.** Проблемы и перспективы интеграции моделей планирования перевозок с применением геоинформационной системы / О.А. Лебедева // Вестник Ангарского государственного технического университета. 2019. № 13. С. 166-172.
2. **Лебедева О.А.,** Разработка и использование библиотек PYTHON с открытым исходным кодом для задач транспортного моделирования/ О.А. Лебедева, И.М. Кулакова, Е.В. Ерофеев// Вестник Ангарского государственного технического университета. 2024. № 18. С. 275-278.
3. **Лебедева, О.А.** Методика восстановления маршрутной сети с использованием геоинформационных данных / Лебедева О.А // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2021. Т. 1. № 18. С. 113-116.
4. **Лебедева, О.А.** Анализ городской транспортной сети на основе геоинформационных систем в транспортных зонах промышленного города /Лебедева О.А.// Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине. Сборник научных трудов VI Международной научной конференции. 2019. С. 326-332.
5. **Полтавская, Ю.О.** Применение геоинформационных систем для обеспечения устойчивого развития транспортной системы города/ Ю.О. Полтавская // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине. Сборник научных трудов VI Международной научной конференции. 2019. С. 164-167.
6. **Lovelace, R.** Open source tools for geographic analysis in transport planning // Journal of Geographical Systems, Vol. 23, pp. 547–578, 2021.