

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ**

DOI: 0.61726/4747.2024.42.92.001

УДК [004.82+528.9]:004.89

**ИМПЛЕМЕНТАЦИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-СООТНЕСЕННЫХ ДАННЫХ  
В СЕМАНТИЧЕСКИ СОВМЕСТИМЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ**

С.А. САМОДУМКИН

*Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики  
и радиоэлектроники»,**ул. П. Бровки, 6, 220013, Минск, Беларусь  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1836-2315>**Поступила 25 ноября 2024*

Рассматривается модель интеллектуальной системы с интегрированными пространственно-соотнесенными данными и имплементация пространственно-соотнесенных данных в интеллектуальных системах, разрабатываемых в соответствии с открытой комплексной технологией разработки интеллектуальных систем на основе семантических сетей.

*Ключевые слова:* пространственно-соотнесенные данные, интеллектуальная система, семантическая сеть, геоинформационная система, база знаний, онтология объектов местности, решатель задач, картографический интерфейс, интеллектуальная система с интегрированными пространственно-соотнесенными данными.

**Введение.** Накопленные человечеством большие наборы пространственно-соотнесенных с территорией Земли данных, их представление и хранение посредством созданных картографических сервисов, развитие технологий дистанционного зондирования Земли способствовали созданию и разработке прикладных геоинформационных систем (ГИС) различного назначения.

Современные ГИС представляют собой компьютерные системы, обеспечивающие ввод, манипулирование, анализ и вывод пространственно-соотнесенных данных о территории, социальных и природных явлениях при решении задач, связанных с инвентаризацией, анализом, моделированием, прогнозированием и управлением окружающей средой и территориальной организацией общества [1]. Поскольку перечисленные задачи являются интеллектуальными, такие системы относятся к классу интеллектуальных систем с интегрированными пространственно-соотнесенными данными (ИСПД).

Вместе с тем предлагаемые в настоящее время инструментальные средства разработки ИСПД не в достаточной мере обладают совместимостью из-за отсутствия унификации знаний предметных областей, в интересах которых проектируются прикладные системы, и онтологий объектов местности и явлений. При этом для фиксированной территории одни и те же пространственные данные используются в разных прикладных областях: эпидемиологии, строительстве, охране окружающей среды, создании цифровых двойников предприятий, мобильных робототехнических системах и т. д., что делает необходимым согласование онтологии предметных областей с объектами местности и явлениями и тем самым обеспечивает вертикальный (предметно-ориентированный) уровень проектирования ИСПД. С другой стороны, при проектировании ИСПД на новую территорию сохраняются основные функциональные требования и необходимо учитывать не только предыдущий опыт проектирования систем, но и использовать ранее спроектированные функциональные компоненты, т. е. речь идет о горизонтальном уровне проектирования ИСПД, когда расширяется территориальная область и проектируются системы на новые территории или в новых временных интервалах.

Таким образом, для проектирования интеллектуальных систем с пространственно-соотнесенными данными необходима разработка программного обеспечения, обеспечивающего имплементацию пространственно-соотнесенных данных в семантически совместимых интеллектуальных системах.

Предлагаемые модели и инструментальные средства являются частью открытой комплексной технологии разработки интеллектуальных систем на основе семантических сетей [2]. При этом разработанные по данной технологии системы лишены недостатков систем, основанных на генеративных моделях (системы типа ChatGPT), поскольку происходит не генерация новых данных, которые похожи на обучающие данные, а устанавливаются отношения между фактическими данными и знаниями предметной области, что обеспечивает достоверность выводов на основе знаний. В связи с чем в данной работе под интеллектуальной системой с интегрированными пространственно-соотнесенными данными (синоним интеллектуальная геоинформационная система) понимается информационная система, предназначенная для выдачи ответов на вопрос пользователя, основным объектом исследования которой являются знания и данные об объектах местности (явления), организованные в виде баз знаний, выступающие интеграционной основой для решения прикладных задач в различных предметных областях.

**Основная часть.** Формально модель интеллектуальной системы с интегрированными пространственно-соотнесенными данными задается следующим образом:

$$S_{SRD} = \{M_{BK}, S_P, UI_{Map}\},$$

где  $M_{BK}$  – семантическая модель базы знаний;  $S_P$  – семантическая модель решателя задач;  $UI_{Map}$  – семантическая модель пользовательского интерфейса.

Семантическая совместимость знаний достигается за счет онтологии пространственных объектов, в задачу которой входит четкое и однозначное определение семантики объектов местности и явлений. Формально онтология пространственных объектов задается следующим образом:

$$O_{SRD} = \{O_{To}, O_{GeoCH}\},$$

где  $O_{To}$  – онтология объектов местности и явлений;  $O_{GeoCH}$  – семантические характеристики объектов местности и явлений.

В онтологии объектов местности и явлений объектами классификации являются объекты местности и явления, которым соответствуют объекты карты, а также признаки (характеристики) этих объектов. В данном разделе онтологии представлены классы геопропространственных понятий, имеющие общие признаки, характерные для определенного класса объектов местности. Таким образом, объекты местности и классы объектов местности предназначены для разных целей. Объекты местности формируются в базе знаний по спецификациям, заданным в онтологии объектов местности и явлений. Соответственно в базе знаний хранятся непосредственно знания о конкретном объекте, а в онтологии объектов местности – объект местности является понятием и для него установлены свойства и отношения, заданные для всех объектов данного типа (класса).

Формально раздел онтологии геосемантических характеристик объектов местности задается следующим образом:

$$O_{GeoCH} = \{R_{CLoc}, D_{Cond}, R_S\},$$

где  $R_{CLoc}$  – координатное местоположение объекта местности;  $D_{Cond}$  – динамика состояния объекта местности;  $R_S$  – класс пространственных отношений для установления семантических свойств объекта местности или явления по отношению к другим объектам местности, который, в свою очередь, задается:

$$R_S = \{R_{Top}, R_M, R_{SO}, R_{S.md}\},$$

где  $R_{Top}$  – класс топологических пространственных отношений;  $R_M$  – метрическое пространственное отношение;  $R_{SO}$  – отношение пространственной упорядоченности;  $R_{S.md}$  – отношение главных направлений объектов местности.

Обобщенная структура интеллектуальной системы с интегрированными пространственно-соотнесенными данными, соответствующая представленной модели, приведена на рис. 1, где показано взаимодействие пользователя системы, а также основных составляющих компонентов (семантическая память, решатель задач и картографический интерфейс).

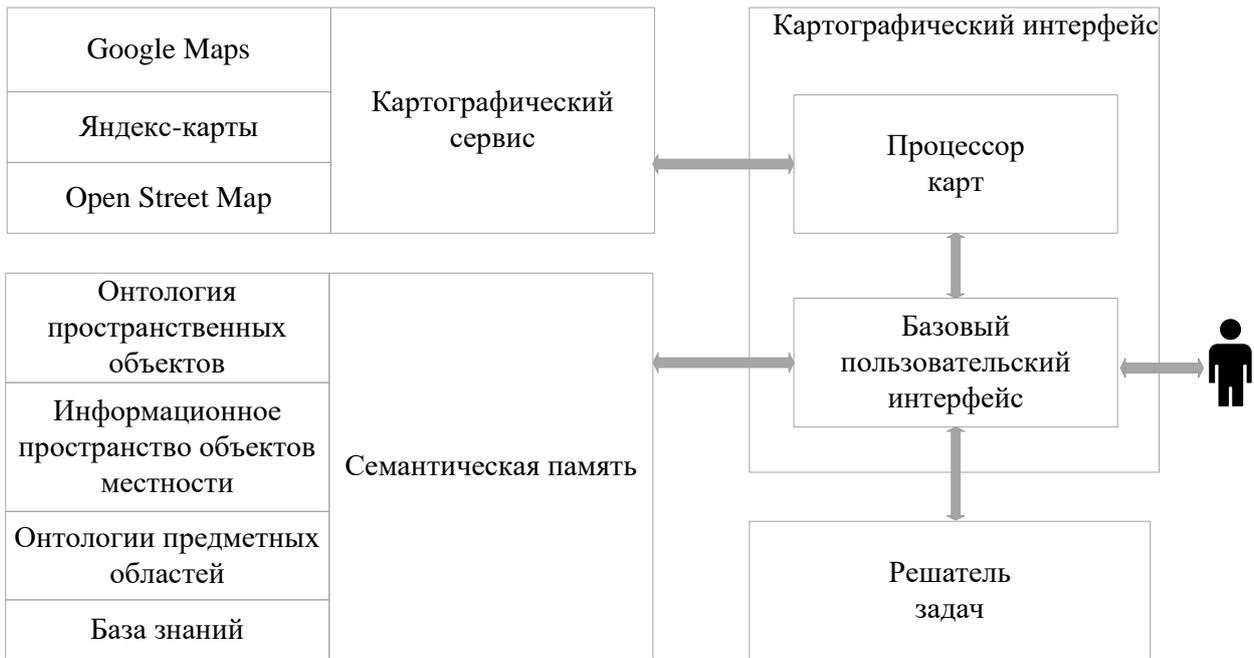


Рис. 1. Обобщенная структура интеллектуальной системы с интегрированными пространственно-соотнесенными данными

Способом выражения информационной потребности пользователя в интеллектуальных системах является вопрос [3]. Представление структурированной информации и установление отношений между понятиями в базе знаний упрощает формирование информационной потребности пользователя, поскольку при формировании базы знаний происходит установление субъектно-объектных отношений в рамках заданной предметной области средствами семантического кода (SC-кода).

Целью разработки языка вопросов для интеллектуальных систем с интегрированными пространственно-соотнесенными данными и последующего его развития является реализация возможности понимания действий, осуществляемых такой системой, при формировании ответа на поставленный вопрос. В процессе формирования ответа на поставленный вопрос возможны следующие варианты: 1) ответ существует в базе знаний и происходит локализация фрагмента базы знаний; 2) ответ связан с разрешением некоторой задачной ситуации, которая содержится в контексте вопроса, и формирование ответа на вопрос возлагается на решателя задач.

В связи с этим интеллектуальная система с интегрированными пространственными данными декомпозируется на следующее множество систем:

$$S_{испд} = \{S_{иипс}, S_{го}\},$$

где  $S_{иипс}$  – интеллектуальная информационно-поисковая система;  $S_{го}$  – подсистема генерации ответов.

Декомпозиция ИСПД в соответствии со схемой, представленной на рис. 1, на базу знаний, решатель задач и интерфейс пользователя позволяет выделить три этапа проектирования системы.

Первый этап проектирования связан с формализацией знаний и представлением их в базе знаний ИСПД. Формализованные в соответствии с семантической технологией проектирования баз знаний интеллектуальных систем предметные знания и формулировки вопросов на семантическом коде находятся в базе знаний интеллектуальной системы с интегрированными пространственными данными.

Второй этап – это реализация операций обработки знаний, находящихся в системе, т. е. проектирование решателя задач интеллектуальной системы.

В подсистеме  $S_{иипс}$  для каждого семантического класса вопросов сопоставляются информационно-поисковые операции решателя задач. В первом случае – предикатный вопрос, когда пользователь задает вопрос по шаблону. Результатом является ответ, сформированный при помощи базовых навигационно-поисковых операций. Во втором случае, когда нет четкого образца поиска, требуется специализированная процедура поиска в зависимости от семантического класса вопроса,

а сам ответ имеет сложную процедуру локализации (это при том, что ответ явно имеется в текущем состоянии системы).

В подсистеме  $S_{го}$  для каждого вопроса проектируются в общем случае множество операций в решателе задач, позволяющих сгенерировать ответ пользователю на основе имеющихся в базе знаний: предметных знаний, логических закономерностей, способов решений задач определенного класса, алгоритмов вычислений.

Третий этап – реализация пользовательского интерфейса в соответствии с семантической технологией проектирования пользовательских интерфейсов интеллектуальных систем, т. е. реализация диалога конечного пользователя с системой. Интерфейс пользователя позволяет управлять диалогом пользователя при запросах к системе или ответах.

При этом интеллектуальная информационно-поисковая система представляется кортежем следующего вида:

$$S_{интпс}: \{\{Q\}, \{A\}, \{F\}, \{UI\}\},$$

где  $\{Q\}$  – совокупность вопросов;  $\{A\}$  – совокупность ответов, имеющихся в текущем состоянии системы;  $\{F\}$  – совокупность операций решателя задач, осуществляющих поиск и генерацию ответов на вопросы пользователей;  $\{UI\}$  – совокупность способов визуализации ответов пользователю.

Каждый вопрос, входящий в множество вопросов  $\{Q\}$ , вне зависимости от способа его задания с помощью пользовательского интерфейса, имеет поисковое предписание – представление информационного вопроса в виде поискового образа вопроса и задание на поиск на языке вопросов. Данное поисковое предписание есть sc-конструкция, т. е. информационная конструкция, представленная в семантическом коде. Это позволяет, во-первых, организовать многомодальный пользовательский интерфейс, когда имеются возможности эквивалентного построения вопроса пользователя различными интерфейсами, а, во-вторых, обеспечить совместимость со всеми компонентами системы. Ответ представляет собой результаты поиска и также представляется SC-конструкцией. Управление способом представления ответов и вопросов пользователей осуществляется пользовательским интерфейсом ИСПД.

С целью формального описания языка вопросов для интеллектуальных систем с интегрированными пространственно-соотнесенными данными необходимо задать синтаксис данного языка и определить денотационную и операционную семантику. Соответственно синтаксис языка вопросов является подмножеством синтаксических конструкций семантического кода, что позволяет отнести язык вопросов к семейству семантических совместимых языков – sc-языков и предназначен для формального описания поискового предписания. Денотационная семантика направлена на формальное уточнение формулировок вопросов средствами семантического кода, а операционная семантика языка вопросов определяется множеством sc-агентов вывода ответов на поставленные в процессе диалога пользователя с интеллектуальной системой.

Для систематизации типов вопросов введены следующие отношения: *отношение в рамках заданного вопроса* – определенное отношение между знаками предметной области в контексте вопроса; *базовое отношение в рамках заданного вопроса* – класс отношений, объединяющий отношения в заданном вопросе, отражающие однотипный смысл и раскрывающие определенный признак знаков предметной области (отношение состояния, отношение действия, отношение состава, теоретико-множественное отношение, темпоральное отношение, пространственное отношение, количественное отношение, качественное отношение); *составное отношение в рамках заданного вопроса* – устойчивая комбинация двух отношений действия: *действия, направленного на параметр вопроса, и действия, направленного на ответ на вопрос*.

Все агенты, выводящие ответы на поставленные вопросы, формируют многоагентную систему – интерпретатор языка вопросов для интеллектуальных справочных систем с интегрированными пространственно-соотнесенными данными, где каждому классу вопросов соответствуют определенные агенты, реализующие поиск или синтез из базы знаний ИСПД соответствующих ответов на поставленные вопросы.

В соответствии с предложенной моделью и структурой ИСПД, языка вопросов на рис. 2 представлена схема программных компонентов, обеспечивающих имплементацию пространственно-соотнесенных данных в интеллектуальных системах на основе картографического сервиса OpenStreetMap (OSM).

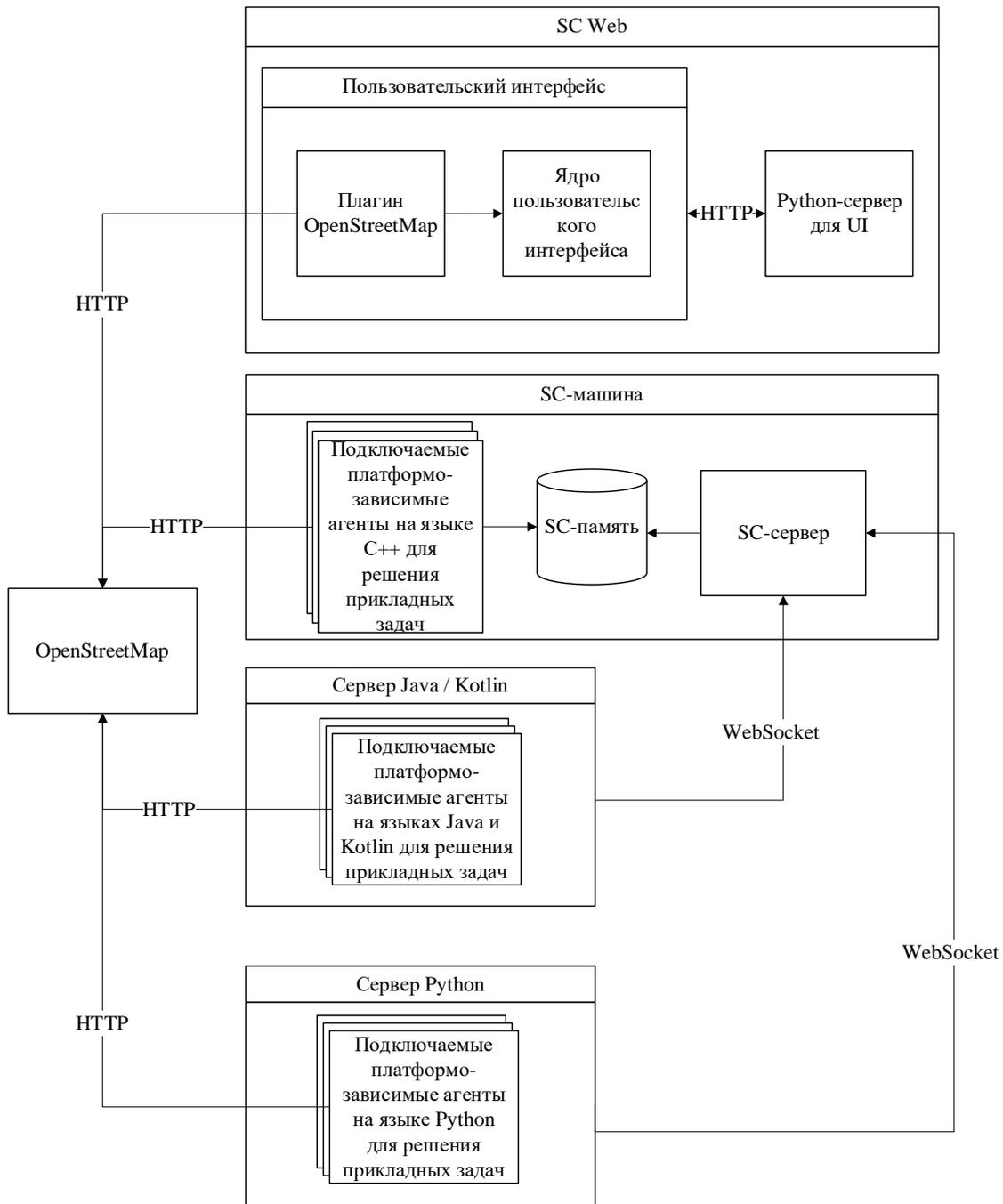


Рис. 2. Схема программных компонентов, обеспечивающих имплементацию пространственно-соотнесенных данных в интеллектуальных системах на основе картографического сервиса OpenStreetMap

Особенность программной реализации заключается в том, что обеспечивается доступ к картографическим данным, которые собраны сообществом заинтересованных пользователей и свключают практически полное описание объектов местности всей Земли, тем самым отсутствует надобность в сборе картографического материала при проектировании прикладных систем, а требуется верификация и отбор существующих в картографическом сервисе пространственных данных. При этом OpenStreetMap распространяется под свободной лицензией и позволяет получать доступ как к растровым картам, так и ко всем лежащим в их основе пространственным данным с помощью запросов Overpass [4]. Пример взаимодействия при использовании пространственно-соотнесенных данных представлен на рис. 3

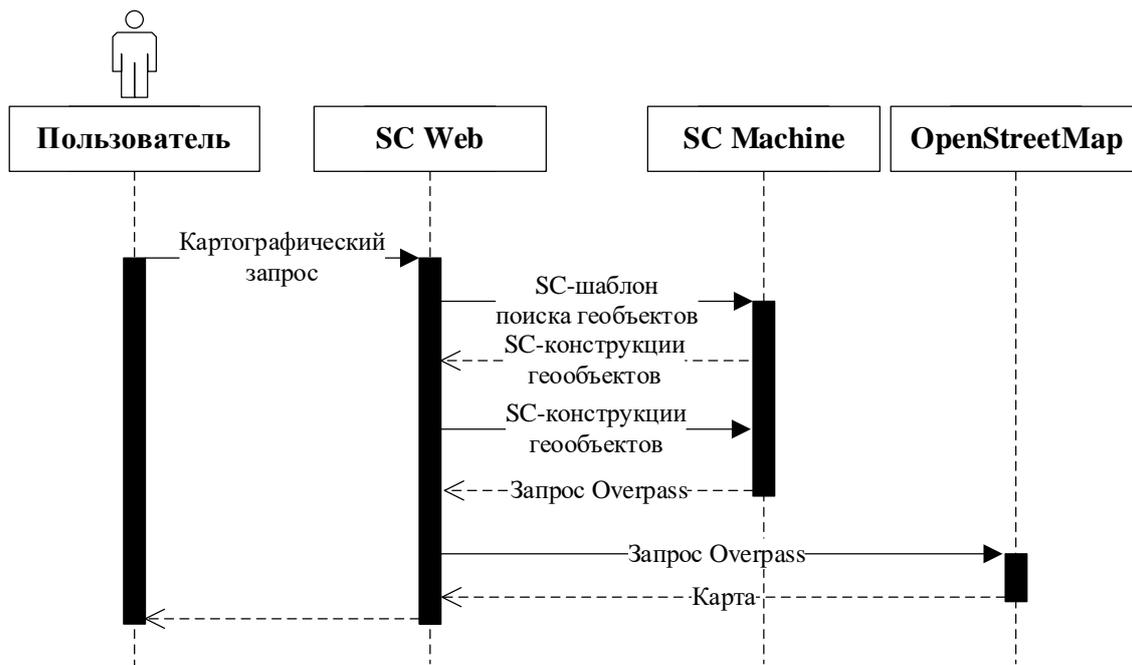


Рис. 3. Пример взаимодействия при использовании пространственно-соотнесенных данных

**Заключение.** Предложенная в работе семантическая модель ИСПД, включающая семантическую память, решатель задач и картографический интерфейс, позволяет интегрировать в базе знаний объекты местности и явления заданной территории, транслированные на внутренний язык базы знаний, и знания различных предметных областей, а также осуществлять взаимодействие на семантически совместимом с языками представления и обработки знаний языке вопросов и предназначенном для формального описания поискового предписания с целью удовлетворения информационной потребности пользователя. Программная реализация картографического интерфейса ИСПД на основе картографического сервиса OpenMapStreet позволяет имплементировать пространственно-соотнесенные данные с целью их использования семантически совместимыми интеллектуальными системами.

## IMPLEMENTATION OF SPATIALLY REFERENCED DATA IN SEMANTICALLY COMPATIBLE INTELLIGENT SYSTEMS

S. SAMODUMKIN

The model of intellectual system with integrated spatially-referenced data and implementation of spatially-referenced data in intellectual systems developed in accordance with the open complex technology of development of intellectual systems on the basis of semantic networks is considered.

### Список литературы

1. Интеллектуальные технологии в геоинформационных системах : учеб. пособие / А. Н. Крючков [и др.]; под науч. ред. В. В. Голенкова. – Минск : БГУИР, 2006. – 201 с.
2. Технология комплексной поддержки жизненного цикла семантически совместимых интеллектуальных компьютерных систем нового поколения / под ред. В. В. Голенкова – Минск : Бестпринт. – 2023. – 1064 с.
3. Сулейманов, Дж. Ш. Система семантического анализа ответных текстов обучаемого на естественном языке / Дж. Ш. Сулейманов // Онтология проектирования. – 2014. – № 1 (11). – С. 65–77.
4. OpenStreetMap [Electronic resource]. – Mode of access : <https://www.openstreetmap.org/>. – Date of access : 28.09.2024.