УДК 004.942

СЕМАНТИКО-ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АДРЕСНОГО ПЛАНА В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ РЕШЕНИЙ

© 2025 А.М. Смолев[1], О.К. Головнин[2]

[1] Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, г. Самара, Россия
[2] Самарский государственный медицинский университет, г. Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 20.06.2025

В работе предложена семантико-топологическая модель адресного плана территории, предназначенная для реализации в составе информационных и геоинформационных систем функциональных возможностей для информационной поддержки принятия пространственно-ориентированных решений. Семантико-топологическая модель отличается наличием как пространственной, так и атрибутивной информации об объектах, влияющих на процесс принятия решений, при этом в качестве объектов рассматриваются как материальные объекты (здания и сооружения, дорожная инфраструктура), так и нематериальные, определенные нормативными правовыми актами и договорами (границы населенных пунктов, земельные участки). Ядром семантико-топологической модели адресного плана является триада «территория-улица-здание», независимость которой от юрисдикции и характера застройки определяется базовыми потребностями экономически активного человека: проживанию, передвижению и самоидентификации. Модель обеспечивает возможность трансформации данных, которая происходит при модификации геометрического представления объектов на электронной карте. Показано, что такие модификации приводят к цепочкам преобразований пространственных и атрибутивных данных множества объектов карты, зависимых от изменения. Описаны сценарии преобразования данных при изменении входящих в адресный план объектов карты. Приводятся факторы, влияющие на способ модификации атрибутивных данных объектов при объединении или разделении их геометрических представлений. Выполнена программная реализация предлагаемой семантико-топологической модели на базе геоинформационной системы в виде плагина. Разработанный плагин позволяет осуществлять визуализацию данных, адаптированную для принятия управленческих решений, а также находить решение многокритериальных задач по нахождению оптимального места для различных инфраструктурных объектов на основе аналитической иерархической процедуры Саати. Плагин реализует иерархичную модель данных, поддерживает правила допустимости топологических отношений и обеспечивает возможность сохранения непротиворечивости, что позволяет реализовать процесс моделирования развития территории для принятия решений о территориальном планировании.
Ключевые слова: адресный план, геоинформационная система, система поддержки принятия решений, пространственная топология, атрибут, семантика, трансформация данных, ГИС, СППР.

DOI: 10.37313/1990-5378-2025-27-4-183-195
EDN: HRLUXW

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время устойчивое развитие государства, региона или города зависит от реализации территориального планирования, учитывающего текущие и будущие потребности в различных видах инфраструктуры. Стратегическое планирование территории позволяет определить назначение территории и планируемые потребности в развитии и размещении объектов транспортной, инженерной, социальной инфраструктуры [1]. Элементом ответственного подхода в том числе является эффективное распределение земельных ресурсов по административным субъектам в зависимости от их нужд [2, 3]. При этом необходимо, во-первых, обеспечивать права участников экономических отношений, а во-вторых, организовать транспортный доступ к общественно значимым инфраструктурным объектам. При планировании городской территории необходимо учитывать такие критерии, как изменение численности населения, направление маятниковых миграций, технико-экономические показатели, санитарно-гигиеническую ситуацию, энергетические и водные ресурсы, состояние окружающей среды [4]. Дополнительным фактором при принятии планировочных решений является мнение проживающих на территории города [5]. Вследствие наличия множества различных критериев и присутствия взаимозависимостей в исходных данных принятие управленческих решений почти всегда крайне затруднено [6].

Смолев Александр Михайлович, аспирант кафедры программных систем. E-mail: volga04j@gmail.com
Головнин Олег Константинович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой медицинской физики, математики и информатики. E-mail: golovnin@bk.ru

Применение цифровых адресных планов территории позволяет существенно повысить эффективность принятия решений за счет представления лицу, принимающему решения, интегрированной информации о пространственном расположении объектов и их адресной привязке, кадастровых данных, сведений о землевладении, инженерных сетях и других объектах инфраструктуры. Адресный план, используемый для поддержки принятия пространственных решений, должен обеспечивать реализацию модели данных, сочетающей в себя пространственную (координатную) и семантическую (текстовую, числовую) информацию об участках земли, образующих иерархическое разбиение рассматриваемой территории, а также о значимых объектах, располагающихся на территории. При этом важно поддерживать описание топологических отношений, а также правил их допустимости для сочетания любых типов геометрических объектов, включая их реализацию, и обеспечивать непрерывное нахождение совокупности геометрических данных в непротиворечивом состоянии.

В связи с вышесказанным в статье предложена семантико-топологическая модель адресного плана территории, предназначенная для реализации в составе информационных и геоинформационных систем в целях поддержки принятия пространственных решений.

2. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ АДРЕСНОГО ПЛАНА

Общепризнанным методом разработки и представления планов территориального обустройства является использование специализированных информационных или геоинформационных систем (ГИС), а также систем поддержки принятия решений (СППР) [7-9]. Структура адресного плана (АП) в таких системах представляет собой сочетание адресного реестра – систематизированного свода сведений об адресах объектов недвижимости – и геометрических объектов, соответствующих каждому существующему в реестре адресу [10, 11]. Поскольку адресообразующими элементами, помимо зданий и улиц, также являются территории всех уровней административного деления, данная модель будет обладать необходимой для точной работы с территориями иерархической структурой. Однако она не обеспечивает представление других объектов, влияющих на процесс планирования территории.

На сегодняшний день единственной ГИС общего назначения, реализующей продвинутый набор правил обеспечения топологической целостности геометрических данных, является разработанная американской компанией Esri система ArcGIS Pro. Она позволяет проверять соответствие отношений между геометриями одного или нескольких слоев по топологическим правилам [12]. В отечественной науке активно исследовался вопрос применения информационных систем в задаче территориального планирования. Так, практическое применение ГИС при стратегическом планировании территории подробно изучалось М.Ш. Махотловой [13]. А.А. Черкасовым реализована ГИС «Схема территориального планирования Республики Калмыкия», содержащая семантическую информацию об элементах инфраструктуры, параметрах застройки, зонировании и градостроительных ограничениях [14]. М.А. Каргашиной отмечено, что видимая простота создания карт с помощью ГИС зачастую приводит к появлению материалов недопустимо низкого качества, из-за чего работы по территориальному планированию на основе таких материалов даже усложняются [15].

В последних работах рассматривается вопрос внедрения и применения федеральной государственной информационной системы территориального планирования в различных регионах страны [16-20]. Фактически эта система является базой документации, где каждый внесенный документ добавляет на общую электронную карту несколько подключаемых слоев для визуализации проектов [21]. Недостатком такого подхода является статическая сущность системы, отсутствие связей между слоями и невозможность частичного обновления документа – сейчас каждый проект о внесении изменений в тот или иной документ планирования вносится отдельно. По этой причине проведение моделирования процесса развития территорий для решения планировочных задач на базе этой системы на настоящий момент затруднено. За рубежом вопрос применения информационных систем в этих целях был рассмотрен в том числе С. Джафой [22].

Наиболее популярные российские ГИС, реализующие АП – 2ГИС и Яндекс.Карты – являются проприетарными системами, в связи с чем информация о способах реализации ими АП или схожей структуры в открытом доступе не представлена. Построение иерархии адресного реестра рассматривалось в работе В.Я. Цветкова и А.В. Буравцева [23]. Здесь адресный реестр представлен как часть сложной организационной технической системы и имеет вид ориентированного ациклического графа. В дальнейшем эта структура расширяется темпоральной логикой, включенной в стандарт SQL:2011 для реализации [24]. Схожая иерархическая основа модели обосновывалась А.Г. Кармановым [25].

Технология создания и ведения муниципальной ГИС обсуждается в [26]. Основная модельная проблема, которую призвана решить создаваемая система, состоит в сложности сопоставления гетерогенных адресных данных, получаемых из различных картографических источников. Н.К. Оразбаевой отмечен динамический характер адресного плана [11]. Наконец, были рассмотрены правила визуального метода редактирования пространственных данных АП в рамках ГИС ITSGIS, где

результат визуализации адресного объекта не зависит от информации, содержащейся в адресном справочнике [27, 28]. Национальные системы адресного плана разработаны в Австралии и Коста-Рике [29]. Во всех этих работах не рассматривается реализация АП в ГИС, активно применяющихся для планирования и проектирования. Это свидетельствует о необходимости разработки сценариев модификации объектов АП, реализующих требование непрерывного нахождения базы данных в непротиворечивом состоянии.

Вопрос реализации топологических правил внутри ГИС на данный момент исследовался наиболее фрагментарно. Самыми часто применяемыми способами описания правил являются теоретико-множественный подход и язык пространственных агрегаций [30]. В работе Л.В. Гордиенко с помощью теоретико-множественного подхода описаны топологические правила отношений между объектами типов «линия электропередач», «автодорога», «охранная зона», «муниципальное образование» [31]. Всестороннее исследование топологии пространственных отношений было проведено в [12], где выработана состоящая из набора правил расширяемая топологическая система для применения в средствах управления базами данных, а также предложена операция для восстановления топологической корректности отношений между двумя геометриями при небольшой погрешности их совмещения.

Недостатком перечисленных решений является тот факт, что они рассматривают только отношения между двумя геометрическим объектами карты, расположенными в одном или разных слоях карты в ГИС. В реальности при осуществлении топологических преобразований могут возникать ситуации, при которых внесение изменений в одну геометрию на карте будет по цепочке приводить к возникновению противоречий с другой. Это приведет к лавинообразным изменениям геометрий многих типов на разных уровнях. В связи с этим предлагается семантико-топологическая модель адресного плана, которая позволит корректно обрабатывать такие сценарии. Описание модели АП в этой работе состоит из двух частей. Сначала даются основные определения сущностей, составляющих адресный план как иерархическую систему. Далее приводится описание сценариев изменения объектов АП, где в терминах пространственных топологий *RCC8* и *OpenGIS Simple Features* описаны возникающие при данных изменениях трансформационные процессы.

3. СЕМАНТИКО-ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АДРЕСНОГО ПЛАНА

3.1. Объекты адресного плана

Семантико-топологическая модель АП (*AP*) представляет собой информационный ресурс, содержащий сведения об адресах и координатных данных адресуемых пространственных объектов. Ядром АП является триада «территория-улица-здание», независимость которой от юрисдикции и характера застройки объясняется базовыми потребностями экономически активного человека (проживанию, передвижению и самоидентификации). В семантико-топологической модели геометрическим представлением адресного объекта A выступает геометрия цифровой карты, соответствующая реальному пространственному объекту, которому присвоен данный адрес. Обозначим это отношение как $G(A)$. Тогда корневой территорией АП назовем территорию T_0, геометрическое представление которой отвечает условию:

$$\forall x \in AP \;\; G(x) \subseteq G(T_0). \tag{1}$$

В соответствии с триадой объект x, содержащийся в АП, может быть одним из трех видов: территория T_i, улица S_i либо строение B_i.

При использовании плоскостного пространства геометрий в АП включается вспомогательный тип объекта – перекресток улиц C_k. Перекресток представляет собой адресный объект, геометрическое представление которого является точкой и обозначает пересечение нескольких улиц, т.е.:

$$G(\tilde{N}_k) = \bigcap_{i=1}^{n} G(S_i). \tag{2}$$

Цифровая карта в модели представляет собой информационный объект, содержащий отсортированные по слоям элементы (геообъекты) с пространственными (геометрическими) и атрибутными (семантическими) данными.

Базис модели предметной области $S_{\text{ПрО}}$ для территориального планирования и проектирования транспортной инфраструктуры *имеет* вид:

$$S_{\text{ПрО}} = \langle T, S, B, C, G_T, G_S, G_{BS}, G_{BT}, G_C \rangle; \tag{3}$$

где: T – множество территорий с информацией о типах и уровнях;

S – множество улиц и автодорог;

B – *множество зданий и строений*;

C – *множество перекрёстков*;

G_T – граф территорий: $V_T \subseteq T$, $E_T \subseteq T \times T$;
G_S – граф адресных связей улиц и территорий: $V_S \subseteq T + S$, $E_S \subseteq T \times S$;
G_{BS} – *граф адресных связей строений и улиц:* $V_{BS} \subseteq S + B$, $E_{BS} \subseteq S \times B$;
G_{BT} – *граф непосредственных адресных связей строений и территорий*: $V_{BT} \subseteq T + B$, $E_{BT} \subseteq T \times B$;
G_C – *граф участков улиц и автодорог, получаемый на основе образуемой из множеств S и C модели улично-дорожной сети*.

G_T представляет собой ориентированный граф – лес; G_S, G_{BS} и G_{BT} – двудольные графы; G_C – неориентированный граф. Графы G_S, G_{BS} и G_{BT} могут быть представлены как функции дискретной переменной, причем: G_S: $S \subseteq T$; G_{BS}: $B \subseteq S$; G_{BT}: $B \subseteq T$.

Граф G_T может иметь вид леса или дерева. Во втором случае рассматриваемую структуру будем называть АП территории, поскольку в иерархии геометрий присутствует одна базовая территория, в которую входят все остальные административные единицы в плане.

Принцип построения всех описанных графов на базе цифровой карты идентичен. Адресному объекту из множества *X* на цифровой карте, обладающему геометрическим представлением $G(A_i)$, будет соответствовать вершина $\widetilde{v}_i$ в графах *G*, *множество вершин* V_G *которых содержит X*: $X \subseteq V_G$. В то же время, наличие связи между адресными объектами произвольных типов и, соответственно, включение в граф дуги между ними зависит от конкретного типа топологического отношения между геометрическими представлениями.

3.2. Топологические отношения в адресном плане

Для описания отношений между полигональными, т.е. обладающими площадью, геометриями на топографической карте использован язык пространственной агрегации (*region connection calculus*, *RCC*). Обозначения отношений расшифровываются следующим образом: *DC* (*disconnected*) – *X* не пересекает *Y*, *EC* (*externally connected*) – *X* примыкает к *Y*, *PO* (*partially overlapping*) – *X* пересекается с *Y*, *TPP* (*tangential proper part*) – *X* входит в *Y*, *∂X* пересекается с *∂Y* (*∂X* обозначает границу *X*), *TPP** (*tangential proper part inverse*) – *Y* входит в *X*, *∂Y* пересекается с *∂X*, *NTPP* (*non-tangential proper part*) – *X* входит в *Y* без пересечения границ, *NTPP** (*non-tangential proper part inverse*) – *Y* входит в *X* без пересечения границ, *EQ* (*equal*) – *X* равен *Y*. При указании типов отношений между геометриями отличающейся размерности использована топологическая система *Simple Features*, определенная стандартом *OpenGIS*. Эти обозначения обобщают и расширяют язык пространственной агрегации, учитывая отношения не только между полигональнами объектами, но также точечными, линейными и объемными. Используемые отношения, определяемые системой *Simple Features*: *equals* (равен), *disjoint* (не пересекается), *intersects* (пересекается), *touches* (касается), *crosses* (пересекает), *within* (покрывается), *contains* (включает), *overlaps* (перекрывает).

Список допустимых топологических отношений, разрешающих связь между адресными объектами соответствующих типов, приведен в табл. 1.

Таблица 1. Перечень топологических отношений между различными типами объектов

Тип адресного объекта	Территория	Улица	Перекресток	Здание
Территория	*EC, TPP, TPP*, NTPP*, NTPP**	*touches, crosses, contains*	*touches, contains*	*EC, NTPP*, TPP**
Улица	*touches, crosses, within*	*touches, intersects*	*touches, crosses*	*crosses*
Перекресток	*touches, within*	*touches, within*	–	–
Здание	*EC, NTPP, TPP*	*crosses*	–	*EC*

При этом следует учесть, что эти отношения являются необходимыми, но недостаточными для установки связи между всеми объектами с таким топологическим отношением – например, связь между двумя территориями, обладающими топологическим отношением T_1 *TPP* T_2, в графе G_T *устанавливается только в случае, если* $|L(T_1) - L(T_2)| = 1$, где $L(T)$ – уровень территории, за который принимается уровень соответствующего узла depth(T) в дереве территорий.

3.3. Семантические атрибуты объектов адресного плана

Чтобы АП был пригоден для решения задач по территориальному планированию, в эту структуру необходимо включить семантическую информацию. Соответственно, объекты из *T*, *S*, *B* помимо геометрического представления также обладают атрибутивными характеристиками. При транс-

формациях АП атрибуты измененных и новых объектов могут меняться, причем правила их преобразования зависят не только от типа данных, но и, как показано далее, от семантики этих атрибутов.

Существенные атрибуты объекта территория T_i:

- численность населения P_{T_i}, тыс. чел., и ее динамика $\dot{P}_{T_i}$;
- экономические показатели E_{T_i}, их динамика $\dot{E}_{T_i}$ и тренд $\ddot{E}_{T_i}$;
- доля территории, теоретически доступной для застройки B_{T_i}, сельскохозяйственных работ A_{T_i};
- рельеф территории $\widetilde{T}_{T_i}$ и средний перепад высот в пределах территории T_i, характеризующий уровень холмистости и рассчитываемый как $T_{T_i} = \int\limits_{G(T_i)} \left\| \nabla x \right\| dx$;
- число земельных участков в реестре недвижимости N_{T_i}, средний размер – для оценки работ по выкупу и т.п;
- общая длина дорог по категориям $\left\{ L_{T_i}^{C_j} \right\}$, $C_j \in$ {IA, IБ, IB, II, III, IV, V}.

Существенные атрибуты объекта автодорога (улица) S_i:

- пропускная способность дороги C_{S_i};
- интенсивность движения по дороге I_{S_I};
- уровень ровности покрытия L_{S_I};
- максимальная и средняя скорости движения V_{S_I}, $\overline{V}_{S_I}$.

Существенные атрибуты объекта здание (строение) B_i:

- Общая площадь здания, комплекса зданий S_{B_i}, кв. м.
- Назначение здания: жилое здание *R*, административное/офисное здание *O*, образовательное *Ed*, торговое *M*, спортивное *S*, развлекательное *En*, медицинское *H* и др. Данный атрибут является классифицирующим и от него зависит наличие нижеследующих атрибутов у здания:
- число жителей $N_{B_i^R}$, чел.;
- количество рабочих мест $W_{B_i^O}$, единиц;
- вместимость здания (комплекса зданий) образовательной организации, число мест для детей, учащихся, студентов $C_{B_i^{Ed}}$;
- площадь плоскостных спортивных сооружений $S_{B_i^S}$, кв. м;
- число автомобилей скорой медицинской помощи $A_{B_i^H}$, единиц автомобилей;
- вместимость объектов зрелищного назначения $C_{B_i^{En}}$, зрительских мест
- торговая площадь $S_{B_i^M}$, кв. м.

Модель может учитывать и другие характеристики геометрических объектов постольку, поскольку они влияют на описанные выше атрибуты объектов АП. Слои таких объектов должны содержать теги, указывающие, каким образом они влияют на атрибутивные характеристики. Например, слои типа «водное пространство», «лесоохранная зона», «зона нефтепроводов и газопроводов» содержат тег *NB* – невозможность любой застройки. Соответственно, наличие геометрий таких слоев внутри территории T_i приведет к снижению показателя B_{T_i} по правилу:

$$B_{T_i} = S(G(T_i) - \sum_{O: G(T_i) \cap G(O) \neq \varnothing \,\&\, NB(O)} S(\bigcup G(O)). \quad (4)$$

3.4. Уровни адресного плана

Назовем некоторый уровень территорий *i* обязательным (*E*(*i*)), если любая территория уровня $i - 1$ должна обладать полным разбиением территориями *i*, или, что то же самое, любая точка, принадлежащая территории $i - 1$, должна также принадлежать одной и только одной территории уровня *i*. То есть:

$$E(i) \Leftrightarrow \forall p \in G(T): L(T) = i - 1 \;\; \exists(!) V: L(V) = i \,\&\, p \in G(V). \quad (5)$$

Уровень территорий $i - 1$, в свою очередь, будем называть обязующим.

Отношение обязательности уровня обладает следующими свойствами:

уровень 1 всегда обязательный;

обязательность уровня *i* не обеспечивает обязательность уровня $i - 1$;

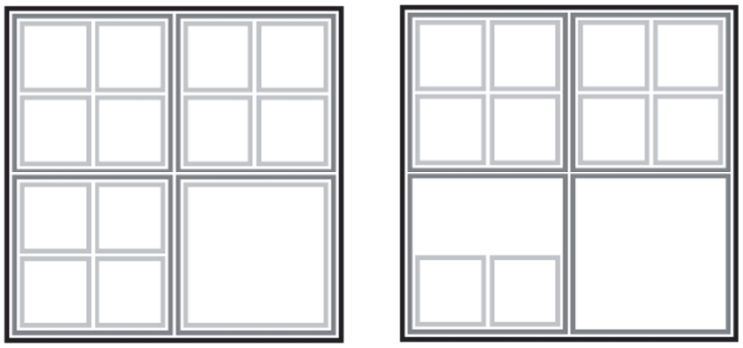
уровень *i* обязательный и у территории *T* на уровне *i* есть потомки – объединение всех непосредственных потомков *T* дает в сумме саму *T*, общая площадь этих потомков равна площади *T*:

$$\text{Ур. i – обязат. } \& \exists V: \mathrm{L}(T) = i \,\&\, G(V) \subseteq G(T) \Rightarrow \sum_{X < T} G(X) = G(T); \quad (6)$$

где символ < обозначает отношение непосредственного потомка.

Будем считать адресный план территории полным, если все уровни территорий, определенные для АП, являются обязательными. Это означает, что ни в одной точке не может быть ситуации, при которой наибольший уровень территории среди содержащих данную точку ниже, чем уровень, возможный для этой точки согласно нормативным документам, определяющим АП в данной местности. Не отвечающий данному условию АП назовем неполным.

Представим это графически на рис. 1. Адресный план неполный, если есть территории уровня i, которые заполнены территориями вложенного уровня i+1 не целиком.



а) б)

Рис. 1. Примеры адресного плана:
а) полный; б) неполный

Например, в Российской Федерации полным является адресный план, ограниченный рамками реестра ОКТМО (муниципальных образований), а в реестре ОКАТО (административно-территориальных единиц, включая населенные пункты) допускается отсутствие территории уровня городов, поселков и сел в незаселенной местности, соответственно, такой план является неполным.

4. ПРЕОБРАЗОВАНИЯ АДРЕСНОГО ПЛАНА

4.1. Топологические преобразования территорий в адресном плане

Практически любое изменение геометрии в рамках иерархии слоев АП будет приводить к противоречиям в топологической структуре. Это означает, что для сохранения непротиворечивости данных необходима многоуровневая модификация объектов. Предложены алгоритмы действий при изменении границ территории, добавлении новой или удалении существующей территории на определенном уровне.

Самым комплексным и многоступенчатым сценарием является **изменение границ территории** *T*. В первую очередь, характер изменений в АП зависит от того, являются ли территории на уровнях изменения, выше и ниже полным разбиением. Приведем схему преобразования АП при модификации границ территории X_i уровня *l*. Данная модификация может включать как расширение, так и сужение границ. Схема зависит от того, является ли уровень *l* обязательным. Также для недопущения нарушения иерархичности будем подразумевать, что отношение *PO* (частичного пересечения) между территориями недопустимо. Новые границы будут обозначаться надстрочным символом тильды: X_i означает территорию до изменения, а $\widetilde{X}_i$ – территорию после. Таким образом, схема преобразования АП примет следующий вид:

1. Производится проверка выхода границ $\widetilde{X}_i$ за пределы непосредственного предка *T*. В случае выхода границ за пределы изменение отменяется, поскольку сначала необходимо провести соответствующие изменения уровнем выше. В качестве альтернативы можно удалить всю выходящую за рамки *T* область $\widetilde{X}_i$ и затем продолжить выполнение.

2. Производится проверка всех территорий – непосредственных потомков *T*. Вычисляется тип пространственного отношения $\widetilde{X}_i$ с этими территориями. Выделяется два типа территорий: имеющие с $\widetilde{X}_i$ отношения вида *TPP/NTPP/EQ* – обозначим их $X_1 \ldots X_k$ – и имеющие отношения *PO* ($X_{k+1} \ldots X_n$). Всего же в *T* содержится $m \geqslant n$ территорий уровня *l*. Территории $X_1 \ldots X_k$ просто удаляются, так как $\widetilde{X}_i$ поглотила их целиком. Территории $X_{k+1} \ldots X_n$ же получают новые границы такие, что $\forall j \in \overline{k+1, n}$ $\widetilde{X}_j = X_j \setminus \widetilde{X}_i$, а после этого для каждой из этих территорий выполняется п. 4.

3. Данный этап выполняется только в том случае, если уровень *l* обязательный. Вычисляется пересечение $X_i \bigcap \widetilde{X}_i$ – таким образом проверяется, существует ли область, которая не принадлежит $\widetilde{X}_i$, но ранее принадлежала X_i, т.е. сузилась ли территория в каких-то местах или нет. Если $X_i \bigcap \widetilde{X}_i$

$\neq X_i$, то появилась область, не принадлежащая ни одному из непосредственных потомков *T*, что недопустимо при обязательном уровне *l*. Следовательно, предлагается выполнение одного из двух действий:

3.1. Выбирается некоторая территория X_p из существующих, по возможности имеющих непосредственную границу со свободной областью. Эта территория расширяется: $\widetilde{X}_p = X_p \bigcup (X_i \setminus \widetilde{X}_i)$.

3.2. На свободной области создается новая территория $\widetilde{X}_q = X_i \setminus \widetilde{X}_i$.

4. Производится проверка всех территорий Y_{ji} – непосредственных потомков изменившей в результате выполнения предыдущего этапа границы территории X_j. Если был выполнен п. 3, в число таких измененных территорий входит и исходная X_i. Вычисляется пересечение данной территории с $\widetilde{X}_j$. Возможны три случая:

4.1. $\widetilde{X}_j$ *DC/EC* Y_{ji}. Это означает, что вся территория Y_{ji} попала в другую территорию верхнего уровня $\widetilde{X}_p$. Находим эту территорию и меняем связь Y_{ji} *с* X_j *на* X_p, т.е. в графе-дереве G_T удаляем ребро (X_j, Y_{ji}) и вставляем (X_p, Y_{ji}).

4.2. X_j *TPP/NTPP/EQ* Y_{ji}. Территория по-прежнему расположена там, где и была раньше. Связи в дереве не меняются.

4.3. $\widetilde{X}_j$ *PO* Y_{ji}: территория Y_{ji} только частично входит в $\widetilde{X}_j$. Делим эту территорию на две части – Y_{ji1} и Y_{ji2} – и для каждой из этих рекурсивно выполняем п. 4 на уровне ниже.

Добавление новой территории

Теперь рассмотрим схему преобразования при **добавлении новой территории** *X* на уровень *i*:

Производится проверка вхождения *X* в единственную территорию *T* уровня *i* – 1. Если *X* не входит в *T* целиком, а вместо этого пересекается с несколькими территориями *i* – 1, изменение отменяется, а отвечающему за управление АП предлагается сначала провести соответствующие изменения уровнем выше.

Вычисляется пересечение *X* с каждым непосредственным потомком *T* X_i. Выделяются два вида пересекшихся территорий: имеющие отношение *TPP/NTPP/EQ* (X_1...X_k) и имеющие отношение *PO* (X_{k+1}...X_n). Территории X_1...X_k мы просто удаляем, так как *X* поглотила их целиком. Территории X_{k+1}... X_n же получают новые границы такие, что $\forall j \in \overline{k+1, n}\ \ \widetilde{X}_j = X_j \setminus X$,, после чего для каждой из этих территорий выполняется п. 4 из схемы модификации территории, описанной выше.

Схема преобразования АП при **удалении территории** повторяет п. 3 и 4 алгоритма модификации – достаточно выбрать территорию, которая будет расширена за счет удаленной.

Если уровень *l* модифицированной территории является необязательным, п. 3 схемы преобразования для модификации не выполняется никогда, поскольку не требуется замещать одну территорию другой. Соответственно, удаление территории не вызывает никакой реакции со стороны АП.

После модификации некоторых территорий необходимо обновить графы G_S и G_{BT}. Все территории, границы которых были изменены в результате применения схемы преобразования, помечаются как «требующие обновления». Например, в G_S и G_{BT} производится поиск улиц и зданий со связями с данными территориями. Далее находится территория максимального по числовому значению уровня, с которой улица (здание) имеет отношение *within* либо *overlaps*. Адресному объекту присваивается связь с данной территорией. Улица, попавшая в отношение *overlaps* с несколькими территориями наиболее вложенного уровня, дополнительно может быть разделена на две части, целиком входящие в каждую из территорий.

4.2. Топологические преобразования улиц и перекрестков в адресном плане

Теперь рассмотрим процессы, происходящие в АП при реализации сценария модификации улицы *S*. **Добавление новой улицы** S вызывает обновления в модели перекрестков $M_{Пк}$ и графе G_C. Выполняется поиск улиц S_i таких, что S_i *crosses S* либо S_i *touches S*. Для всех этих S_i обновляются перекрестки. При этом необходимо выбрать предельное расстояние *d* до существующего перекрестка, при котором пересечение с новой улицей будет считаться частью именно этого перекрестка. Обновление происходит по следующим правилам:

$(\forall C_i : S_i \in S_{C_i} = \{S_k\}_{k=1}^m \Rightarrow R(G(S), G(S_i)) > d) \Rightarrow$ в $M_{Пк}$ заносится новый перекресток C со списком $S_C = \{S_i, S\}$ (здесь SC_i – список улиц перекрестка C_i),

$\exists C_i \exists S_i \in S_{C_i} = \{S_k\}_{k=1}^m : \ R(G(S), G(S_i)) < d \Rightarrow$ в список улиц существующего перекрестка заносится новая улица: $S_{C_i} = \{S_1, ..., S_m, S\}$.

При **удалении улицы** *S* все перекрестки, имеющие в списке две улицы, одна из которых – *S*, удаляются, а из перекрестков из трех и более улиц из списка удаляется *S*.

Изменение геометрии улицы вызывает сначала удаление улицы из перекрестков, в которых данная улица более не участвует, а затем занесение новых перекрестков и расширение существующих. При справедливости отношения *overlaps* между старой и новой геометрическими представлениями перекрестки, попавшие в перекрытие этих представлений, остаются неизменными.

Отдельные топологические преобразования для **зданий и сооружений** не требуются, поскольку модификаций этих объектов адресного плана не приводит к последующим преобразованиям АП.

4.3. Преобразования атрибутов адресного плана

Характер трансформации атрибутов при изменении структуры АП зависит в первую очередь от способа их хранения. Производные атрибуты определяются на основе данных, не затрагиваемых трансформацией, либо же вычисляются по геометрической информации, что дает возможность использовать ее для обновления значений атрибутов. Таковым, например, является атрибут B_{T_i} – доля доступной для застройки земли.

Непосредственные атрибуты делятся на две категории: допускающие объединение и допускающие разбиение. Допуск операций означает возможность наследования значения старых объектов новым. Списочные и строковые атрибуты, как правило, относятся к допускающим разбиение: их значения у объектов, полученных разделением целой геометрии, копируются у старого объекта. Таким является атрибут «категория дороги»: деление дороги любой категории приведет к двум дорогам той же категории, однако при объединении дорог разных категорий, например, категорий III и IV, сохранить однозначное значение атрибута новой дороги не удастся. Числовые атрибуты могут допускать как объединение (напр. численность населения P_{T_i}), так и деление (максимально разрешенная скорость S_{R_i}), либо они могут не допускать ни того, ни другого (интенсивность движения по дороге L_{R_i}). Категория модификации непосредственных атрибутов должна указываться как отдельное свойство. Атрибуты, допускающие объединение, также должны определять параметр «агрегатная операция, выполняемая при объединении геометрий объектов». Ей может быть операция суммы $sum(X_1, X_2) = X_1 + X_2$ (численность населения P_{T_i}), среднего арифметического по площади $weighted_avg(X_1, X_2) = \dfrac{X_1 S_1 + X_2 S_2}{S_1 + S_2}$ (средняя высота рельефа T_{T_i}), выбора максимального $max(X_1, X_2)$ или минимального $min(X_1, X_2)$ значения (пропускная способность дороги C_{R_i}) и др.

5. РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Предложенная семантико-топологическая модель адресного плана территории реализована на базе геоинформационной системы [27] в виде подключаемого программного модуля – плагина. Программная реализация обеспечивает обобщение данных, полученных из множества информационных источников, на основе устанавливаемых пользователем критериев, что позволяет осуществлять визуализацию требуемой информации на электронной карте, а также выводить на экран краткий отчет о выделенной области, включающей показатели ее производных атрибутов (рис. 2). Пользователь может составить список отображаемых атрибутов для каждого типа объекта.

Рис. 2. Интерфейс разработанного программного модуля

Разработанный плагин обеспечивает возможность работать с массивом геометрических данных, в частности, он реализует возможность частичного обновления существующих документов послойно, а также хранения нескольких версий одного документа с возможностью визуализировать изменения между любыми версиями, что позволяет объединять в один массив ряды нормативных документов вида «Внесение изменений». Кроме того, плагин позволяет оперировать отдельными геометриями слоя подложки, в которой входят составляющие АП объекты. Модификация любой входящей в АП геометрии происходит в соответствии с разработанными алгоритмами без возникновения противоречивости во множестве данных.

Плагин содержит в себе экспертную подсистему для принятия решений по размещению тех или иных инфраструктурных объектов регионального значения в соответствии с действующим законодательством и с учетом действующих территориальных зон. Экспертная подсистема осуществляет решение многокритериальной оптимизационной задачи исходя из исходных данных АП и связанных с ним слоев ГИС. На первом этапе с помощью правила (4) и разрешенных для объекта территориальных зон определяется набор возможных для установки объекта участков. На втором этапе экспертная подсистема выбирает из них рекомендуемые участки. Критериями K_i являются: рельеф местности, транспортная доступность, близость к заселенным территориям, наличие в окрестности объектов аналогичного типа. При выборе участков используется аналитическая иерархическая процедура Саати [32], для чего в разработанной экспертной подсистеме выполняется:

- нормализация ряда значений коэффициентов (весов) критериев W_{Ki} так, что $\sum_{i=1}^{N_W} W_{K_i} = 1$;

- нормализация всех оценок мест A_{Ki} по одному критерию: $\sum_{i=1}^{N_A} A_{K_i} = 1$.

Первые пять мест с наилучшими оценками отображаются на экране, но окончательное решение остается за принимающим решение проектировщиком. Пример результатов поиска мест для размещения объекта типа «Детский оздоровительный лагерь» представлен на рис. 3.

Рис. 3. Поиск мест для размещения детских оздоровительных лагерей

Плагин реализует иерархичную модель данных, поддерживает правила допустимости топологических отношений и обеспечивает возможность сохранения непротиворечивости, что позволяет реализовать процесс моделирования развития территории для принятия решений о территориальном планировании. Таким образом, семантико-топологическая модель АП может применяться при выполнении оценки влияния изменений границ участков, улиц и отдельных зданий на всю систему показателей, используемых при стратегическом планировании территорий. Визуализация возможных сценариев развития урбанизированной среды способствует принятию непротиворечивых градостроительных решений, повышает эффективность проектирования новой инфраструктуры и минимизирует риски конфликтов между участниками процесса планирования. Предложенная семантико-топологическая модель АП универсальна и может применяться для широкого спектра практических задач, связанных с управлением территориями и принятием решений в интересах социально-экономического развития страны, региона или отдельного муниципального образования.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в работе предложена семантико-топологическая модель адресного плана территории для применения в составе информационных и геоинформационных систем в целях поддержки принятия пространственных решений. Реализация модели позволяет осуществлять визуализацию данных, адаптируемую для принятия управленческих решений, а также находить решение многокритериальных задач по нахождению пространственного расположения различных инфраструктурных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Раев, Ю.В.* Моделирование подходов к формированию стратегического документа территориального планирования региона, муниципального образования в системе стратегического планирования страны / Ю.В. Раев // Градостроительство. – 2022. – № 5-6(81-82). – С. 2-16.
2. *Раев, Ю.В.* Документы территориального планирования в системе стратегического планирования Российской Федерации / Ю.В. Раев, Д.Н. Власов // Архитектура и строительство России. – 2024. – № 2(250). – С. 100-105.
3. *Антипин, И.А.* Территориальное планирование в системе стратегического планирования и управления: ключевые проблемы и направления их преодоления / И.А. Антипин, О.Ю. Иванова // Финансовая экономика. – 2021. – № 11. – С. 8-11.
4. СП 42.13330.2016. Свод правил. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89.
5. *Дедков, А.Г.* Подходы и основные задачи территориального планирования на современном этапе развития градостроительства / А.Г. Дедков // Архитектура и современные информационные технологии. – 2021. – № 3(56). – С. 263-272.
6. *Головнин, О.К.* Комбинированная геоинформационная многослойная пространственно-временная модель / А.В. Иващенко, О.К. Головнин, А.А. Головнина, Е.А. Додонова // Информатика и автоматизация. – 2025. – Т. 24, № 2. – С. 684-711.
7. *Маковнева, А.С.* Использование ГИС-технологий в системе территориального планирования и управления / А.С. Маковнева, И.Е. Требушкова // Тренды современной географии и географического образования: Материалы V Международной научно-практической конференции посвященной 90-летию Курского государственного университета и десятилетию науки и технологий, Курск, 19 апреля 2024 года. – Курск: Курский государственный университет, 2024. – С. 219-223.
8. *Безбородникова, Р.М.* Использование методов анализа пространственных данных для выбора мест расположения объектов городской инфраструктуры на примере автомойки / Р.М. Безбородникова // Индустриальная экономика. – 2025. – № 1. – С. 17-23.
9. *Карманов, А.Г.* Геоинформационные системы территориального управления. Учебное пособие / А.Г. Карманов, А.И. Кнышев, В.В. Елисеева. – СПб: Университет ИТМО, 2015. – 121 с.
10. Муниципальный правовой акт от 27 ноября 2009 года N 12-2009 «Положение о порядке присвоения адресов объектам недвижимости на территории городского поселения Сергиев Посад» // docs.cntd.ru: Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [сайт]. URL: https://docs.cntd.ru/document/545694131 (дата обращения: 31.05.2025).
11. *Оразбаева, Н.К.* Создание дежурного адресного плана городов / Н.К. Оразбаева, М.Е. Рахымбердина, Е.В. Медведева // Наука и инновации – современные концепции: сборник научных статей по итогам работы Международного научного форума, Москва, 02 июля 2021 года. – М: Инфинити, 2021. – С. 119-122.
12. *Martinez-Llario J. et al.* Rule-based topology system for spatial databases to validate complex geographic datasets // Computers & Geosciences. – 2017. – Vol. 103. – Pp. 122-132.
13. *Махотлова, М.Ш.* Применение ГИС-технологий при разработке схем территориального планирования / М.Ш. Махотлова, Б.Б. Гюльден, А.А. Хутов // Инновационные решения в строительстве, природообустройстве и механизации сельскохозяйственного производства: материалы IV всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Нальчик, 06 июня 2024 года. – Нальчик: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова», 2024. – С. 34-38.
14. *Черкасов, А.А.* ГИС «Схема территориального планирования Республики Калмыкия» / А.А. Черкасов, Р.К. Махмудов, В.М. Эшроков // ИнтерКарто. ИнтерГИС. – 2019. – Т. 25, № 1. – С. 179-188.
15. *Каргашина, М.А.* Система геоинформационного обеспечения градостроительной деятельности: современное состояние и ключевые аспекты развития / М.А. Каргашина // ИнтерКарто. ИнтерГИС. – 2018.
16. *Антропов, Д.В.* Государственные информационные системы как часть планирования использования земель сельскохозяйственного назначения / Д.В. Антропов, И.Х. Ишамятова, Ю.С. Синица // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2024. – Т. 19, № 4(231). – С. 241-248.
17. *Лукьянченко, Е.П.* ФГИС ТП как основа информационного обеспечения градостроительной деятельности / Е.П. Лукьянченко, Д.А. Аттиссо // Геодезия, землеустройство и кадастры: проблемы и перспективы развития : Сборник научных трудов по материалам III международной научно-практической конференции, посвященной 70-летнему юбилею доктора экономических наук, профессора Ю.М. Рогатнева, Омск, 13 мая 2021 года. – Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2021. – С. 233-238.
18. *Садыгов, Э.А.* Цифровое обеспечение территориального планирования как инструмент рационального использования земельных ресурсов для развития территории / Э.А. Садыгов, Ж.И. Бахметьева // Актуальные проблемы землеустройства, кадастра и природообустройства : Материалы V международной научно-практической конференции факультета землеустройства и кадастров ВГАУ, Воронеж, 28 апреля 2023 года. – Во-

ронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2023.
19. *Качурина, Я.О.* Особенности формирования документов для ФГИС ТП на примере внесения изменений в генеральный план / Я.О. Качурина, М.А. Губанищева // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2024. – Т. 7, № 3.
20. *Минаева, Е.Ю.* Подготовка материалов для внесения сведений в информационную систему ФГИС ТП / Е.Ю. Минаева, А.В. Вдовенко // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. – 2024. – № 1. – С. 273-276.
21. *Романцев, И.М.* Система территориального планирования Свердловской области / И.М. Романцев // Молодежь и наука. – 2022. – № 4.
22. *Xhafa S., Kosovrasti A.* Geographic Information Systems (GIS) in urban planning // European Journal of Interdisciplinary Studies. – 2015. – Vol. 1. – No. 1. – Pp. 74-81.
23. *Цветков, В.Я.* Ориентированные графы в сложных организационно-технических фискальных системах / В.Я. Цветков, А.В. Буравцев // Образовательные ресурсы и технологии. 2017. № 3. С. 33–40.
24. *Цветков, В.Я.* Представление данных для специализированной ГИС / В.Я. Цветков, А.В. Буравцев // Информация и космос. 2021. № 2. С. 100–105.
25. *Карманов, А.Г.* Унифицированный адресный реестр в системах поддержки принятия решений органов территориального управления на базе ГИС / А.Г. Карманов, С.П. Федоненков // Информация и космос. 2011. № 3. С. 26–32.
26. *Гаченко, А.С.* Технология создания и ведения муниципальной геоинформационной системы / А.С. Гаченко, Г.М. Ружников, А.Е. Хмельнов [и др.]. // Вестник Бурятского государственного университета. Математика, информатика. 2016. № 2. С. 32–45.
27. Интеллектуальная транспортная геоинформационная система ITSGIS. Ядро / Е.А. Савинов [и др.]. – Самара: Интелтранс, 2016. – Т. 1. – 171 с.
28. *Смолев, А.М.* Методы моделирования адресного плана в рамках геоинформационной системы / А.М. Смолев, Т.И. Михеева, А.В. Золотовицкий // ИТ & Транспорт : сборник научных статей. 2023. – Т. 24. – С. 4-13.
29. *Mora Vargas E. A.* Cadastral management and maintenance in Costa Rica using the geodatabase model. – The University of Montana, 2004. – 142 p.
30. *Цветков, В.Я.* Пространственная логика в геоинформатике / В.Я. Цветков // Вектор ГеоНаук. – 2020. – Т. 3, № 2. – С. 91-100.
31. *Гордиенко, Л.В.* Формирование топологических правил для описания пространственных отношений объектов системы передачи электроэнергии в геоинформационной системе / Л.В. Гордиенко // Инженерный вестник Дона. – 2020. – № 12(72). – С. 442-449.
32. *Козеева, О.О.* Многокритериальный анализ и выбор параметров геоинформационной модели расположения объектов и инфра

SEMANTIC-TOPOLOGICAL MODEL OF THE ADDRESS PLAN IN SPATIAL DECISION SUPPORT SYSTEMS

© 2025 A.M. Smolev[1], O.K. Golovnin[2]

[1] Samara National Research University, Samara, Russia
[2] Samara State Medical University, Samara, Russia

The article proposes a semantic-topological model for the territorial address plan intended for implementation in the information and geographic information systems with functional capabilities to support spatial decision-making. The semantic-topological model is distinguished by the presence of both spatial and attribute information about the objects that influence the decision-making process, while both material objects (buildings and structures, road infrastructure) and intangible objects defined by regulatory legal acts and contracts (borders of settlements, land plots) are considered as objects. The core of address plan's semantic-topological model is the "territory-street-building" triad, the independence of which from the jurisdiction and nature of development is determined by the basic needs of an economically active person: residence, movement and self-identification. The model provides the ability to transform data when modifying the geometric representation of objects on a digital map. It is shown that such modifications lead to transformation chains of both spatial and attribute data in a multitude of objects affected by that change. Data transformation scenarios, performed when changing geometries of map objects included in the address plan, are described. Factors influencing the modification of the object's attribute data when performing a union or a separation of geometries are given. The software implementation of the proposed semantic-topological model based on a geographic information system in the form of a plug-in is performed. The developed plug-in allows for data visualization adapted for making management decisions, as well as finding a solution to multi-criteria problems of finding the optimal location for various infrastructure objects based on the Saaty's analytical hierarchy procedure. The plug-in implements three requirements, namely the hierarchical pattern of the data model, the implementation of the topological relation permissibility rules and the consistency preservation, all of which allow the system to implement the territory development modeling process for making decisions on territorial planning.
Keywords: address plan, geographic information system, decision support system, spatial topology, attribute, semantics, data transformation, GIS, DSS.

DOI: 10.37313/1990-5378-2025-27-4-183-195
EDN: HRLUXW

REFERENCES

1. *Raev, Yu.V.* Modelirovanie podhodov k formirovaniyu strategicheskogo dokumenta territorial'nogo planirovaniya regiona, municipal'nogo obrazovaniya v sisteme strategicheskogo planirovaniya strany / Yu.V. Raev // Gradostroitel'stvo. – 2022. – № 5-6(81-82). – S. 2-16.
2. *Raev, Yu.V.* Dokumenty territorial'nogo planirovaniya v sisteme strategicheskogo planirovaniya Rossijskoj Federacii / Yu.V. Raev, D.N. Vlasov // Arhitektura i stroitel'stvo Rossii. – 2024. – № 2(250). – S. 100-105.
3. *Antipin, I.A.* Territorial'noe planirovanie v sisteme strategicheskogo planirovaniya i upravleniya: klyuchevye problemy i napravleniya ih preodoleniya / I.A. Antipin, O.Yu. Ivanova // Finansovaya ekonomika. – 2021. – № 11. – S. 8-11.
4. SP 42.13330.2016. Svod pravil. Gradostroitel'stvo. Planirovka i zastrojka gorodskih i sel'skih poselenij. Aktualizirovannaya redakciya SNiP 2.07.01-89.
5. *Dedkov, A.G.* Podhody i osnovnye zadachi territorial'nogo planirovaniya na sovremennom etape razvitiya gradostroitel'stva / A.G. Dedkov // Arhitektura i sovremennye informacionnye tekhnologii. – 2021. – № 3(56). – S. 263-272.
6. *Golovnin, O.K.* Kombinirovannaya geoinformacionnaya mnogoslojnaya prostranstvenno-vremennaya model' / A.V. Ivashchenko, O.K. Golovnin, A.A. Golovnina, E.A. Dodonova // Informatika i avtomatizaciya. – 2025. – T. 24, № 2. – S. 684-711.
7. *Makovneva, A.S.* Ispol'zovanie GIS-tekhnologij v sisteme territorial'nogo planirovaniya i upravleniya / A.S. Makovneva, I.E. Trebushkova // Trendy sovremennoj geografii i geograficheskogo obrazovaniya: Materialy V Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii posvyashchennoj 90-letiyu Kurskogo gosudarstvennogo universiteta i desyatiletiyu nauki i tekhnologij, Kursk, 19 aprelya 2024 goda. – Kursk: Kurskij gosudarstvennyj universitet, 2024. – S. 219-223.
8. *Bezborodnikova, R.M.* Ispol'zovanie metodov analiza prostranstvennyh dannyh dlya vybora mest raspolozheniya ob'ektov gorodskoj infrastruktury na primere avtomojki / R.M. Bezborodnikova // Industrial'naya ekonomika. – 2025. – № 1. – S. 17-23.
9. *Karmanov, A.G.* Geoinformacionnye sistemy territorial'nogo upravleniya. Uchebnoe posobie / A.G. Karmanov, A.I. Knyshev, V.V. Eliseeva. – SPb: Universitet ITMO, 2015. – 121 s.
10. Municipal'nyj pravovoj akt ot 27 noyabrya 2009 goda N 12-2009 «Polozhenie o poryadke prisvoeniya adresov ob"ektam nedvizhimosti na territorii gorodskogo poseleniya Sergiev Posad» // docs.cntd.ru: Elektronnyj fond pravovyh i normativno-tekhnicheskih dokumentov [sajt]. URL: https://docs.cntd.ru/document/545694131 (data obrashcheniya: 31.05.2025).
11. *Orazbaeva, N.K.* Sozdanie dezhurnogo adresnogo plana gorodov / N.K. Orazbaeva, M.E. Rahymberdina, E.V. Medvedeva // Nauka i innovacii – sovremennye koncepcii: sbornik nauchnyh statej po itogam raboty Mezhdunarodnogo nauchnogo foruma, Moskva, 02 iyulya 2021 goda. – M: Infiniti, 2021. – S. 119-122.
12. *Martinez-Llario J. et al.* Rule-based topology system for spatial databases to validate complex geographic datasets // Computers & Geosciences. – 2017. – Vol. 103. – Pp. 122-132.
13. *Mahotlova, M.Sh.* Primenenie GIS-tekhnologij pri razrabotke skhem territorial'nogo planirovaniya / M.Sh. Mahotlova, B.B. Gyul'den, A.A. Hutov // Innovacionnye resheniya v stroitel'stve, prirodoobustrojstve i mekhanizacii sel'skohozyajstvennogo proizvodstva: materialy IV vserossijskoj (nacional'noj) nauchno-prakticheskoj konferencii, Nal'chik, 06 iyunya 2024 goda. – Nal'chik: Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Kabardino-Balkarskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni V.M. Kokova», 2024. – S. 34-38.
14. *Cherkasov, A.A.* GIS «Skhema territorial'nogo planirovaniya Respubliki Kalmykiya» / A.A. Cherkasov, R.K. Mahmudov, V.M. Eshrokov // InterKarto. InterGIS. – 2019. – T. 25, № 1. – S. 179-188.
15. *Kargashina, M.A.* Sistema geoinformacionnogo obespecheniya gradostroitel'noj deyatel'nosti: sovremennoe sostoyanie i klyuchevye aspekty razvitiya / M.A. Kargashina // InterKarto. InterGIS. – 2018.
16. *Antropov, D.V.* Gosudarstvennye informacionnye sistemy kak chast' planirovaniya ispol'zovaniya zemel' sel'skohozyajstvennogo naznacheniya / D.V. Antropov, I.H. Ishamyatova, Yu.S. Sinica // Zemleustrojstvo, kadastr i monitoring zemel'. – 2024. – T. 19, № 4(231). – S. 241-248.
17. *Luk'yanchenko, E.P.* FGIS TP kak osnova informacionnogo obespecheniya gradostroitel'noj deyatel'nosti / E.P. Luk'yanchenko, D.A. Attisso // Geodeziya, zemleustrojstvo i kadastry: problemy i perspektivy razvitiya : Sbornik nauchnyh trudov po materialam III mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvyashchennoj 70-letnemu yubileyu doktora ekonomicheskih nauk, professora Yu.M. Rogatneva, Omsk, 13 maya 2021 goda. – Omsk: Omskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni P.A. Stolypina, 2021. – S. 233-238.
18. *Sadygov, E.A.* Cifrovoe obespechenie territorial'nogo planirovaniya kak instrument racional'nogo ispol'zovaniya zemel'nyh resursov dlya razvitiya territorii / E.A. Sadygov, Zh.I. Bahmet'eva // Aktual'nye problemy zemleustrojstva, kadastra i prirodoobustrojstva : Materialy V mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii fakul'teta zemleustrojstva i kadastrov VGAU, Voronezh, 28 aprelya 2023 goda. – Voronezh: Voronezhskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet im. Imperatora Petra I, 2023.
19. *Kachurina, Ya.O.* Osobennosti formirovaniya dokumentov dlya FGIS TP na primere vneseniya izmenenij v general'nyj plan / Ya.O. Kachurina, M.A. Gubanishcheva // Interekspo Geo-Sibir'. – 2024. – T. 7, № 3.
20. *Minaeva, E.Yu.* Podgotovka materialov dlya vneseniya svedenij v informacionnuyu sistemu FGIS TP / E.Yu. Minaeva, A.V. Vdovenko // Dal'nij Vostok: problemy razvitiya arhitekturno-stroitel'nogo kompleksa. – 2024. – № 1. – S. 273-276.
21. *Romancev, I.M.* Sistema territorial'nogo planirovaniya Sverdlovskoj oblasti / I.M. Romancev // Molodezh' i nauka. – 2022. – № 4.

22. *Xhafa S., Kosovrasti A.* Geographic Information Systems (GIS) in urban planning // European Journal of Interdisciplinary Studies. – 2015. – Vol. 1. – No. 1. – Pp. 74-81.
23. *Cvetkov, V.Ya.* Orientirovannye grafy v slozhnyh organizacionno-tekhnicheskih fiskal'nyh sistemah / V.Ya. Cvetkov, A.V. Buravcev // Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii. 2017. № 3. S. 33–40.
24. *Cvetkov, V.Ya.* Predstavlenie dannyh dlya specializirovannoj GIS / V.Ya. Cvetkov, A.V. Buravcev // Informaciya i kosmos. 2021. № 2. S. 100–105.
25. *Karmanov, A.G.* Unificirovannyj adresnyj reestr v sistemah podderzhki prinyatiya reshenij organov territorial'nogo upravleniya na baze GIS / A.G. Karmanov, S.P. Fedonenkov // Informaciya i kosmos. 2011. № 3. S. 26–32.
26. *Gachenko, A.S.* Tekhnologiya sozdaniya i vedeniya municipal'noj geoinformacionnoj sistemy / A.S. Gachenko, G.M. Ruzhnikov, A.E. Hmel'nov [i dr.]. // Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta. Matematika, informatika. 2016. № 2. S. 32–45.
27. Intellektual'naya transportnaya geoinformacionnaya sistema ITSGIS. Yadro / E.A. Savinov [i dr.]. – Samara: Inteltrans, 2016. – T. 1. – 171 s.
28. *Smolev, A.M.* Metody modelirovaniya adresnogo plana v ramkah geoinformacionnoj sistemy / A.M. Smolev, T.I. Miheeva, A.V. Zolotovickij // IT & Transport : sbornik nauchnyh statej. 2023. – T. 24. – S. 4-13.
29. *Mora Vargas E. A.* Cadastral management and maintenance in Costa Rica using the geodatabase model. – The University of Montana, 2004. – 142 p.
30. *Cvetkov, V.Ya.* Prostranstvennaya logika v geoinformatike / V.Ya. Cvetkov // Vektor GeoNauk. – 2020. – T. 3, № 2. – S. 91-100.
31. *Gordienko, L.V.* Formirovanie topologicheskih pravil dlya opisaniya prostranstvennyh otnoshenij ob"ektov sistemy peredachi elektroenergii v geoinformacionnoj sisteme / L.V. Gordienko // Inzhenernyj vestnik Dona. – 2020. – № 12(72). – S. 442-449.
32. *Kozeeva, O.O.* Mnogokriterial'nyj analiz i vybor parametrov geoinformacionnoj modeli raspolozheniya ob"ektov i infrastruktury gorodskogo prostranstva / O.O. Kozeeva // Informaciya i kosmos. – 2022. – № 4. – S. 136-143.

Alexander Smolev, Postgraduate Student at the Department of Program Systems. E-mail: volga04j@gmail.com
Oleg Golovnin, Doctor of Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Medical Physics, Mathematics and Computer Science. E-mail: golovnin@bk.ru