

# ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА

**А.Ю. Завьялов, С.В. Максимова, Е.С. Мельцова**

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия*

**П.З. Лоренс**

*Гданьский университет технологии, Гданьск, Польша*

## Аннотация

В статье приводится описание программного инструмента, предназначенного для анализа пространственных данных с использованием BI-платформы нового поколения PROGNOZ PLATFORM (PP). Описывается структура хранилища данных, подсистемы мониторинга, моделирования, аналитики и прогнозирования. Приводится набор тестовых параметров и примеры интерфейса Информационно-аналитической системы (ИАС), построенной на основе ГИС и PROGNOZ PLATFORM (PP), показан интерфейс решения тестовой задачи оптимизации. ИАС предназначена для аналитической работы с документами территориального планирования, выполненными в картографических форматах. Функционал системы позволяет анализировать статистические и пространственные данные, принимать обоснованные решения о развитии территории и корректировать градостроительную политику. Работа выполняется при поддержке Правительства Пермского края.

**Ключевые слова:** пространственное планирование, пространственный анализ, информационные технологии в градостроительстве

## INFORMATION ANALYTICAL SYSTEM FOR COMPREHENSIVE URBAN ANALYSIS

**A. Zavialov, S. Maksimova, E. Meltsova**

*Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia*

**P.Z. Lorens**

*Gdansk University of Technology, Gdansk, Poland*

## Abstract

The paper describes the spatial data analysis tool with next generation BI-platform - PROGNOZ PLATFORM (PP), and, specifically, data warehouse structure, subsystems of monitoring, modeling, analysis, and forecasting. Presents test parameters and examples set of Interface information-analytical system (IAS), which was build up on the basis of GIS and PROGNOZ PLATFORM (PP). IAS was designed for the analytical work with territorial planning documents, executed in cartographic formats. Functionality of the system allows us to analyze spatial data, to make informed decisions about the development of the territory and realign urban policies. Work is carried out with the Government of Perm territory support.

**Keywords:** spatial planning, modeling, spatial analysis, information technologies in urban development

Социальные, экономические, экологические процессы проецируются на территорию города, вызывая деформацию закономерностей построения пространства [1]. Эти процессы мало изучаются, поэтому принятые на муниципальном уровне градостроительные решения часто оказываются непродуманными, а приоритеты в финансировании строительства объектов социальной, транспортной и инженерной инфраструктуры ошибочными. Данные, которые могли бы дать объективную картину городских процессов, собираются в соответствии с ведомственной принадлежностью и не аккумулируются для комплексной оценки развития территорий. Аналитические инструменты при выборе сценариев развития территории и прогноза их последствий не используются. Вместе с тем, достижения последнего десятилетия в области информационных технологий способствовали развитию различных методов анализа городской среды (Space matrix, Space syntax, Mixed Use Index (MXI)), в том числе в интеграции с геоинформационными системами, предназначенных для количественного описания пространственных свойств застройки, изучения ее взаимосвязи с социально-экономическими процессами [2].

Целью исследования является создание информационно-аналитической системы (ИАС), позволяющей на основе анализа статистических данных о социально-экономическом развитии города и пространственных данных ГИС о состоянии городской среды, понимать процессы, происходящие в градостроительной системе, принимать взвешенные решения о ее развитии и корректировать градостроительную политику.

Аналитический инструмент системы основан на BI-платформе нового поколения Prognoz Platform (PP), которая изначально предназначена для создания высокотехнологичных бизнес-приложений «под ключ». Prognoz Platform позволяет проводить оперативный анализ, визуализировать данные, моделировать и прогнозировать процессы, имеет собственный конструктор хранилища данных и осуществляет построение многофункциональных промышленных BI-систем [3]. Инструмент имеет большие возможности с точки зрения аналитики, но не работает с пространственными данными, соответственно не позволяет проводить комплексный градостроительный анализ.

В настоящее время существуют программные продукты для аналитической работы с пространственными данными [4]. Они были проанализированы нами по следующим критериям:

- возможность проведения анализа пространственных данных;
- наличие функционала по моделированию геопространства;
- возможность визуализации данных (представление данных в удобном для пользователя виде);
- полнота приложения (не требует установки основных или дополнительных программ);
- доступность пользователям (возможность загрузить приложение без заключения каких-либо дополнительных обязательств или соглашений);
- наличие функционала моделирования геопространства [5].

Всего было рассмотрено 12 систем [6], из которых наиболее подходящими для решения задач пространственного планирования с использованием PP являются ArcGIS, SAGA, PySAL.

Изучение достоинств и недостатков продуктов-аналогов позволило понять логику построения информационно-аналитической системы на базе PP (Рис. 1.)

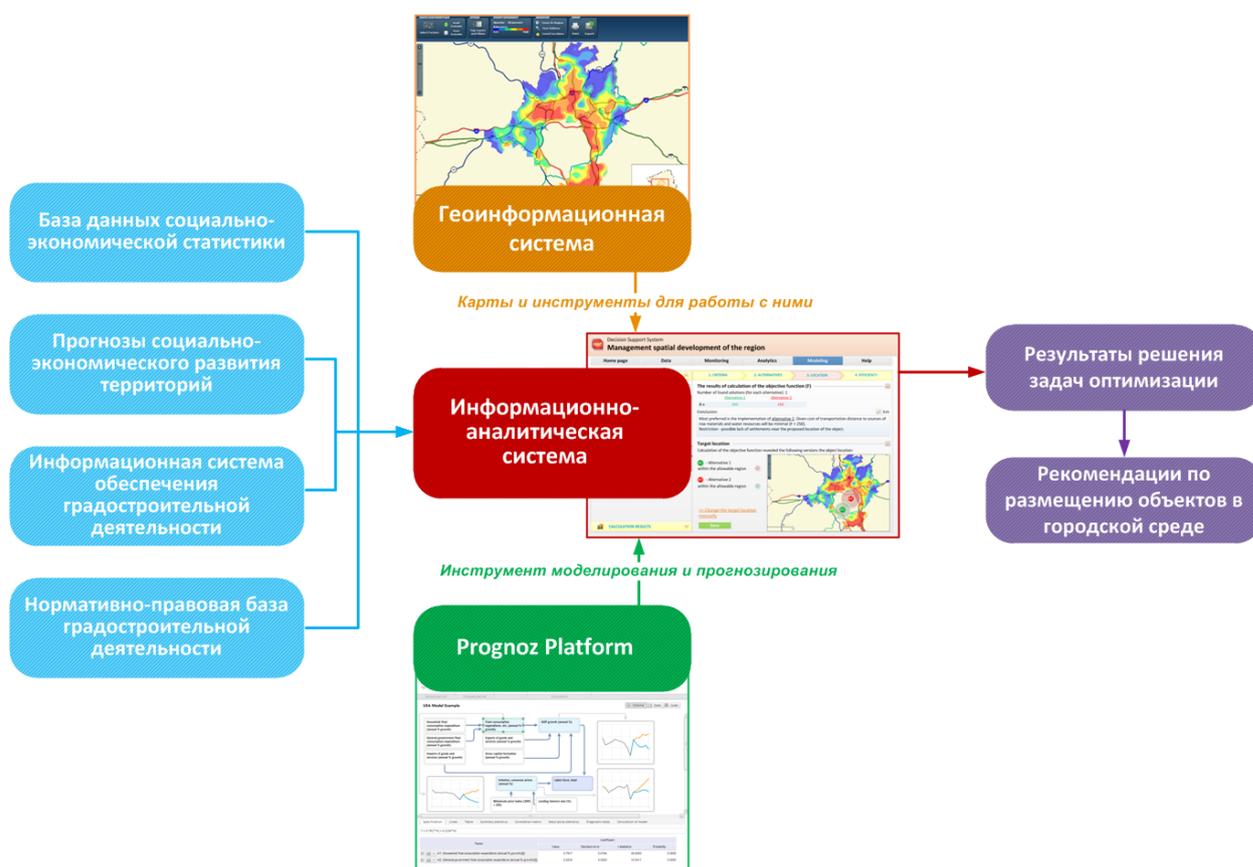


Рис. 1. Логика построения системы ИАС для проведения градостроительного анализа

Архитектура предлагаемой ИАС включает взаимосвязанные функциональные подсистемы: хранилище данных; подсистему мониторинга; подсистему моделирования; аналитическую подсистему.

Создание базы (хранилища) данных является одной из наиболее сложных и трудоемких задач в создании ИАС. Помимо данных общей социально-экономической статистики, хранилище должно включать в себя сведения Генерального плана города, Правил землепользования и застройки, санитарных правил и норм, Сводов Правил, Государственного кадастра объектов недвижимости и различную картографическую информацию (геоданные). Используемое в ИАС хранилище данных имеет средства оперативного просмотра и редактирования ретроспективной информации в табличном и графическом представлении.

Подсистема мониторинга ИАС поддерживает:

- диаграммы Ганта;
- возможности видео- и фотонаблюдения за изменениями городской среды.

Подсистема моделирования включает библиотеку эконометрических и адаптивных методов и статистических тестов:

- методы преобразования временных рядов (суммирование, вычитание, экспонента, медиана, мода, модуль, нарастающий итог, учет запаздывания, опережения, темпы роста и прироста, округление, расчет стандартного отклонения, агрегация и дезагрегация, средневзвешенное, геометрическое среднее, первое и последнее фактическое значение);

- методы анализа информации: описательная статистика; корреляционный анализ; автокорреляционные функции; тесты стационарности Дикки-Фуллера; тесты на причинность Гренжера; тесты на коинтеграцию Йохансена; тесты на единичные корни (ADF);
- методы обработки числовых рядов: сезонная декомпозиция Census II; фильтр Ходрика-Прескота;
- модели обработки временных рядов: экспоненциальное сглаживание, трендовые линейные и нелинейные модели; ARIMA; модель коррекции ошибок ECM; векторная модель коррекции ошибок;
- линейные/нелинейные регрессионные модели, в том числе регрессии на панельных данных;
- системы уравнений (одновременные регрессионные уравнения, системы нелинейных уравнений);
- методы проверки качества моделей:
  - статистические критерии, определяющие значимость каждого из включенных в модель факторов (стандартная ошибка, t-статистика, p-значение вероятности);
  - статистические критерии, характеризующие качество модели в целом (коэффициент детерминации, исправленный коэффициент детерминации, статистика Фишера, информационные критерии Акайке и Шварца и т.д.);
  - критерии качества модели: тесты на автокорреляцию (dw, годфрея), на гетероскедастичность (white), на нормальность (Жарка-Бера), на функциональную форму (Reset);
- методы оптимального управления: линейная / нелинейная оптимизация; целевое управление, симплекс метод.

Для решения задач пространственного планирования подсистема моделирования имеет встроенные средства по работе с картами, поддерживающие следующие функции:

- изменение масштаба карты;
- выбор произвольной области на карте;
- просмотр картографических слоев;
- просмотр информации об объектах на карте.

Пример интерфейса подсистемы моделирования показан на Рисунке 2.

Аналитическая подсистема ИАС поддерживает следующие инструменты и возможности:

- возможность использования матричных методов: SWOT, BCG, GE, матрицы возможностей/угроз, профиль среды и т.д.;
- формирование аналитических отчетных форм по результатам оптимизации размещения объектов на территории, анализа эффектов от изменения административно-территориального деления;
- использование в отчетных формах средств деловой графики, в т.ч.:
  - линейные диаграммы;

- столбиковые диаграммы;
  - диаграммы с областями;
  - смешанные диаграммы;
  - круговые диаграммы;
  - лепестковые диаграммы;
  - точечные диаграммы;
  - биржевые диаграммы;
  - столбиковые диаграммы с интервалами колебаний;
  - ящичные диаграммы;
  - диаграммы размаха;
  - гистограммы;
- возможность ранжирования альтернатив размещения объектов на территории, вариантов административно-территориального деления, их сравнения и анализа чувствительности;
  - возможность анализа балансов/дисбалансов (выполнения ограничений из моделирования) в разрезе территорий.

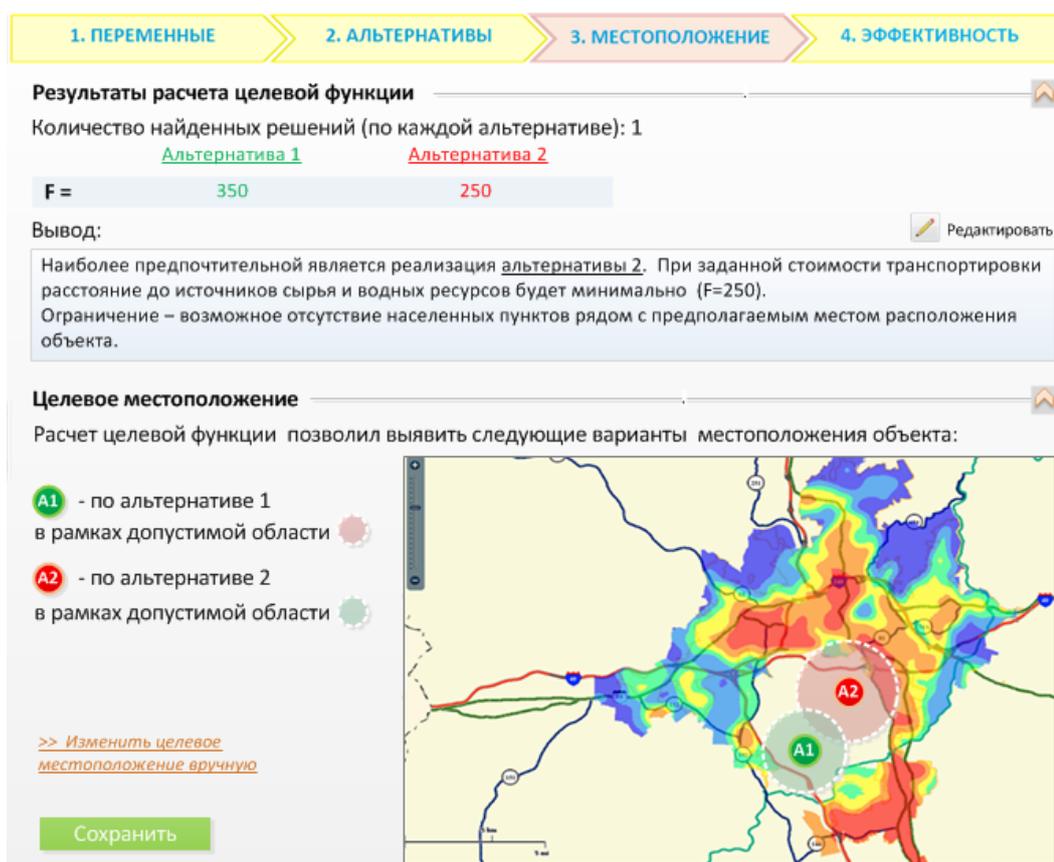


Рис. 2. Пример интерфейса подсистемы моделирования

Структура программного комплекса ИАС и входящие в ее состав инструменты позволяют решать комплексные задачи территориального планирования следующих типов:

- оценка сценариев развития территории при различных параметрах застройки (например, при изменении функционального назначения земельного участка или территориальной подзоны в целом);
- оценка экологических рисков строительства крупных многонаселенных жилых комплексов, промышленных предприятий и узлов;

- анализ эффектов от изменения этажности застройки, размещения новых транспортно-пересадочных узлов, нового строительства на свободных земельных участках и при уплотнении застройки;
- оптимизация размещения объектов жилого, социального назначения с учетом параметров существующей застройки при условии соблюдения действующих правил землепользования и застройки, санитарных правил и строительных норм;
- анализ текущих и перспективных потребностей развития инфраструктуры, ресурсного обеспечения и т.д.;
- оценка социально-экономического эффекта от реализации проектов;
- выработка рекомендаций по размещению объектов социальной сферы с учетом текущих и будущих потребностей;
- выбор территории для реализации инвестиционных проектов (оценка альтернатив).

### **Апробация ИАС**

В настоящее время разработка ИАС находится на стадии решения тестовых задач и формирования хранилища данных, что является трудоемким и длительным процессом. Для создания прототипа ИАС изучена типология и проведена классификация объектов моделирования, что позволило определить перечень необходимых расчетных и индикативных показателей для различных задач: оптимизация размещения новой жилой застройки, выбор места строительства транспортно-пересадочного узла и т.д. От характера задачи зависит количество параметров и целевых функций, используемых для анализа.

Общий алгоритм решения тестовых задач включает следующие шаги:

- определение расчетных параметров и целевых функций задачи;
- формирование исходных числовых данных (расчетных параметров);
- ввод базу данных предельных значений расчетных параметров, установленных федеральными и муниципальными нормативными требованиями;
- формирование базы картографической информации из Генерального плана в формате ARCGIS;
- используем ИАС для решения тестовой задачи.

В условиях тестовой задачи оптимизации размещения социальных объектов на территории города проанализированы существующие стандарты предоставления социальных услуг в Перми с целью определения необходимости установления тех или иных ограничений. Набор ключевых параметров для прогноза целевых функций, характеризующих градостроительную ситуацию и используемых для верификации модели, включает [7]: численность и размер домохозяйств (чел), количество школьников и дошкольников (% от численности населения), расчетную жилищную обеспеченность, FAR (отношение жилой площади к площади земельного участка), планировочный коэффициент (отношение жилой площади к общей площади), доля застройки участка (%), объем водопотребления литр/чел/день, этажность застройки и другие показатели.

Эти параметры были внесены в базу данных ИАС из материалов Генерального плана, Правил землепользования и застройки (ПЗЗ), СП 42-13330.2011 «Градостроительство Планировка и застройка городских и сельских поселений», Местные нормативы

градостроительного проектирования Перми (МНГП) или вычислены на основе расчетных формул (Табл.1).

Таблица 1. Общие градостроительные и демографические параметры застройки и методы их определения для включения в базу данных ИАС

<b>Наименование параметра</b>	<b>Метод определения значений параметра</b>
Коэффициент населения школьного возраста	Установлено МНГП
Минимальная наполняемость муниципальных общеобразовательных школ, принимаемая при планировании	Установлено МНГП
Выбытие жилищного фонда	Вычисление
Нормальный дефицит – доля превышения численности учащихся емкости учреждения	Установлено МНГП
Естественный прирост населения	Вычисление на основе статистических данных
Общий объем жилищного фонда на начало года	Первый этап периода планирования - статистические данные, последующие этапы - вычисление
Общий объем жилищного фонда на начало предыдущего года	Вычисление на основе статистических данных
Доля жилья в общем объеме нового строительства	Первый этап периода планирования - статистические данные, последующие этапы - экспертные значения
Доля детей посещающих школы за пределами района обслуживания	Первый этап периода планирования - статистические данные, последующие этапы - экспертные значения
Доля жилья в общем объеме на начало предыдущего года строительства	Первый этап периода планирования - статистические данные, последующие этапы - экспертные значения
Доля детей не посещающих школы	Первый этап периода планирования - статистические данные, последующие этапы - экспертные значения
Доля детей посещающих частные школы	Первый этап периода планирования - статистические данные, последующие этапы - экспертные значения
Общее число умерших в предыдущем году	Первый этап периода планирования - статистические данные, последующие этапы - вычисление
Число умерших в предыдущем году на 1000 человек населения	Первый этап периода планирования - статистические данные, последующие этапы - экспертные значения

<b>Наименование параметра</b>	<b>Метод определения значений параметра</b>
Максимальный объем застройки в пределах территории	Установлено параметрами, возможна экспертная поправка
Общее число родившихся в предыдущем году	Первый этап периода планирования - статистические данные, последующие этапы - вычисление
Число родившихся в предыдущем году на 1000 человек населения	Первый этап периода планирования - статистические данные, последующие этапы - экспертные значения
Новое строительство	Вычисление
Темпы нового строительства	Экспертные значения
Нормальный профицит – доля превышения емкости учреждения численности учащихся	Установлено МНГП
Общая численность населения на начало года	Вычисление на основе статистических данных
Общая численность населения на начало предыдущего года	Первый этап периода планирования - статистические данные, последующие этапы - вычисление
Общий прирост населения	Вычисление на основе статистических данных
Население школьного возраста	Вычисление на основе статистических данных
Численность населения школьного возраста посещающего муниципальные учреждения	Вычисление на основе статистических данных
Количество школ	Вычисление на основе статистических данных
Темп заселения нового жилищного фонда	Экспертные значения
Наполняемость (емкость) школьной сети	Первый этап периода планирования - статистические данные, последующие этапы - вычисление
Число убывших в предыдущем году	Вычисление на основе статистических данных
Число прибывших в предыдущем году	Вычисление на основе статистических данных
Численность убывшего населения в результате выбытия жилищного фонда	Статистические данные
Миграционное сальдо	Вычисление на основе статистических данных

Целевые функции определялись с помощью расчетных формул на прогнозный период (лет). В модельной задаче использовались такие целевые функции, как прогнозное увеличение численности населения, школьников и дошкольников, требуемые площади земельных участков, водо- и энергопотребление объектов.

Результат решения тестовой оптимизационной задачи по размещению школы на застроенной территории при ограничениях по инженерной инфраструктуре в картографическом виде показан на Рисунке 3.

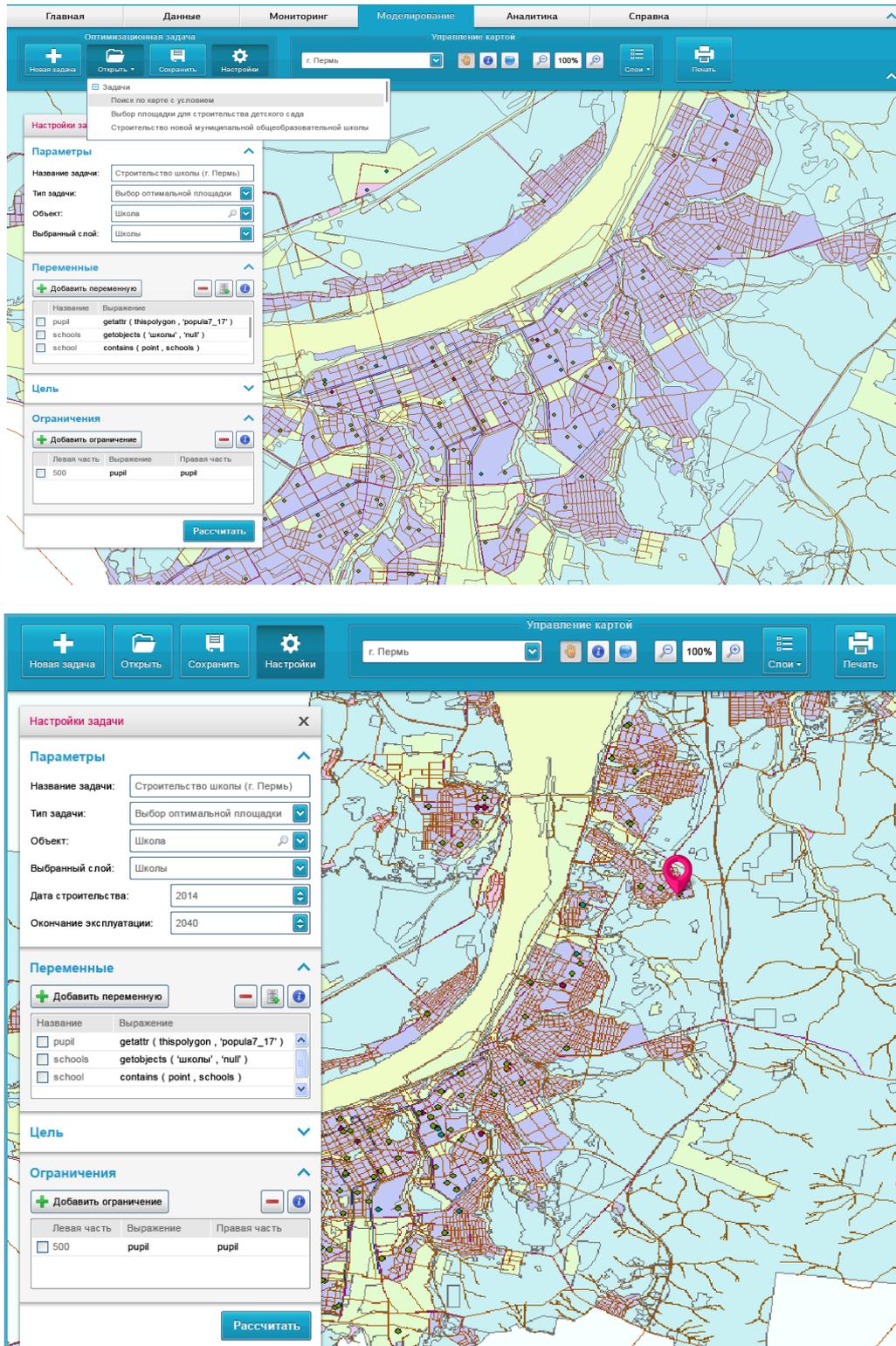


Рис. 3. Интерфейс решения тестовой задачи

Практика научно-обоснованного планирования города, несмотря на обилие обязательной документации, по-прежнему находится на уровне середины прошлого века. Проверенные инструменты планирования, соответствующие динамично меняющейся системе современного города, отсутствуют. Компьютерное моделирование используется в основном при решении острых транспортных проблем в крупных городах и недостижимо для большинства остальных муниципальных образований.

Вместе с тем, в каждом муниципальном образовании органами власти ведется ИСОГД, которая в перспективе может обеспечить информационную поддержку множества разнообразных процессов жизнеобеспечения и развития города.

Материалы Генеральных планов городов в картографическом формате, как неотъемлемая часть ИСОГД, являются хорошей и, главное, доступной базой для создания комплексной интегрированной платформы научного планирования развития города. Созданные в формате ArcGIS, картографические материалы Генеральных планов, ПЗЗ и МНГП, при наличии аналитического инструмента, которым является РР, могут использоваться для пространственного анализа, оценки рисков освоения территории, технико-экономической оценки принимаемых решений и множества других актуальных задач.

Вопросу комплексного рассмотрения опыта проектирования предприятий пищевой промышленности на территории юга РФ не уделялось должного внимания на протяжении нескольких десятилетий. За этот период в стране произошли перемены, оказавшие влияние на все сферы жизни, в том числе и архитектуру. В России, как и за рубежом, под влиянием новых факторов, таких как социальные инновации, постепенно изменился вектор развития архитектуры отрасли. Предприятия по производству продовольственных товаров сегодня не только занимают одно из основных мест в сфере создания материальных благ, но рассматриваются как элемент культуры производства и потребления, улучшения качества жизни, произведения авторской архитектуры.

## Литература

1. Трухачев, Ю. Н. Общая теория градостроительных систем (методологическая концепция) / Ю. Н. Трухачев. – Ростов-на Дону : Ростовская государственная академия архитектуры и искусства, 2006. – 120 с.
2. Ye, Y. Quantitative tools and urban morphology: combining space syntax, spacematrix and mixed-use index in GIS framework / Y. Ye, A. Van Nes // *Urban morphology*, 2014. – V. 18, – № 2. – С. 97-118.
3. Prognoz Platform — отечественная платформа для развития бизнеса // Официальный сайт ЗАО «Прогноз» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.prognoz.ru/publications/8690>
4. Maguire David, J. GIS, Spatial Analysis, and Modeling / J. D. Maguire, M. F. Goodchild, M. Batty // ESRI Press. – С. 1-18.
5. Montrone, S. Statistical methods for spatial planning and monitoring (contributions to statistics) / S. Montrone, P. Perchinunno // Springer, 2012. – 158 с.
6. Vancutsem, D. Information-Analytical System for Managing Cities of Perm Region Spatial Development Proceeding / D. Vancutsem, S. V. Maksimova, A.Y. Zavalov, K. O. Mezenina, P. S. Mikushin // 19th international conference on urban planning, regional development and information society «Plan it smart clever solutions for smart cities», Vienna, 21-23 may,

2014 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.corp.at/archive/CORP2014\\_70.pdf](http://www.corp.at/archive/CORP2014_70.pdf)

7. Головин А.В. Моделирование для принятия решений при градостроительном проектировании на примере сети муниципальных образовательных учреждений / А. В. Головин // Вестник Пермского национального политехнического исследовательского университета. Урбанистика, 2013. – № 2 (10). – С. 6-31.

## References

1. Truchachiov, Y.N. *Obshhaja teorija gradostroitel'nyh sistem (metodologicheskaja koncepcija)* [Obshhaia teoriya gradostroitel'nych system (metodologicheskaya koncepciya)]. Rostov-na-Donu, 2006, 120 p.
2. Ye, Y. Van Nes, A. Quantitative tools and urban morphology: combining space syntax, spacematrix and mixed-use index in GIS framework. *Urban morphology*, 2014, v.18, no. 2, 97-118 pp.
3. *Prognoz Platform — otechestvennaja platforma dlja razvitija biznesa* [Prognoz Platform - the local platform for business growth]. Official site of JSC PROGNOZ. Available at: <http://www.prognoz.ru/publications/8690>
4. Maguire, D.J. Goodchild, M.F. Batty, M. GIS, Spatial Analysis, and Modeling. ESRI Press, 1-18 pp.
5. Montrone, S. Perchinunno, P. Statistical methods for spatial planning and monitoring (contributions to statistics). Springer, 2012, 158 p.
6. Vancutsem, D. Maksimova, S. Zavialov, A. Mezenina, K. Mikushin, P. Information-Analytical System for Managing Cities of Perm Region Spatial Development Proceeding. 19th international conference on urban planning, regional development and information society «Plan it smart clever solutions for smart cities», Vienna, 21-23 may, 2014. Available at: [http://www.corp.at/archive/CORP2014\\_70.pdf](http://www.corp.at/archive/CORP2014_70.pdf)
7. Golovin, A. *Modelirovanie dlja prinjatija reshenij pri gradostroitel'nom proektirovanii na primere seti municipal'nyh obrazovatel'nyh uchrezhdenij* [Modeling for decision-making in urban planning at the example of the network of municipal educational institutions]. Bulletin of the Perm national research polytechnic university. Urbanity, 2013, no. 2 (10), 6-31 pp.

## ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

### **Завьялов Алексей Юрьевич**

Ассистент кафедры «Архитектура и урбанистика», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия  
e-mail: [gradcenter@mail.ru](mailto:gradcenter@mail.ru)

### **Максимова Светлана Валентиновна**

Доктор технических наук, Советник РААСН, Профессор кафедры «Архитектура и Урбанистика», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия  
e-mail: [gradcenter@mail.ru](mailto:gradcenter@mail.ru)

**Мельцова Екатерина Сергеевна**

Аспирант кафедры «Архитектура и урбанистика», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия  
e-mail: [meltsova@gmail.com](mailto:meltsova@gmail.com)

**Лоренс Пиотр Збигнев**

Доктор архитектуры, Профессор кафедры «Градостроительство и региональное планирование», Гданьский университет технологии, Гданьск, Польша  
e-mail: [plorens@pg.gda.pl](mailto:plorens@pg.gda.pl)

**DATA ABOUT THE AUTHORS****Zavialov Alexey**

Teaching assistant, chair «Architecture and Urbanism», Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia  
e-mail: [gradcenter@mail.ru](mailto:gradcenter@mail.ru)

**Maksimova Svetlana**

Doctor of technical Sciences, Advisor of RAAS, Professor, Head of Department «Architecture and Urbanism», Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia  
e-mail: [gradcenter@mail.ru](mailto:gradcenter@mail.ru)

**Meltsova Ekaterina**

Postgraduate student, chair «Architecture and Urbanism», Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia  
e-mail: [meltsova@gmail.com](mailto:meltsova@gmail.com)

**Lorens Piotr Zbigniew**

Doctor of architecture, PhD, Professor, Head of the Department «Urban and Regional Planning», Gdansk University of Technology, Gdansk, Poland  
e-mail: [plorens@pg.gda.pl](mailto:plorens@pg.gda.pl)