



**Двадцать четвертая международная конференция «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА»**

д.т.н. А.Н. Григорьев; Д.С. Дементьев; А.А. Строганов

**Нейросетевая каскадная система глубокого анализа застройки территории по
оптико-электронным снимкам земной поверхности**





Актуальность и постановка задачи

Контроль соответствия объектов застройки требованиям градостроительного законодательства традиционно основан на выездных проверках и ручном сопоставлении снимков с кадастровыми планами.

С ростом контролируемых территорий и объёмов доступных данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) такой подход не обеспечивает регулярного и полного охвата.

Предлагаемый метод формализует контроль как каскад автоматизированных проверок — от обнаружения объекта до оценки его пространственного и функционального соответствия требованиям.



Ограниченность ресурсов

Штат инспекторов не масштабируется пропорционально площади контролируемых территорий



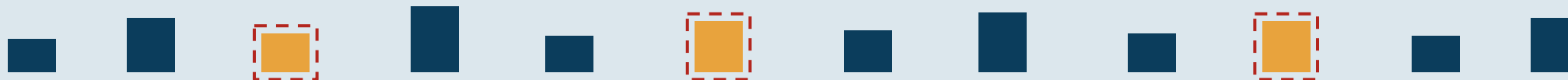
Низкая регулярность

Ручной анализ не позволяет проводить проверку на регулярной, повторяемой основе



Субъективность оценки

Результат проверки зависит от квалификации и внимательности конкретного специалиста



Схематичное представление контролируемой территории (выделены объекты, требующие проверки)



Архитектура метода: пятиэтапный каскад



Результаты каждого этапа используются для последующей проверки — кандидаты, не прошедшие фильтрацию, исключаются из дальнейшего рассмотрения.

Реализация: детектор YOLO11 → детерминированный геофильтр → визуально-языковая модель (Qwen-VL)



1 Детектирование и локализация объектов

Нейросетевая модель обнаруживает на спутниковом изображении объекты застройки и определяет их пространственные границы — формируется первичное множество кандидатов.

Формализация

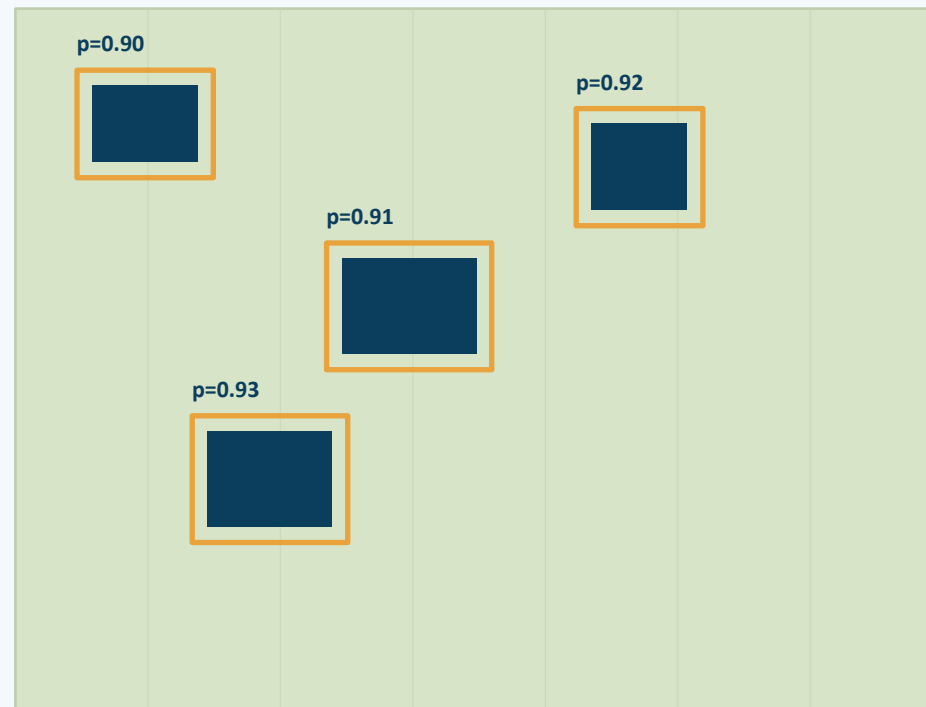
I — растровое изображение ($H \times W \times 3$)

f_1 — детектор объектов (YOLO11)

$f_1(I) = D_0 = \{(b_i, c_i, p_i)\}, i = 1 \dots N_0$

$b_i = (x_i, y_i, w_i, h_i)$ — рамка объекта i

$\Omega_1 = \{i \in D_0 : p_i \geq \tau_p\}$



Иллюстративная схема: обнаружение объектов на снимке



2 Геопространственная проверка

Положение и геометрические характеристики обнаруженных объектов сопоставляются с границами земельных участков и нормативными пространственными ограничениями.

Формализация

φ_2 — геопространственный фильтр

$G: (x, y) \rightarrow (\text{lat}, \text{lon})$ — геопривязка

$O_i = G(b_i)$; $P = \{P_j\}$ — участки (ЕГРН)

$e_i = 1[|O_i \cap P_j| / |O_i| \geq \theta \text{in}]$, $s_i = 1[\text{dist}(\partial O_i, \partial P_j) \geq \delta \text{min}]$

$\varphi_2(\Omega_1) = \Omega_2 = \{i \in \Omega_1: e_i = 1\}$; $v_{\text{geo}i} = 1 - s_i$



O_i — объект



объект соответствует требованиям



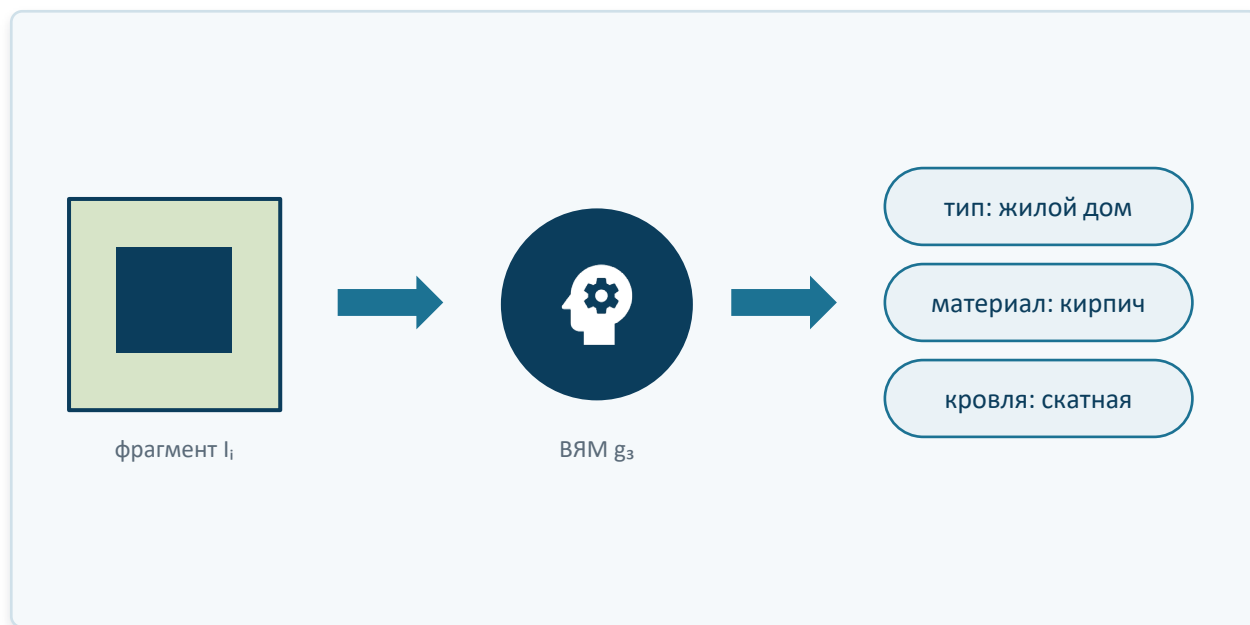
нарушение отступа — объект слишком близко к границе участка

Иллюстративная схема: участок, объект, отступ



3 Визуально-семантический анализ

Для объектов, прошедших пространственную фильтрацию, визуально-языковая модель определяет тип объекта и анализирует его характерные признаки.



Иллюстративная схема: анализ фрагмента изображения

Формализация

g_3 — визуально-языковая модель (Qwen-VL)

$I_i = \text{Crop}(I, b_i)$ — фрагмент объекта i

$g_3(I_i, \text{prompt}) \rightarrow (\tau_i, a_i, q_i), i \in \Omega_2$

$\tau_i \in T$ — тип объекта

a_i — визуальные признаки; q_i — уверенность



4 Проверка функционального соответствия

Полученная классификация сопоставляется с разрешённым использованием земельного участка и иными нормативными ограничениями.

Формализация

h_4 — проверка функционального соответствия

$ВРИ(P_j)$ — вид разрешённого использования

$M: T \times U \rightarrow \{0,1\}$ — матрица соответствия

$match_i = M(\tau_i, ВРИ(parcel(i)))$

$v_{func_i} = 1 - match_i$

вид разрешённого использования (ВРИ)

	ИЖС	СХ	Обществ.
Жилой дом			
Гараж			
Теплица			

Иллюстративный пример матрицы соответствия



5 Формирование результата

Система формирует перечень объектов, для которых выявлены потенциальные несоответствия нормативным требованиям, с указанием типа, положения и характера несоответствия.

Формализация

h_5 — формирование результата

$R = \{(i, \tau_i, O_i, viol_i) : i \in \Omega_2,$

$v_{geo_i} = 1 \vee v_{func_i} = 1\}$

$viol_i \in \{\text{пространств.}, \text{функц.}, \text{комбинир.}\}$

Выход: слой ГИС / структурированный список



Гараж

положение: 56.12°, 37.84°

пространственное



Теплица

положение: 56.13°, 37.85°

функциональное



Пристройка

положение: 56.11°, 37.83°

комбинированное

Схема выходного отчёта



Формальная запись каскада

$$\Lambda(I) =$$

$$h_5 \circ h_4 \circ g_3 \circ \varphi_2 \circ f_1 (I) \rightarrow R$$

(композиция пяти этапов каскада)

$$\Omega_2 \subseteq \Omega_1 \subseteq D_0$$

$$|\Omega_2| \leq |\Omega_1| \leq |D_0|$$

Каждый последующий этап работает только с кандидатами, прошедшими предыдущую фильтрацию. Множество кандидатов монотонно сокращается, а итоговое решение формируется как совместный результат независимых проверок.





Эффективность метода: автоматизация контроля



Ручной контроль

- ✗ Точечные проверки, ограниченные ресурсом инспекторов
- ✗ Не масштабируется на большие территории
- ✗ Нерегулярный, эпизодический контроль
- ✗ Результат зависит от квалификации специалиста



Автоматизированный каскад

- ✓ Систематическая обработка территории по данным ДЗЗ
- ✓ Масштабируется без пропорционального роста трудозатрат
- ✓ Позволяет проводить регулярный (периодический) мониторинг
- ✓ Детерминированные геопроверки + стандартизированная классификация

Каскадная фильтрация снижает долю ложных срабатываний



$$\varepsilon_{\text{каскад}} \approx \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \cdot \varepsilon_4 \ll \varepsilon_k \text{ (для отдельного этапа } k\text{)}$$

Решение формируется как пересечение независимых проверок (геометрической, семантической, функциональной) — до эксперта доходит существенно более узкий и точный список кандидатов, чем при использовании единственного классификатора. Это структурное свойство каскадной архитектуры, а не результат отдельного измерения.



ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- ✓ Формализован пятиэтапный каскад, совмещающий детектирование, геопроостранственную проверку, визуально-семантический анализ и проверку функционального соответствия
- ✓ Метод обеспечивает автоматизацию контроля застройки по данным ДЗЗ, ранее выполнявшегося вручную
- ✓ Каскадная архитектура структурно снижает долю ложных срабатываний, концентрируя внимание эксперта на содержательных кандидатах

ДАЛЬНЕЙШАЯ РАБОТА

- ⚡ Экспериментальная валидация каскада на пилотных территориях
- ⚡ Количественная оценка точности (precision / recall) по этапам
- ⚡ Расширение таксономии типов объектов Т и матрицы функционального соответствия