

# Тезаурус и Онтология Предметной Области «Анализ Изображений»

И.Б.Гуревич, Ю.О.Трусова

*Учреждение Российской Академии Наук Вычислительный Центр им. А.А. Дородницына РАН,  
ул. Вавилова, д.40, г. Москва, 119333, Российская Федерация*

igourevi@ccas.ru, ytrusova@ccas.ru

***Аннотация.** Данная работа посвящена разработке и исследованию средств представления знаний в предметной области «Анализ и оценивание информации, представленной в виде изображений». В качестве средств формального описания предметной области рассматриваются тезаурус и онтология. Описываются базовая версия тезауруса по анализу изображений и экспериментальная версия онтологии анализа изображений. Рассматривается методология использования тезауруса и онтологии при решении прикладных задач анализа изображений.*

## Ключевые слова

Анализ изображений, тезаурусы, онтологии, OWL

## 1 Введение

Изображения являются одним из основных средств представления информации в научных исследованиях, медицине, экологии, химии, технике, военном деле, исследовании природных ресурсов, дистанционном зондировании поверхности Земли из атмосферы и космоса, навигации и обеспечении безопасности и предотвращении террористических актов. Для повышения эффективности процессов принятия решений на основе информации, представленной в виде изображений, необходимо разработать соответствующие информационные технологии и инструментальные средства для их реализации и поддержки.

Данная работа посвящена разработке и исследованию средств представления знаний в предметной области «Анализ и оценивание информации, представленной в виде изображений». Эти средства требуются для создания информационных технологий и поддерживающих их алгоритмическо-программных комплексов для автоматизации извлечения из изображений информации, используемой при принятии интеллектуальных решений. Необходимыми предпосылками указанной автоматизации являются систематизация, структуризация и формализация знаний в области обработки, анализа и распознавания изображений. В качестве средства формализации выбрано построение онтологии предметной области.

В качестве основных разделов рассматриваемой предметной области обычно выделяют обработку, анализ, распознавание и понимание изображений, причем для ее определения обычно используется обобщенный термин «Анализ изображений». Построение полной и детальной онтологии такой плохо структурированной и динамично развивающейся области знания как анализ изображений является очень трудоемкой задачей и включает несколько этапов. В данной работе создание онтологии анализа изображений было решено начать с

разработки специализированного тезауруса, который также является одним из способов представления и накопления знаний о предметной области.

Доклад имеет следующую структуру. Раздел 2 посвящен описанию тезаурусного представления предметной области «Анализ изображений». Приводится общая характеристика базовой версии тезауруса по анализу изображений – тематические разделы, категории терминов, пример словарной статьи. В разделе 3 рассматривается и обосновывается структура экспериментальной версии онтологии анализа изображений. Приводится перечень основных классов онтологии и их свойств. В разделе 4 описывается методология использования тезауруса и онтологии при решении прикладных задач анализа изображений. Эффективность предложенного подхода продемонстрирована на примере решения практической задачи автоматизации анализа микроскопических изображений клеток крови с целью извлечения из них информации, необходимой для ранней диагностики опухолевых заболеваний.

## 2 Тезаурус по анализу изображений

Анализ изображений является чрезвычайно быстро развивающимся разделом информатики, в связи с чем его понятийная структура динамично изменяется. С другой стороны, эффективность исследований в области анализа изображений и решения прикладных задач анализа изображений в существенной степени зависят от стандартизации и формализации используемых описаний как собственно изображений, так и описаний методов их обработки, анализа и распознавания. Тезаурусное представление области анализа изображений можно использовать в качестве инструмента указанных стандартизации и формализации, а также для обеспечения доступа квалифицированным и неквалифицированным пользователям, решающим задачи анализа изображений, к знаниям по анализу изображений

Базовая версия тезауруса по анализу изображений (ТАИ) [3] отражает современное состояние области обработки, анализа и распознавания изображений, содержит 939 словарных статей и оформлена в соответствии с существующими российскими и международными стандартами. Дескрипторы ТАИ представлены на английском языке с указанием русскоязычных эквивалентов. Большая часть дескрипторов снабжена определениями понятий (на английском языке) со ссылкой на источник.

Базовая версия ТАИ включает 7 тематических разделов:

- раздел «IMAGE» («Изображение»), внутри которого термины разбиты на следующие функциональные категории: *image types* (виды изображений), *image parts* (части изображения), *image description elements* (элементы описания изображений);
- раздел «IMAGE PROCESSING» («Обработка изображений»), внутри которого термины разбиты на следующие функциональные категории: *approaches* (подходы), *tasks* (задачи), *methods* (методы), *operators* (операторы);
- раздел «IMAGE ANALYSIS» («Анализ изображений»), внутри которого термины разбиты на следующие функциональные категории: *approaches* (подходы), *tasks* (задачи), *methods* (методы), *operators* (операторы);
- раздел «IMAGE RECOGNITION» («Распознавание изображений»), внутри которого термины разбиты на следующие функциональные категории: *basic notions* (основные понятия), *approaches* (подходы), *tasks* (задачи), *methods* (методы);
- раздел «PATTERN RECOGNITION» («Распознавание образов»), внутри которого термины разбиты на следующие функциональные категории: *basic notions* (основные понятия), *approaches* (подходы), *tasks* (задачи), *methods* (методы);
- раздел «APPLIED PROBLEMS» («Прикладные задачи»);
- раздел «MATHEMATICS» («Математический аппарат»).

В ТАИ зафиксированы следующие виды связей между терминами: эквивалентная связь (аббревиатуры и общепринятые сокращения, английские и американские варианты написания терминов, краткие формы терминов), иерархическая связь (отношения типа «род-вид» и «часть-целое») и ассоциативная связь.

Пример словарной статьи приведен на рис. 1.

<b>global operator</b>	
RUS	глобальный оператор (изображений)
UF	global image operator global image transform operator global transform global transform operator
SEC	IMAGE PROCESSING
DEF	Global operators are a class of image processing operators, defined by functional dependencies of image values $h(p)$ upon image values in (potentially) any point position of input image $f$ . Here, for an image point $p$ it is not possible to specify a priori a local neighborhood in $f$ such that $h(p)$ depends only upon this neighborhood. In principle, any position in image $f$ can contribute to any position in image $h$ under certain conditions. Typical representatives of this operator class are Fourier and Walsh transformation. Geometrical constructions such as image representations of Voronoi diagrams by means of a gray-value image $h$ , based on point patterns in $f$ , are also global operators [Klette, 1996]
	Global transform: A general term describing an operator that transforms an image into some other space. Sample global transforms include the discrete cosine transform, the Fourier transform, the Haar transform, the Hadamard transform, the Hartley transform, histograms, the Hough transform, the Karhunen-Loeve transform, the Radon transform, and the wavelet transform [Fisher, 2005]
BTG	image processing operator
RT	cosine transform Fourier transform Haar transform Hadamard transform Hartley transform Hough transform Karhunen-Loeve transform local operator point operator

**Рис.1.** Словарная статья дескриптора «global operator».

ТАИ предназначен для решения следующих задач: 1) классификация и унификация понятий предметной области; 2) классификация методов и задач обработки, анализа, понимания и распознавания изображений; 3) построение описаний методов и задач обработки, анализа, понимания и распознавания изображений в базах знаний для поддержки анализа изображений; 4) автоматизация информационного поиска в базах знаний для поддержки анализа изображений; 5) классификация, индексирование и поиск библиографической и справочной информации по данной тематике; 6) автоматизация обучения в области обработки, анализа и распознавания изображений.

### 3 Онтология анализа изображений

Описанный в предыдущем разделе тезаурус по анализу изображений был использован в качестве основы при построении экспериментальной версии онтологии анализа изображений (ОАИ) [5], которая необходима для того, чтобы: 1) выработать и зафиксировать общее понимание рассматриваемой области знания; 2) представить знания в виде, удобном для их обработки автоматизированными системами анализа изображений; 3) обеспечить возможность получения и накопления новых знаний, а также возможность многократного использования знаний.

ОАИ условно состоит из двух частей: онтологии *задач*, возникающих при работе с изображениями, и онтологии *методов* решения этих задач.

Введем определения основных понятий, которые будут использоваться далее.

Задачи, связанные с обработкой и анализом изображений, как правило, характеризуются конечной целью, которую необходимо достичь, входными данными и требованиями к результату. Формально определение понятия «задача» выглядит следующим образом.

**Определение 1.** Задача  $T(G_T, I_T, R_T, C_T)$  определяется целью  $G_T$ , входными данными  $I_T$ , набором требований  $R_T$  и контекстом  $C_T$ , где цель  $G_T$  - искомый результат решения задачи;  $I_T$  – описание входных данных;  $R_T$  - требования к конечному результату; контекст  $C_T$  - любая информация полезная для решения задачи.

Как правило, для решения одной и той же задачи могут быть использованы разные методы.

Определение 2. *Метод* – алгоритмическая процедура, набор алгоритмических процедур или алгоритмическая схема, обладающие следующими свойствами: областью применимости - перечнем задач, которые данный метод, позволяет решить; входными и выходными данными; набором подзадач, решение которых необходимо для реализации данного метода (составной метод), или некоторым *оператором* (простым или составным) (простой метод).

Множество  $\{M_T\}$  – множество методов решения задачи  $T(G_T, I_T, R_T, C_T)$ , если  $M_T: (I_T, R_T, C_T) \Rightarrow G_T$ , где *цель*  $G_T$  - искомый результат решения задачи;  $I_T$  – описание входных данных;  $R_T$  - требования к конечному результату; *контекст*  $C_T$  - любая информация полезная для решения задачи.

Для представления ОАИ был выбран язык описания онтологий OWL (Ontology Web Language). OWL-онтология состоит из следующих компонентов: классы, свойства классов и индивиды (представители классов или свойств).

В соответствии с определением 1 был введен один из основных классов ОАИ - класс **Task** (Задача), который описывает задачи, возникающие при работе с изображениями. Данный класс имеет следующие свойства:

- свойство *goal* (цель), значением которого является символьная строка, например, «улучшение контраста изображения»;
- свойство *hasSubtask* (подзадача), значением которого являются один или несколько элементов класса Task (задача);
- свойство *hasInput* (входные данные), значением которого являются элементы класса Data (Данные);
- свойство *hasContext* (контекст), значением которого являются элементы класса Context (Контекст).
- свойство *hasRequirements* (требования), значением которого являются элементы класса Requirements);
- свойство *isSolvedBy* (решается с помощью), значением которого являются элементы класса Method.

На основе информации, зафиксированной в ТАИ, были определены и исследованы следующие подклассы класса Data:

- класс Image (изображение), подклассами которого являются, например, класс BinaryImage (бинарное изображение), класс ColorImage (цветное изображение) и т.д.;
- класс ImagePart (часть изображения), подклассами которого являются, например, класс Region (область на изображении), класс Edge (яркостный переход), класс Background (фон) и т.д.

Для описания изображения и его частей определен класс Descriptor (Дескриптор), подклассами которого являются следующие классы:

- класс ImageDescriptor, подклассами которого являются, например, класс ImageFormat (формат изображения), класс ColorModel и т.д.;
- класс ImagePartDescriptor, подклассами которого являются, например, класс EdgeDescriptor (дескриптор яркостного перехода), класс RegionDescriptor (дескриптор области) и т.д.;
- класс ImageModel (модель изображения), подклассами которого являются, например, класс StructuralModel (структурная модель), класс GeometricalModel (геометрическая модель) и т.д.

Исходя из специфики рассматриваемой предметной области соответствующий класс Context (контекст) включает следующие подклассы:

- класс AcquisitionContext – контекст, связанный с получением изображения, например, тип и расположение камеры, дата получения и т.д.;
- класс ApplicationContext – контекст, описывающий прикладную область, к которой относится решаемая задача, например, биология, медицина и т.д.;
- класс FunctionalContext – контекст, описывающий область применения результатов решения задачи, например, диагностика в случае медицинской задачи;
- класс ObjectFeaturesContext – контекст, связанный с описанием объектов на изображении, например, геометрические характеристики объектов, их расположение и т.д.;
- класс PhysicalContext – контекст, описывающий технические характеристики изображения, например, его формат, качество и т.д.;

- класс `ProblemTypesContext` – контекст, описывающий тип задачи, например, анализ, обработка, распознавание, понимание или приведение к виду, удобному для распознавания.

Класс `Requirements` (требования) содержит 2 подкласса:

- класс `PerformanceCriteria`, который, в свою очередь, включает следующие 2 подкласса: класс `AlgorithmPerformanceRequirements` (требования к алгоритму, например, точность вычислений, вычислительная сложность и т.д.) и класс `TechnicalRequirements` (технические требования, например, характеристики процессора, тип платформы и т.д.);
- класс `QualityRequirements`, который описывает требования к качеству искомого результата.

На основе зафиксированного в ТАИ перечня задач, возникающих при работе с изображениями, были определены следующие подклассы класса `Task`:

- класс `CompressionTask` (задача сжатия);
- класс `DetectionTask` (задача обнаружения), подклассами которого являются, например, класс `EdgeDetection` (обнаружение яркостных переходов), класс `CornerDetection` (обнаружение углов) и т.д.;
- класс `EnhancementTask` (задача улучшения качества), подклассами которого являются, например, класс `ContrastEnhancement` (улучшение яркостных переходов), класс `ColorEnhancement` (улучшение цветов) и т.д.;
- класс `RestorationTask` (задача восстановления), подклассами которого являются, например, класс `ImageDenoising` (подавление шума), класс `GeometricCorrection` (коррекция геометрических искажений) и т.д.;
- класс `SegmentationTask` (задача сегментации).

Следует отметить, что предлагаемый набор подклассов класса `Task` является экспериментальным и неполным и будет меняться в ходе дальнейшего развития ОАИ.

Аналогично в соответствии с определением 2 был введен класс **Method** (Метод), который описывает существующие алгоритмы обработки, анализа и распознавания изображений. Данный класс имеет следующие основные свойства :

- свойство *solves* (решает), значением которого являются один или несколько элементов класса `Task` (Задача);
- свойство *usesContext* (использует контекст), значением которого являются элементы класса `Context` (Контекст);
- свойство *hasInput* (входные данные), значением которого являются элементы класса `Data` (Данные);
- свойство *hasResult* (результат), значением которого являются элементы класса `Data` (Данные);
- свойство *isPerformedBy* (реализуется с помощью), значением которого являются один или несколько элементов класса `Operator` (Оператор).

Класс **Operator** (Оператор) описывает известные операторы изображений.

Иерархия подклассов класса **Method** (Метод) построена в соответствии с иерархией подклассов класса **Task** (Задача), например, для класса **SegmentationTask** (задача сегментации) существует соответствующий класс **SegmentationMethod** (метод сегментации), содержащий описания существующих методов, используемых для решения задач сегментации изображений. На рис. 2 схематично показана связь между основными классами ОАИ.

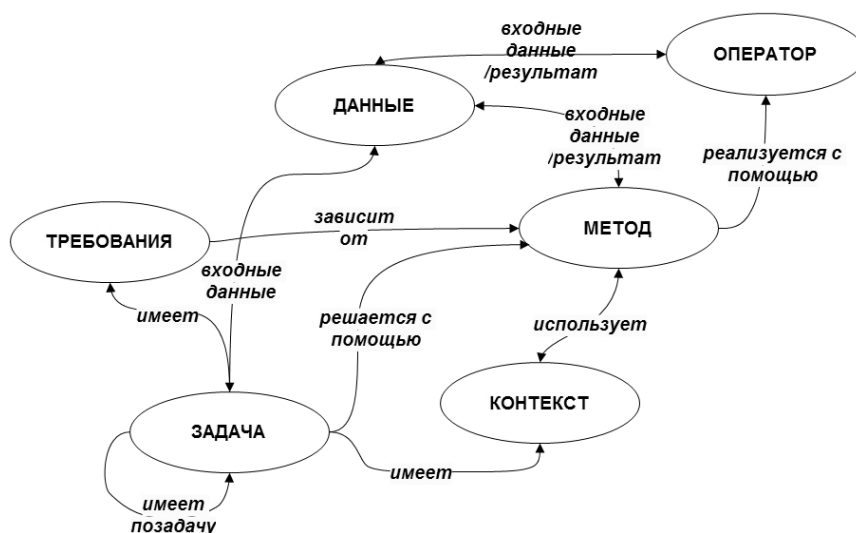


Рис.2. Связь между основными классами ОАИ.

Примеры основных свойств классов ОАИ приведены в Таблице 1.

Таблица 1. Примеры свойств классов ОАИ.

Свойство	Область определения	Диапазон значений	Примечание
<i>goal</i> (цель)	класс Task	символьная строка	
<i>hasContext</i> (имеет контекст)	класс Task	класс Context	
<i>hasInput</i> (входные данные)	классы Task, Method, Operator	класс Data	
<i>hasSubtask</i> (подзадача)	класс Task	класс Task	инверсное свойство: <i>subtaskOf</i>
<i>isPerformedBy</i> (реализуется с помощью)	класс Method	класс Operator	инверсное свойство: <i>isUsedIn</i>
<i>hasResult</i> (результат)	классы Method, Operator	класс Data	инверсное свойство: <i>resultOf</i>
<i>isSolvedBy</i> (решается с помощью)	класс Task	класс Method	инверсное свойство: <i>solves</i>

## 4 Использование тезаурусов и онтологий при решении прикладных задач анализа изображений

Для возможности практического применения тезауруса и онтологии предметной области «Анализ изображений» разработана методология их использования при решении задач анализа изображений. Тезаурусы и онтологии необходимы для решения следующих задач:

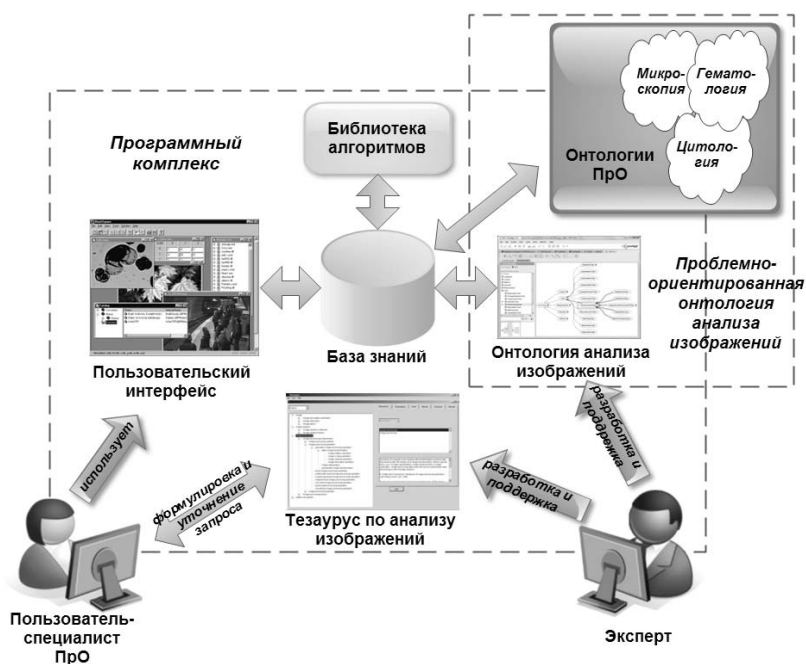
- формирование единообразного способа описания и представления задач анализа изображений и методов их решения;
- автоматизация комбинирования методов и синтеза алгоритмических схем анализа изображений на основе семантической интеграции;

- лингвистическая поддержка баз знаний для автоматизации обработки и анализа изображений (формирование, обработка и расширение запросов; навигация; структуризация и оптимизация представления знаний; организация хранения знаний; пополнение знаний).

#### 4.1 Общая методология

Необходимыми условиями для реализации предлагаемой методологии использования тезаурусов и онтологий при решении задач анализа изображений являются следующие:

- 1) Постановка задачи в виде, соответствующем определению 1 (см. раздел 3), т.е. задание цели, описание входных данных, требований к результату и контекстной информации.
- 2) Наличие следующего набора алгоритмическо-программных средств, которые, как правило, включаются в некоторую автоматизированную систему анализа изображений (см. рис. 3):
  - база знаний по анализу изображений;
  - библиотека алгоритмов обработки, анализа и распознавания изображений;
  - специализированный тезаурус по анализу изображений - ТАИ;
  - онтология анализа изображений - ОАИ;
  - специализированные тезаурусы прикладной предметной области;
  - специализированные онтологии прикладной предметной области;
  - проблемно-ориентированная онтология анализа изображений.



**Рис.3.** Основные компоненты автоматизированной системы анализа изображений.

ОАИ является понятийной основой баз знаний для поддержки автоматизации анализа изображений и, в некотором смысле, сама по себе может рассматриваться как база знаний, в качестве представителей (экземпляров) классов которой могут быть, например, реализованные в стандартной автоматизированной системе алгоритмы обработки, анализа и распознавания изображений. ТАИ же обеспечивает терминологическую поддержку и помогает пользователям сформулировать запрос к системе, в том числе, подобрать правильные ключевые слова для описания цели, имеющихся исходных данных, искомого результата и контекстной информации. ТАИ также необходим для навигации в базе знаний и для автоматического уточнения и расширения запроса, введенного пользователем, посредством использования зафиксированных в тезаурусе связей между терминами.

Кроме того, для решения прикладных задач необходимо также включение в систему специализированных тезаурусов и онтологий прикладных предметных областей. Онтологии прикладных предметных областей должны быть объединены с онтологией анализа изображений с тем, чтобы установить связь между понятиями прикладной области знания, к которой относится решаемая задача, и понятиями, связанными с обработкой и анализом

изображений. Например, важно зафиксировать отношения между объектами на изображениях, описываемыми в терминах прикладной предметной области, и соответствующими признаками изображений, описанными в онтологии анализа изображений. В результате такого объединения будет получена проблемно-ориентированная онтология анализа изображений, описывающая прикладные задачи и методы решения этих задач.

Решение задачи начинается с формулировки задачи в соответствии с определением 1. Для выбора ключевых слов используются тезаурус по анализу изображений и специализированные тезаурусы прикладных предметных областей. Далее система автоматически обрабатывает введенный пользователем запрос и, когда это необходимо, уточняет и расширяет его посредством связей, зафиксированных в тезаурусе, после чего передает в базу знаний. На основе общих знаний по анализу изображений и знаний о прикладной предметной области, представленных в соответствующих онтологиях, осуществляется выбор метода решения предъявленной задачи. Одним из существенных элементов поиска метода решения задачи в базе знаний является установление меры близости между описанием постановки задачи и описаниями решений задач, хранящихся в базе знаний. Естественно, что выбирается тот метод, который обеспечивает решение, наиболее близкое в некотором смысле постановке задачи. Если результаты применения выбранного метода не удовлетворяют пользователя, то система предлагает уточнить запрос и вся процедура повторяется до тех пор, пока желаемый результат не будет получен.

## 4.2 Автоматизация анализа микроскопических изображений клеток крови

Эффективность предложенного в разделе 4.1 подхода исследована на примере решения практической задачи автоматизации анализа микроскопических изображений клеток крови с целью извлечения из них информации, необходимой для ранней диагностики опухолевых заболеваний.

Одной из наиболее серьезных проблем современной онкологии и практической медицины является развитие системы ранней диагностики злокачественных новообразований. Для дифференциальной диагностики опухолей системы крови (гемобластозов) и исследования закономерностей опухолевой прогрессии фундаментальной является проблема анализа морфологии клеток крови, определяемой в цитологических и гистологических препаратах.

Новым этапом в исследовании морфологии клеток является получение и анализ данных, извлекаемых из цифровых изображений высокого разрешения. Последние содержат большое количество информации, анализ которой с помощью современных математических методов распознавания образов и анализа изображений позволит создать автоматизированные и интерактивные алгоритмическо-программные комплексы для выявления и классификации опухолевых клеток.

Проблема автоматизации анализа клеток находится на стыке следующих предметных областей: молекулярная биология, медицина, микроскопия и обработка и анализ изображений.

В соответствии с предложенным в разделе 4.1 подходом была разработана проблемно-ориентированная онтология анализа изображений клеток (ОАИК) [4]. Данная онтология была получена путем объединения ОАИ и онтологий прикладных областей, в т.ч. онтологией микроскопии и онтологией клеточной биологии. При этом использовались фрагменты существующих онтологий – онтологии «Open Microscopy Environment (OME) Ontology» [6] и онтологии «Gene Ontology» (GO) [2].

Онтология OME была дополнена классами понятий, связанными с цитологическими исследованиями, в частности, были добавлены классы: «*staining\_procedure*» (процедура окрашивания) и «*specimen*» (препарат). Класс «*staining\_procedure*» описывает различные методы окраски цитологических препаратов и включает два подкласса: «*inVitro\_staining*» (искусственная окраска) и «*inVivo\_staining*» (окраска в организме). Класс «*inVitro\_staining*», в свою очередь, также содержит два подкласса: класс «*simple\_staining*» и класс «*differential\_staining*», каждый из которых характеризуется следующими свойствами: *type* (тип), *function* (функция) и *application* (применение). Экземплярами класса являются такие понятия как *Giemsa* (метод Гимзы), *Gram* (метод Грама) и др. Класс «*specimen*» был введен для описания препарата и связан с классом «*staining\_procedure*» отношением *isStainedBy*.

Проведенный анализ показал, что онтология GO ориентирована на анализ генов и не содержит цитологической терминологии, поэтому была разработана новая онтология, в



которую вошли некоторые общие понятия онтологии GO, а также понятия Тезауруса цитогематологических терминов [1]. Онтология включает следующие основные классы:

- класс «*cell*» (клетка), описывающий все типы клеток (в том числе, класс «*blood\_cell*» (клетка крови), подклассом которого является, например, класс «*white\_blood\_cell*»);
- класс «*intracellular\_part*» (внутриклеточная часть), подклассами которого являются, например, классы «*cytoplasm*» (цитоплазма), «*nucleus*» (ядро) и «*chromatin*» (хроматин);
- класс «*extracellular\_part*» (внеклеточная часть), подклассом которого является, например, класс «*plasma*» (плазма);
- класс «*cellular\_process*» (клеточный процесс), описывающий физиологические и патологические процессы в клетках;
- класс «*pathology*» (патология).

Для каждого из классов были определены его свойства и установлены отношения с другими классами, например, класс «*cell*» характеризуется следующими свойствами: *definition* (определение), *function* (функция), *origin* (происхождение) и *physiology* (физиология).

Классы «*intracellular\_part*» и «*extracellular\_part*» описываются такими свойствами, как *composition* (состав) и *function* (функция). Между классами были установлены следующие виды отношений: *hasComponent*, *isSurrounded*, *isInvolvedIn* и *isSampledIn*.

Фрагмент разработанной ОАИК приведен на рис. 4.

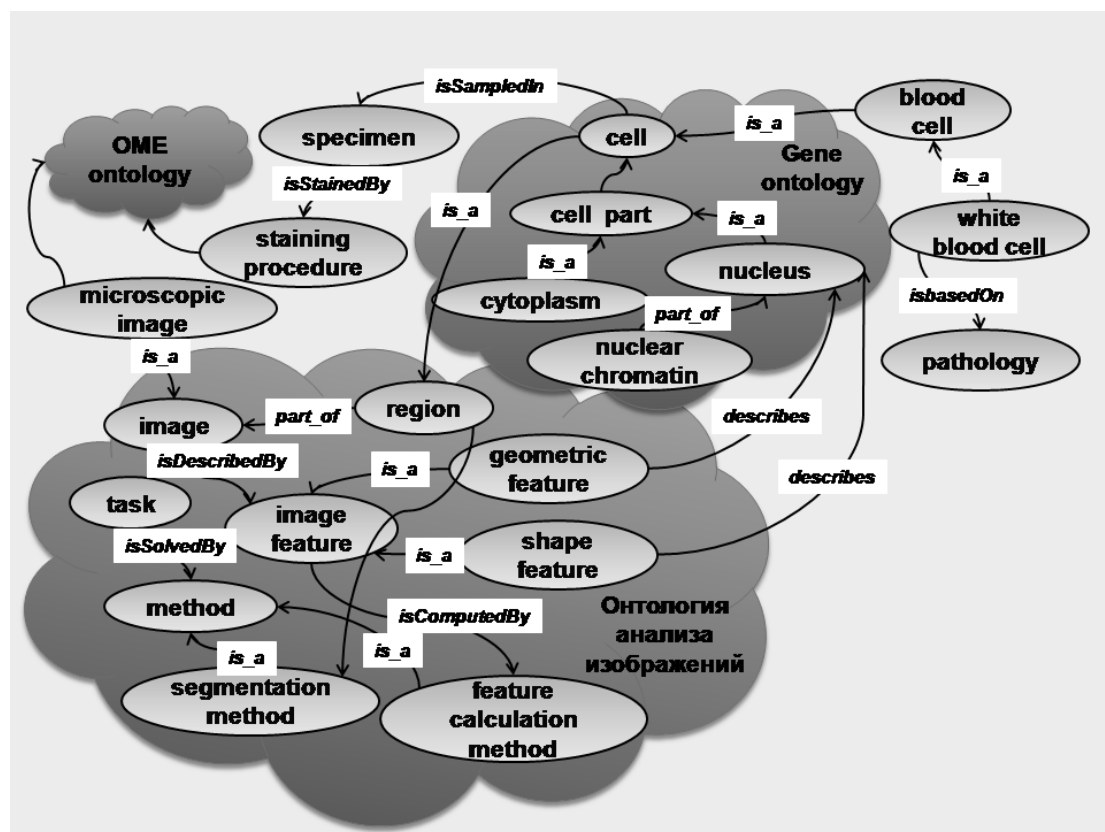


Рис.4. Фрагмент онтологии анализа изображений клеток.

ОАИК включена в состав экспериментального ПО для извлечения различных групп признаков из изображений клеток, которое: 1) помогает пользователю сформулировать задачу, связанную с анализом изображений клеток различного типа; 2) интерактивно с пользователем выбирает алгоритм сегментации; 3) предлагает пользователю набор признаков, которые необходимо вычислить, в соответствии с конкретной задачей [4].

## 5 Заключение

Рассмотрено формальное представление предметной области «Анализ изображений» в виде тезауруса по анализу изображений и основанной на нем онтологии анализа изображений. Наличие тезаурусных и онтологических представлений рассматриваемой предметной области

является необходимым условием для создания и функционирования баз знаний для поддержки анализа изображений, а также автоматизированных систем анализа изображений.

Следует отметить, что разработанная к настоящему моменту версия онтологии является экспериментальной, базируется на результатах и подходе к обработке, анализу и распознаванию изображений научной школы академика Ю.И.Журавлева, отражает представление авторов о концептуальной основе предметной области и существенно использует структуру и наполнение базовой версии ТАИ. Естественно, что в дальнейшем данная версия онтологии послужит основой для разработки более полной и точной онтологии анализа изображений с учетом точек зрения и экспертной оценки широкого круга ученых и специалистов в данной предметной области.

## 6 Благодарности

Данная работа выполнена при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 08-01-90022-Бел\_а), Программы Президиума РАН «Интеллектуальные информационные технологии, математическое моделирование, системный анализ и автоматизация» (проект № 214) и Программы «У.М.Н.И.К.» Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (проект № 9009).

## Литература

- [1] Белоозеров В.Н., Гуревич И.Б., Трусова Ю.О., Шкловский-Корди Н.Е.: Тезаурус для интерактивной автоматизации морфологического анализа клеток крови. *Тезисы докладов 7-ой Всероссийской с участием стран СНГ конференции «Методы и средства обработки сложной графической информации»*, Нижний Новгород, 15-18 сентября, 2003, с.9-10.
- [2] Ashburner M., Ball C.A., Blake J.A. et al.: Gene ontology: tool for the unification of biology. The Gene Ontology Consortium. *Nature Genetics*: 25(1): 25-9, 2000.
- [3] Beloozerov V.N., Gurevich I.B., Gurevich N.G., Murashov D.M., Trusova Yu.O.: Thesaurus for Image Analysis: Basic Version. *Pattern Recognition and Image Analysis: Advances in Mathematical Theory and Applications*: 13(4):556-569, 2003.
- [4] Colantonio S., Gurevich I., Martinelli M., Salvetti O., Trusova Yu.: Cell Image Analysis Ontology. *Pattern Recognition and Image Analysis: Advances in Mathematical Theory and Applications*: 18(2):332-341, 2008.
- [5] Colantonio S., Gurevich I., Martinelli M., Salvetti O., Trusova Yu.: Thesaurus-based Ontology on Image Analysis. In: *Semantic Multimedia. Second International Conference on Semantics and Digital Media Technologies, SAMT 2007, Genoa, Italy, December 5-7, 2007, Proceedings /B.Falcidieno et al. (Eds.): SAMT 2007, LNCS 4816*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007, p.113-116.
- [6] Little S., Hunter J.: Open Microscopy Environment (OME) Ontology: URL: <http://metadata.net/ome/ome.html>.
- [7] OWL Web Ontology Language Overview / M.K.Smith, Ch.Welty, D.L.McGuinness, Editors, W3C Recommendation, 10 February 2004. URL: <http://www.w3.org/TR/owl-guide/>