

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ**

---

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Национальный исследовательский технологиче-  
ский университет «МИСиС»**

Митясова Ольга Юрьевна

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЯ ТОПОЛОГИИ ОБЪЕКТОВ  
ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

25.00.35 – «Геоинформатика»

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель: Доктор технических наук, заведующий кафедрой  
автоматизированных систем управления ФГАОУ ВПО НИТУ «МИСиС»  
Темкин Игорь Олегович

Научный консультант: Доктор физико-математических наук, профессор,  
Крамаров Сергей Олегович

Москва, 2021

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Использование данных мониторинга дистанционного зондирования Земли из космоса (ДЗЗ) в настоящее время стало неотъемлемым элементом для большого числа отраслей, таких как горнодобывающая промышленность, нефтегазовый комплекс, сельскохозяйственная и лесная отрасли др.

Современная система спутникового мониторинга (см. «Конвенция о передаче и использовании данных дистанционного зондирования Земли из космоса») позволила накопить и разместить в открытом доступе большой объем данных ДЗЗ, которые ежедневно пополняются. При этом использование только открытых материалов до настоящего времени не позволяло добиться необходимой точности результатов, что требовало проведения дополнительных дорогостоящих измерений для эффективного решения конкретных производственных и социальных задач.

Иными словами, при наличии большого объема данных существует проблема недостаточной эффективности их обработки вследствие несовершенства используемых методов.

Автоматизация процесса дешифрирования снимков с космических аппаратов для целей идентификации добычи полезных ископаемых открытым способом на территориях субъектов РФ крайне актуальна.

Так, по данным Министерства экологии и природопользования Московской области, ежегодная потребность Москвы и Подмосковья в нерудных строительных материалах превышает 64 миллиона кубометров (около 100 млн. тонн). В денежном выражении при ценах 2019 года объем рынка составляет более 30 млрд. рублей.

При наличии 210 лицензий на право пользования недрами в Московской области только в 2018 году надзорными органами пресечено 35 случаев незаконной разработки песчаных карьеров в промышленных масштабах. В связи с этим Министерство экологии и природопользования Московской области начало «разработку региональной концепции недропользования, кото-

рая позволит выстроить цивилизованный рынок добычи общераспространенных полезных ископаемых (ОПИ)» и обеспечит реальную возможность противодействия незаконной добыче строительных материалов. При этом концепция предполагает создание автоматизированной информационной системе объективного контроля недропользования в Московском регионе.

**Целью** настоящего исследования является разработка новой методики для автоматизации дешифрирования данных дистанционного зондирования Земли для оценки изменения контуров объектов добычи открытым способом, позволяющей повысить исходную точность оконтуривания области горных работ для контроля ее изменения во времени.

Поставленная цель достигается решением следующих основных **задач**:

1. Проанализировать информацию по современным технологиям обработки спутниковых снимков и оценить текущее состояние данной области исследований.
2. Разработать методику для обработки данных ДЗЗ, позволяющую отслеживать границы объектов на растровых изображениях и выявлять динамику их изменений.
3. Разработать соответствующий математический аппарат идентификации границ выявленных объектов и последующего их распознавания.
4. Разработать необходимые программные средства для реализации математического аппарата отслеживания границ и распознавания объектов.
5. Провести тестирование методики и программных средств.

**Основная идея работы** заключается в применении принципов математики на решетках для повышения точности обработки растровых материалов ДЗЗ, что делает возможным использование доступных данных для идентификации горнопромышленных объектов и их текущего состояния с необходимой точностью.

**Основные научные положения, выносимые на защиту:**

1. Методика идентификации горнопромышленных объектов по спутниковым данным, отличающаяся комплексным подходом к использова-

нию проблемно-ориентированной бинаризации изображения, фильтрации, эвристических процедур отслеживания контуров и вычисления признаков формы, позволяет оценить динамику изменения контуров объектов и их текущего состояния.

2. Способ отслеживания контуров, включающий анизотропную фильтрацию бинарного изображения и эвристическое выделение контуров исследуемых объектов (географических, геологических, горнопромышленных и других объектов), позволяет идентифицировать и фиксировать полученные границы объектов в виде цепного кода Фримена и/или в виде цепочки координат и обеспечивает относительную точность получения площадей исследуемых объектов в пределах 3%.

3. Эвристическая процедура отслеживания контуров позволяет определить каждую последующую координату с учетом значения инкремента, получаемого на основе связи текущей и предыдущей координат, определяемой бинарной суммой восьми соседних с принадлежащим контуру пикселем.

**Научная новизна результатов исследования:** впервые предложена методика для обработки открытых данных ДЗЗ и анализа состояния объектов горнодобывающей промышленности и других отраслей. Конкретно элементы приращения научного знания состоят в следующем:

- показана возможность использования открытых данных ДЗЗ для решения задач горнопромышленной и других отраслей;
- предложен новый подход к использованию принципов математики на решетках для идентификации горнопромышленных и других объектов на спутниковых изображениях;
- разработана методика обработки данных ДЗЗ для идентификации и анализа состояния протяженных объектов земной поверхности;
- на основе предложенной методики разработаны новые программные средства.

**Теоретическое значение диссертации** определяется разработкой оригинальной методики, которая совершенствует процесс идентификации объ-

ектов на спутниковых изображениях с использованием элементов математики на решетках.

**Практическое значение диссертации** состоит в расширении возможностей оперативного анализа состояния горнопромышленных, инфраструктурных, сельскохозяйственных и других объектов по имеющимся доступным данным: спутниковым, натурным, контекстным, агрегируемым с помощью теории кворумного резервирования. Разработанные методика и программные средства как готовый модуль могут (должны) быть составной частью геоинформационной системы недропользования, например, QGIS.

**Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций работы.**

Достоверность научных положений, основных выводов и результатов диссертации обеспечивается за счет анализа состояния исследований в данной области, согласованности теоретических выводов с результатами экспериментальной проверки алгоритмов, а также апробацией основных теоретических положений диссертации в печатных трудах и докладах на международных научных специализированных конференциях.

О надежности результатов свидетельствует их повторяемость в процессе тестирования разработанных программных средств, проводимого в рамках проекта «Спутниковый мониторинг – активному развитию территорий (СМАРТ)» и сопоставимость с литературными источниками.

Имеются акты внедрения результатов работы от СКФ ФГБОУ ВО Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ)», ООО «ЮРИА центр», Администрации Егорлыкского района.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты диссертации докладывались и обсуждались на форумах и конференциях. Среди них:

- XXVII Международный научный симпозиум в рамках «Недели горняка-2019»;
- Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» (2016-2020);

- 9th International Conference on Theory and Application of Soft Computing, Computing with Words and Perception, ICSCCW 2017, 24–25 August 2017, Budapest, Hungary;
- Международная конференция «Applications of fuzzy calculations in economics, management and law (AFCEML 2018)»;
- Международный Форум «Интеллектуальные ресурсы – региональному развитию» (2015-2019);
- XIX Агропромышленный форум юга России (2016);
- I Всероссийский форум продовольственной безопасности (2015);
- Молодежный инновационный конвент Ростовской области (в 2017-2018 гг. в рамках форума молодых ученых, в 2019 г. в рамках X Фестиваля науки Юга России) (2016-2019);
- Научно-практическая конференция «Перспективные телекоммуникационные и информационные системы и технологии» (2015);
- XIV Международная научно-практическая конференция «Проблемы экономики и информатизации образования» (2017);
- Международная научно-практическая конференция «Перспективы развития и эффективность функционирования транспортного комплекса юга России» (2014);
- Международные научно-практические конференции «Транспорт: наука, образование, производство» (2016-2019).

**Реализация выводов и рекомендаций.** Разработанная методика для обработки данных дистанционного зондирования Земли рекомендована к использованию в практике горнопромышленных предприятий для осуществления предварительного мониторинга. Реализация предлагаемой методики может быть рекомендована к использованию непрофессионалами в области обработки данных дистанционного зондирования Земли.

**Публикации.** По теме исследований опубликовано 10 работ. В том числе 4 статьи опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК для публи-

кации основных результатов диссертационных работ, и 1 статья опубликована в журнале, включенных в реферативную базу Scopus.

Получены патенты (№ 2640331 и № 2710936). Получены свидетельства о регистрации программ для ЭВМ (№ 2017615097, № 2018614994 и № 2020615607).

Перечень опубликованных работ приведен в конце автореферата.

**Структура и объем работы.** Диссертация включает в себя введение, 3 главы, заключение, список использованных источников. Объем работы составляет 162 стр., в том числе основное содержание – 104 стр., 40 рисунков и 26 таблиц – 54 стр., список литературы из 131 наименования – 16 стр., приложения – 42 стр.

Автор выражает большую благодарность доктору физико-математических наук, профессору С.О. Крамарову и доктору технических наук И.О. Темкину за оказание помощи в написании диссертационной работы, ценные замечания и советы, а также конструктивную критику. Автор также благодарит В.В. Храмова за ценные замечания и обсуждение работы.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обосновывается актуальность темы диссертации, теоретическая и практическая значимость результатов, определяются цель, и задачи исследования, формулируются положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** «Анализ текущего состояния информационных возможностей аэрокосмического мониторинга объектов земной поверхности» рассмотрено современное состояние области исследования и некоторые аспекты деятельности горнопромышленных объектов.

Общая теоретическая база в области спутникового мониторинга поверхности Земли (включая создание и развитие основ концепции ЕГИП, экологический мониторинг) заложена и развита в работах: В.Б. Кашкина, А.И. Сухинина, Е.А. Лупяна, Р.А Шовенгердта, А.П. Карпика, В.П. Савиных, С.А. Кудж, С.О. Крамарова и других. Также некоторые из указанных ученые в своих работах касались в своих работах вопросов идентификации протяженных объектов земной поверхности.

В области разработки и исследования методов и алгоритмов обработки цифровых сигналов (в частности цифровых изображений), технологий компьютерного зрения и методов распознавания образов особую значимость имеют работы Р. Гонсалеса и Р. Вудса, Р. Лайонса, А. Оппенгейма, У. Прэтта, В.А. Сойфера, Я.А. Фурмана, Л. Шапиро и Дж. Стокмана, Д. Форсайта, В.В. Храмова и других.

В развитие принципов математики на решетках внесли вклад работы таких ученых, как Г.А. Пик, Г. Гретцер, Benedek Nagy и других.

Сложные системы и интеллектуальный анализ данных рассматривали в своих работах Л. Заде, М. Джамшиди.

Следующие нижеперечисленные ученые внесли вклад в развитие горной информатики: В.В. Агафонов, Ю.Ф. Васючков, В.Н. Захаров, Д.Р. Каплунов, В.С. Коваленко, С.С. Кубрин, Ю.Н. Кузнецов, В.В. Мельник, Л.А. Пучков, М.В. Рыльникова, И.О. Темкин, К.Н. Трубецкой.

В общем виде спутниковые снимки в растровом формате представляются в виде цифровых изображений, которые, в свою очередь, можно описать двумерной матрицей пикселей размером  $X \times Y$ . В данном случае каждому пикселю соответствует некое неотрицательное число (0–255 или 0–255<sup>3</sup>, в зависимости от наличия информации о цвете). Необходимо получить перечень полигонов, построенных по границам объектов, присутствующих на изображении:

$$LeanPolygon_i = \{x, y, pointsx, pointsy, feat\}, \quad (1)$$

где  $x, y$  – координаты центра  $i$ -го полигона,  $pointsx$  – массив с координатами  $x$  принадлежащих границам полигона точек,  $pointsy$  – массив с координатами  $y$  принадлежащих границам полигона точек,  $feat$  – массив со значениями признаков формы контура.

**Во второй главе** «Методика для идентификации протяженных объектов (МИПО)» для решения вышеописанной задачи предлагается и подробно рассматривается специальная методика обработки спутниковых изображений, которая включает следующие шаги:

1. Определение объекта исследования и выбор информации из различных источников.
2. Предварительная обработка, преобразование к двухградационному виду и фильтрация.
3. Отслеживание на снимке границ объектов.
4. Вычисление для каждого из объектов информативных признаков для дальнейшего распознавания.
5. Занесение полученной информации об объектах в хранилище и накопление материалов.

На первом шаге осуществляется загрузка снимков из различных источников. В рамках исследования были исследованы снимки, полученные при помощи программ SasPlanet, GoogleEarth, а также загруженные из каталогов Совзонд, Сканэкс и др.

Большую роль в контурной обработке и анализе изображений играют их двухуровневые (бинарные) дискретные представления. При этом дискретизация осуществляется по растрам, основные из которых представлены на Рисунке 1 в порядке уменьшения частотности применения: прямоугольный, шестиугольный (гексагональный) и треугольный.

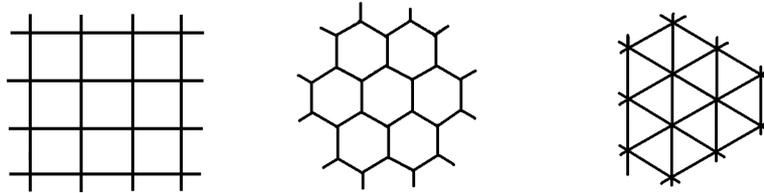


Рисунок 1 - Основные виды растров

Для изображения на прямоугольном растре необходимо предварительно провести анизотропную фильтрацию. Это связано с тем, что реальные изображения, особенно полученные с помощью космических средств, имеют большой уровень помех, которые, преимущественно, аддитивные, то есть накладываются (заменяют реальные значения пикселей на элементы помех, например, облачность и/или туман) на идеальный снимок. В рамках предварительной обработки необходимо уменьшить такую «зашумленность». Для этой цели после бинаризации (то есть сведения к черно-белому изображению по принципу черный пиксель, закодирован единицей – принадлежит объекту, белый относится к фону и кодируется нулем) осуществляется фильтрация. У каждого пикселя 8 соседей, если сумма кодов этих соседей  $\geq 6$ , то в рассматриваемом пикселе записывается 1, независимо от того, что там было до этого, если сумма кодовых значений соседей  $\leq 3$ , записывается 0, если сумма кодовых значений соседей от 4 или 5, то значение кода рассматриваемого пикселя остается неизменным. После такого просмотра всех пикселей, все пиксели объекта изображения имеют, по меньшей мере, два соседних пикселя, принадлежащих изображению.

Такая фильтрация практически не влияет на точность получения признаков. При недостаточном разрешении изображения (слишком крупные пиксели, большая «зернистость») реализуется «суперразрешение», каждый

пиксель делится на 4 (2×2) и дальше осуществляется фильтрация и остальные операции по обработке изображений.

Согласно предлагаемой методике отслеживаются контуры объектов с использованием цепного кода Фримена по связности 6 (для гексагонального растра) или по связности 4 (для прямоугольного растра). При этом определяются координаты  $x$ ,  $y$  (на шестиугольной решетке определяется также координата  $z=x+y$ ) для каждой точки, принадлежащей контуру:

$$R_i = (R_{i-1} + K + A) \bmod B, \quad (2)$$

где  $R_i$  – следующее направление движения (элементарный вектор);  $R_{i-1}$  – предыдущее направление движения;  $K$  – сумма значений соседних восьми пикселей у текущей точки;  $A$  – константа (для прямоугольного растра – 3, для шестиугольного – 2);  $\bmod$  – функция вычисления остатка от деления (для прямоугольного растра – деление по модулю 8, для шестиугольного – деление по модулю 6).

После вычисления следующей точки контура, ее координаты вносятся в массив, характеризующий данную границу, и сохраняются в памяти компьютера.

В рамках исследования на основе зависимости (2) были найдены зависимости для обеспечения возможности вычисления (целочисленных) координат очередной точки контура на основе знания координат предыдущей точки и «истории движения» по этому контуру. Для прямоугольного растра соответствующие зависимости имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} x_{i+1} &= x_i + f\left(\sum_{j=0}^i (k_j + a)\right) \\ y_{i+1} &= y_i + f\left(2 + \sum_{j=0}^i (k_j + a)\right) \end{aligned} \quad (3)$$

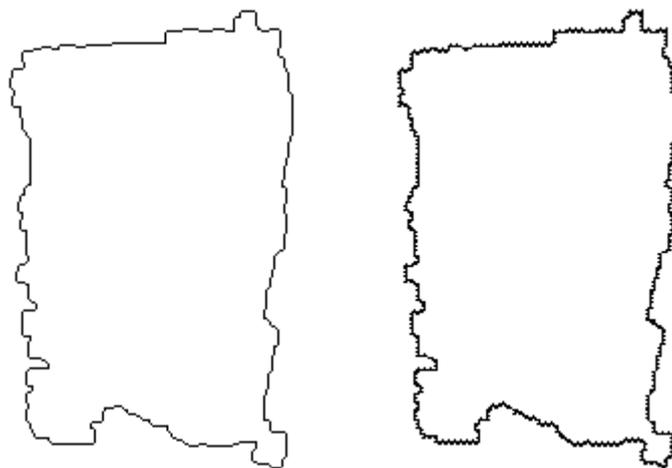
где  $k_j$  – сумма бинарных значений всех восьми пикселей, соседних с  $j$ -м пикселем, принадлежащим контуру;  $a$  – константа (для прямоугольного растра  $a=3$ );  $i$  – номер точки контура;

$$f(t) = \begin{cases} 1, & \text{если } \bmod 8(t) \in \{7, 0, 1\}, \\ 0, & \text{если } \bmod 8(t) \in \{2, 6\}, \\ -1, & \text{если } \bmod 8(t) \in \{3, 4, 5\}, \end{cases}$$

Описанное видоизменение формулы (2) позволяет непосредственно вычислять следующую координату на основе предыдущей без запоминания значений кода Фримена для контура. На Рисунках 2 и 3 показан пример отслеживания границы типичного объекта добычи общераспространенных полезных ископаемых на прямоугольной и шестиугольной решетках.



Рисунок 2 - Исходный снимок из открытых источников (Ставропольский край, Красногвардейский район)



(a)

(б)

Рисунок 3 - Результаты отслеживания контура объекта на прямоугольной (а) и шестиугольной (б) сетках

На Рисунке 4 представлена функциональная схема, отражающая процесс отслеживания границ объектов на спутниковых изображениях.

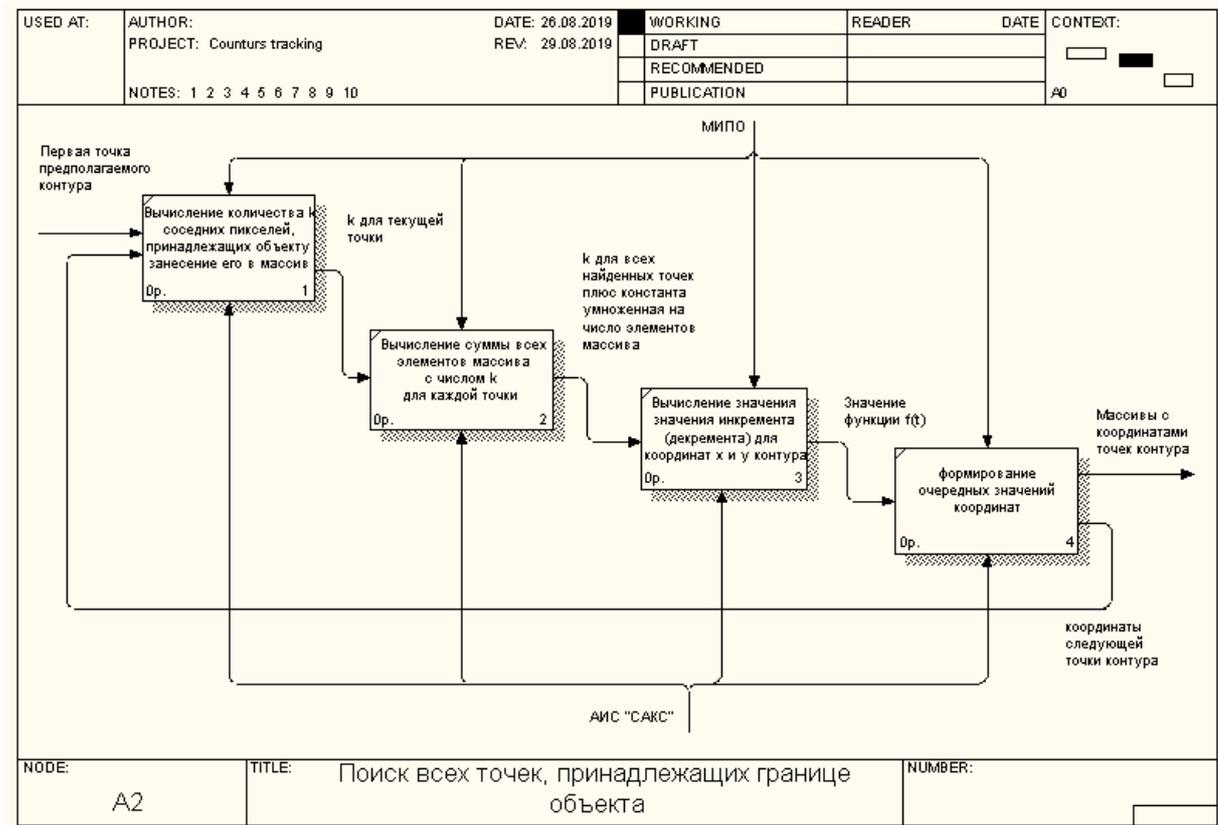


Рисунок 4 - Фрагмент функциональной модели в нотации IDEF0

В качестве признаков распознавания при обработке снимка на прямоугольном растре могут быть использованы так называемые «матрицы коэффициентов формы» контуров объектов, вычисляемых в соответствии с выражением:

$$U_{xy} = \frac{\sum_{x=0}^S F_x[l_x] e^{wx}}{\sum_{y=0}^S F_y[l_y] e^{wy}} \quad (4)$$

где  $F_x$ ,  $F_y$  - преобразования Лапласа параметрического описания контура распознаваемого объекта;  $l_x$  и  $l_y$  - значения координат по осям  $X$  и  $Y$  соответственно с порядковым номером  $x$  и  $y$  в массиве. При движении по массиву данных от первой (0) до последней (S) точки;  $w$  - коэффициент веса

Иначе зависимость (4) можно записать в виде 8 выражений, соответствующих определенной характеристике объекта:

$$\begin{aligned}
\Phi_1 &= \frac{\sum_{s=0}^S y(s)e^{-ks}}{\sum_{s=0}^S x(s)e^{-ks}}, \Phi_2 = \frac{\sum_{s=0}^S y(S-s)e^{-ks}}{\sum_{s=0}^S x(s)e^{-ks}}, \Phi_3 = \frac{\sum_{s=0}^S y(s)e^{-ks}}{\sum_{s=0}^S x(S-s)e^{-ks}}, \\
\Phi_4 &= \frac{\sum_{s=0}^S y(S-s)e^{-ks}}{\sum_{s=0}^S x(S-s)e^{-ks}}, \Phi_5 = \frac{\sum_{s=0}^S x(s)e^{-ks}}{\sum_{s=0}^S y(s)e^{-ks}}, \Phi_6 = \frac{\sum_{s=0}^S x(S-s)e^{-ks}}{\sum_{s=0}^S y(s)e^{-ks}}, \\
\Phi_7 &= \frac{\sum_{s=0}^S x(s)e^{-ks}}{\sum_{s=0}^S y(S-s)e^{-ks}}, \Phi_8 = \frac{\sum_{s=0}^S x(S-s)e^{-ks}}{\sum_{s=0}^S y(S-s)e^{-ks}},
\end{aligned} \tag{5}$$

где  $x(s)$  – точка функции, описывающей координаты  $x$  границ объекта;  $x(S-s)$  – точка функции, являющейся зеркальной по отношению к функции, описывающей координаты  $x$  границ объекта;  $y(s)$  – точка функции, описывающей координаты  $y$  границ объекта;  $y(S-s)$  – точка функции, являющейся зеркальной по отношению к функции, описывающей координаты  $y$  границ объекта;  $k$  – коэффициент веса.

При этом для замкнутых контуров (периодических параметрических функций описания) преобразование Лапласа не зависит от выбора начальной точки. Этим обеспечивается инвариантность выбранных признаков к любому повороту объекта на изображении (во всяком случае, при стремлении размеров пикселя к 0).

Последующее распознавание объектов интереса может базироваться на вычислении расстояния между вычисленными значениями характеристик (5) для эталонных границ и для обрабатываемой в данный момент. Могут быть использованы различные меры расстояний. Например, расстояние Евклида.

В исследовании на прямоугольной решетке была обеспечена связность (возможность соединения двух пикселей растровой линией, то есть последовательным набором пикселей) 4, допускающая только 4 направления (2 вертикальных и 2 горизонтальных), для того чтобы избежать вышеуказанных проблем и обеспечить успешное применение формул расчета контурных признаков (5).

Следует отметить, что результаты исследования границ, получаемых на шестиугольном растре, показывают, что получаемая карта контура имеет лучшую точность для искривленных объектов, чем для объектов на изображениях со стандартной прямоугольной растровой решеткой. Это объясняется, главным образом, связностью отдельных шестиугольных пикселей, генерирующих более согласованные контуры. Предполагается, что «шестиугольники могут использоваться в качестве альтернативы стандартным квадратным пикселям для представления данной сцены. Они обладают некоторыми геометрическими преимуществами, начиная с обработки данных, и заканчивая лучшим представлением формы объектов на изображении» (Hofmann P., Tiede D.).

**В третьей главе** «Разработка программного средства для реализации предлагаемой методики и апробация результатов» рассмотрены существующие программные продукты для работы с данными дистанционного зондирования Земли и описан процесс разработки специального программного средства (АИС «Система анализа космических снимков») для реализации предложенной во второй главе методики и результаты апробации. На Рисунке 5 показан финальный интерфейс АИС САКС.

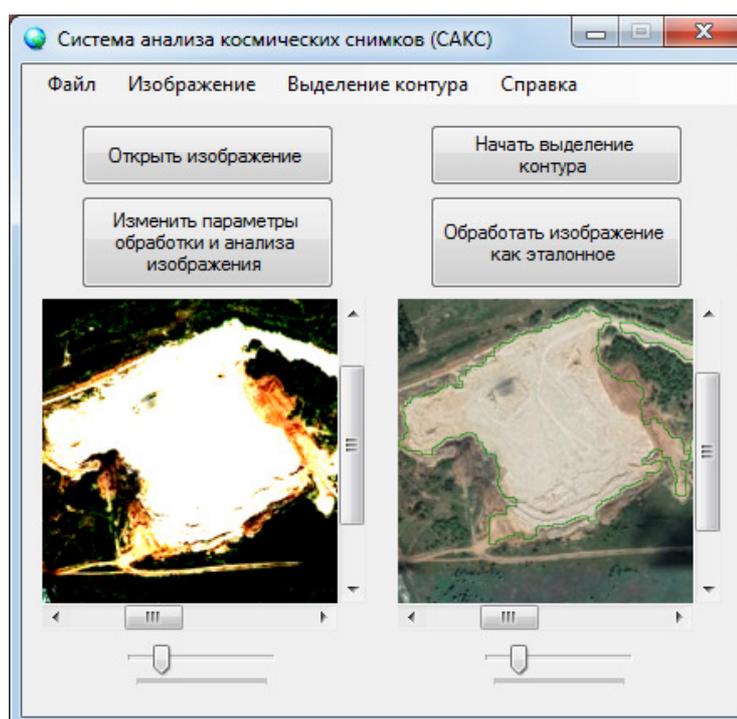
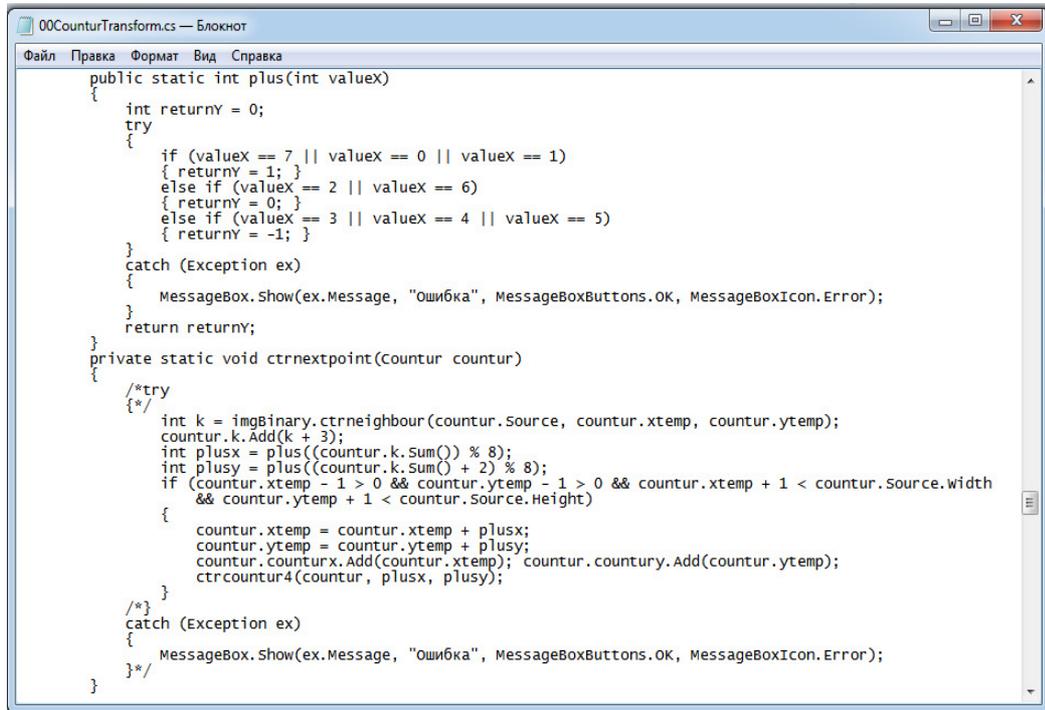


Рисунок 5 - Главное окно программной системы

На Рисунке 6 показан фрагмент исходного кода АИС САКС, реализующий описанный в диссертации подход к поиску следующей точки границы объекта на изображении.



```

00CounturTransform.cs — Блокнот
Файл  Правка  Формат  Вид  Справка

public static int plus(int valueX)
{
    int returnY = 0;
    try
    {
        if (valueX == 7 || valueX == 0 || valueX == 1)
        { returnY = 1; }
        else if (valueX == 2 || valueX == 6)
        { returnY = 0; }
        else if (valueX == 3 || valueX == 4 || valueX == 5)
        { returnY = -1; }
    }
    catch (Exception ex)
    {
        MessageBox.Show(ex.Message, "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error);
    }
    return returnY;
}

private static void ctrnextpoint(Countur countur)
{
    /*try
    {*/
        int k = imgBinary.ctrneighbour(countur.source, countur.xtemp, countur.ytemp);
        countur.k.Add(k + 3);
        int plusx = plus((countur.k.Sum()) % 8);
        int plusy = plus((countur.k.Sum() + 2) % 8);
        if (countur.xtemp - 1 > 0 && countur.ytemp - 1 > 0 && countur.xtemp + 1 < countur.source.width
            && countur.ytemp + 1 < countur.source.height)
        {
            countur.xtemp = countur.xtemp + plusx;
            countur.ytemp = countur.ytemp + plusy;
            countur.counturx.Add(countur.xtemp); countur.countury.Add(countur.ytemp);
            ctrcountur4(countur, plusx, plusy);
        }
    /*}
    catch (Exception ex)
    {
        MessageBox.Show(ex.Message, "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error);
    }
    */
}

```

Рисунок 6 - Фрагмент исходного кода программной системы

Тестирование проводилось в соответствии с разработанным планом для подобного вида программ. В рамках тестирования, системе были предложены изображений различного масштаба в растровых форматах \*.jpg, \*.bmp, \*.png с разрешением от 1000 точек (пикселей) по ширине и высоте.

Работа методики была проверена следующим образом. На первом шаге был обработан снимок тестового объекта (Рисунок 7) и получено изображение с отслеженными границами (Рисунок 8).



Рисунок 7. – Снимок тестового объекта (получен в программе SasPlanet).

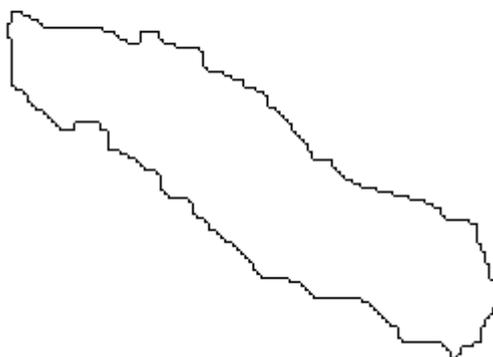


Рисунок – 8. Результаты обработки изображения (Рисунок 7.)

Далее был получен снимок этого же объекта из другого источника (Рисунок 9).

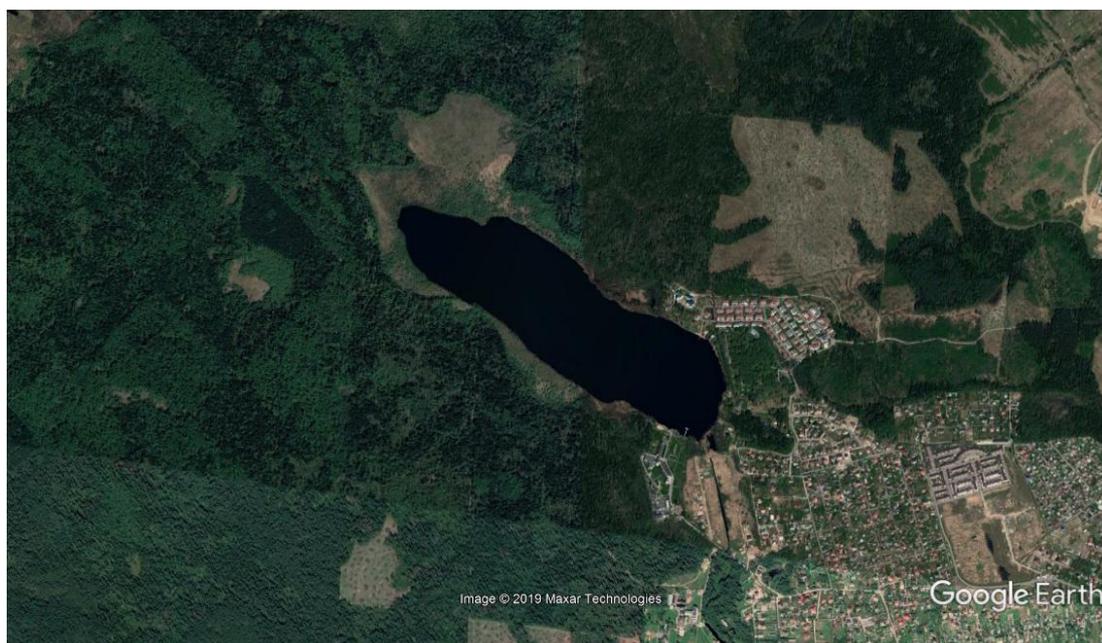


Рисунок 9. – Снимок тестового объекта (получен в программе GoogleEarth).

После этого в программе GIS INTEGRO были загружены изображение с отслеженными границами (Рисунок 8) и необработанный снимок (Рисунок 9), взятый для сравнения, и осуществлена их привязка (рисунок 10).

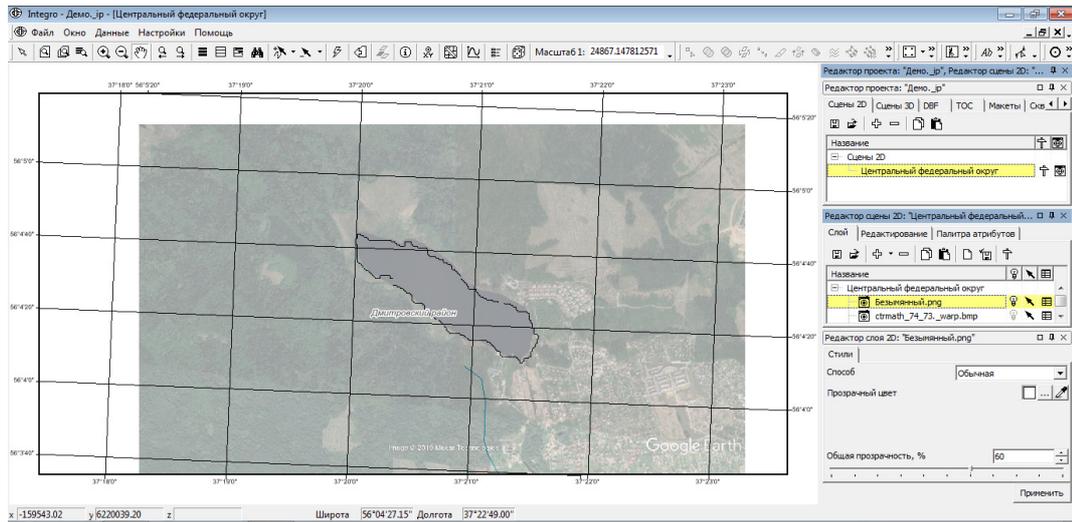


Рисунок 10. – Результаты совмещения отслеженного контура и снимка (Рисунок 9).

Если изображения совмещены в одном масштабе по корректурным точкам (координатам), то можно определить сумму площадей внутри построенного контура и за его пределами, найти сумму квадратов этих площадей и поделить на их количество. Корень квадратный будет среднеквадратическим отклонением площади построенного контура от «эталона». При расчетах для тестового контура было получено значение  $\approx 19159,476 \text{ м}^2$  (3% от измеренной площади объекта по снимку, с которым осуществлялось сравнение полученного контура. Это отвечает требованиям «Инструкции по маркшейдерскому учету объемов горных работ при добыче полезных ископаемых открытым способом».

В таблицах 1-3 показаны результаты обработки некоторых снимков.

Таблица 1 Примеры некоторых обработанных снимков.

Идентификатор снимка	Время съемки	Область охвата	Отслеженных контуров объектов	Комментарий
20171018_074704_1033	18.10.2017	Карьер Лебединского ГОКа (Белгородская обл.)	>20	Были идентифицированы два карьера, которые можно видеть на снимке

Окончание Таблицы 1

<b>Идентификатор снимка</b>	<b>Время съемки</b>	<b>Область охвата</b>	<b>Отслеженных контуров объектов</b>	<b>Комментарий</b>
20160811_031118_0e14	11.08.2016	Район карьера Удачный (Якутия)	17	К основному контуру присоединилась контрастная область, по яркости схожая с самим карьером
20160916_031310_0e16	16.09.2016	Карьер Удачный (Якутия)	8	При обработке данных снимков использованы идентичные настройки АИС «САКС»
20170919_032313_of52	19.09.2017		>20	
Снимок получен при помощи средства «Google Earth», поэтому идентификатора не имеет	12.05.2018	Район карьера Аксиньино (Московская область)	6	
	15.06.2018	Попова Гора (Матыра)	12	

Таблица 2 Числовые характеристики (коэффициенты формы) Ф1-Ф4 для идентифицированных границ карьеров на спутниковых снимках

<b>Снимок</b>	<b>Ф1</b>	<b>Ф2</b>	<b>Ф3</b>	<b>Ф4</b>
20160811_031118_0e14	0,66015	0,64826	0,66050	0,648597
20160916_031310_0e16	0,92130	0,95958	0,93600	0,97489
20170919_032313_of52	0,98913	1,00263	0,98223	0,99563
20171018_074704_1033	1,88358	1,90025	1,86073	1,87720

Окончание Таблицы 2

Снимок	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4
Google Earth 12.05.2018	0,51943	0,54059	0,51604	0,53706
Google Earth 15.06.2018	0,50309	0,50843	0,49593	0,50120

Таблица 3 Числовые характеристики (коэффициенты формы) Ф5-Ф8 для идентифицированных границ карьеров на спутниковых снимках

Снимок	Ф5	Ф6	Ф7	Ф8
20160811_031118_0e14	1,5148	1,51400	1,54260	1,54179
20160916_031310_0e16	1,08543	1,068375	1,04212	1,02575
20170919_032313_of52	1,01099	1,01809	0,99738	1,00439
20171018_074704_1033	0,53090	0,53742	0,52625	0,53271
Google Earth 12.05.2018	1,92518	1,93783	1,84983	1,86198
Google Earth 15.06.2018	1,98773	2,01640	1,96684	1,99522

На Рисунке 11 показан пример результатов использования контурных признаков в процессе распознавания.

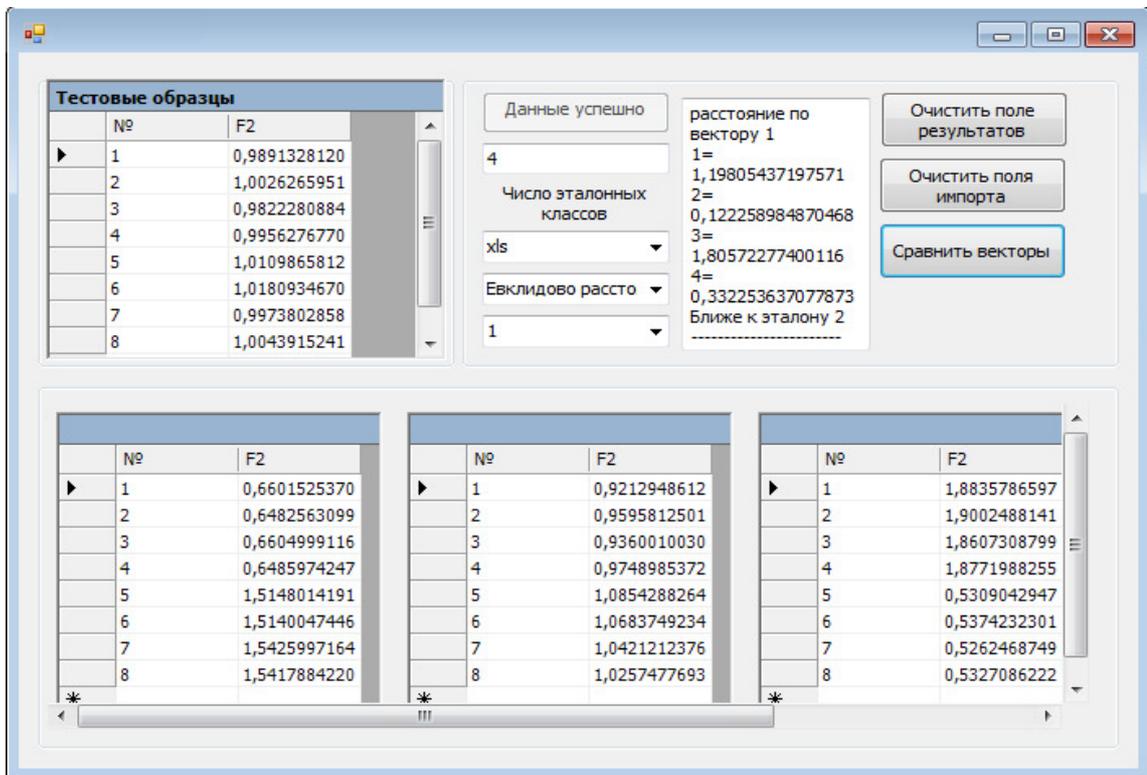


Рисунок 11 - Пример использования и предлагаемых в работе информативных признаков в процессе распознавания (в качестве тестового использован снимок 20170919\_032313\_of52)

В рамках исследования велась разработка и развитие программных средств (ПС), которые могут быть использованы в процессе моделирования и расчета параметров горнопромышленных и других объектов: «Модуль формирования геосистемы» и «Цифровая геоэкономическая система управления сельхозпроизводством (АИС «Хозяин»)» [8]. Они предназначены для формирования на основе данных ДЗЗ базы знаний по территориям (Рис. 12). В указанную базу знаний могут быть включены и результаты, получаемые с использованием предлагаемых в данной работе методик.



Рисунок 12 - Схема обработки информации

Следует отметить, что в результате исследований было установлено, что реализованная методика может быть применима не только к горнопромышленным объектам. Сфера применения результатов исследования гораздо шире. Например, возможна идентификация таких крупных объектов, как вырубки или объекты сельскохозяйственного назначения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной задачи дешифрирования снимков с космических аппаратов для целей идентификации добычи полезных ископаемых открытым способом на территориях субъектов РФ, имеющей существенное значение для практики предприятий и развития системы знаний по научной специальности 25.00.35 – «Геоинформатика (Технические науки)».

На основании теоретических и экспериментальных исследований автором получены следующие результаты:

- на основе анализа геоинформационных данных, получаемых сегодня с использованием различных технологий обработки спутниковых снимков, установлено, что значительная часть задач мониторинга объектов добычи полезных ископаемых может быть решена на основе геоинформационных массивов открытого доступа, что обеспечивает значительное снижение расходов, связанных с контролем процессов недропользования;
- предложен аппарат, основанный на принципах математики на решетках, позволяющий восстанавливать координаты границы объектов на изображении, получая новые значения координат на основе предыдущих;
- разработан комплекс алгоритмов и на их основе сформирована методика обработки снимков, получаемых в результате спутникового мониторинга в виде растровых изображений, обеспечивающая решение задач, касающихся выделения границ и распознавания объектов на спутниковых изображениях в растровом формате, с достаточной для рассматриваемых объектов точностью;
- разработанная методика легла в основу создания универсальной пользовательской системы АИС «Система анализа космических снимков»;
- разработанные программные средства прошли государственную регистрацию (получены свидетельства № 2017615097 от 03.05.2017 и № 2018614994 23.04.2018.), обеспечивают реализацию предложенной методики, и предоставляют возможности для эффективного использования открытых

данных дистанционного зондирования Земли и формирования на их основе баз знаний по территориям;

- проведенная экспериментальная проверка и тестирование системы с использованием спутниковых снимков открытого доступа на различных объектах добычи полезных ископаемых открытым способом, продемонстрировала точность оценки границ в пределах 3% площади объектов исследования;

- реализовано внедрение результатов исследования (в учебном процессе – в СКФ ФГБОУ ВО Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ)» и др., в деятельности организаций – в ООО «Южный региональный информационно-аналитический центр», Администрации Егорлыкского района и др.).

**Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах автора.**

**В изданиях, определенных ВАК Минобрнауки России:**

1. Крамаров, С.О. Спутниковая идентификация объектов добычи полезных ископаемых на месторождениях разрабатываемых открытым способом [Текст] / С.О. Крамаров, В.В. Храмов, О.Ю. Митясова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 5. – С. 72-79 <https://elibrary.ru/item.asp?id=37402276>
2. Крамаров, С.О. Методология интеллектуальной навигации для управления автономными подвижными объектами на основе триангуляции Делоне [Текст] / С.О. Крамаров, О.Ю. Митясова, И.О. Темкин, В.В. Храмов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 2. (принята к публикации)
3. Крамаров, С.О. Технологии спутникового мониторинга для генерирования цифровых план-схем экологического состояния территорий [Текст] / С.О. Крамаров В.В., Храмов, А.Н. Небаба, Ю.В. Прус, О.Ю. Митясова, В.Ю. Романченко // Технологии техносферной безопасности. – 2017. – Вып. 1 (71). – С. 255-258. <https://elibrary.ru/item.asp?id=29871104>

4. Храмов, В.В. Интегральная модель коррекции навигационных параметров подвижных объектов транспорта [Текст] / В.В. Храмов, Е.В. Голубенко, О.Ю. Митясова // Вестник РГУПС. – 2015. – № 4. – С. 60-64. <https://elibrary.ru/item.asp?id=25067684>

**В изданиях, индексируемых в базах данных Scopus/Web of science:**

5. Akperov, I.G. Fuzzy methods and algorithms in data mining and formation of digital plan-schemes in earth remote sensing [Text] / I.G. Akperov, V.V. Khramov, V.I. Lukasevich, O.Y. Mityasova // Procedia Computer Science. – 2017. Vol. 120. – P. 120-125. <https://elibrary.ru/item.asp?id=35486203>

**В авторских свидетельствах и патентах на изобретения:**

6. Пат. 2640331 Российская Федерация, МПК G 06 K 9/68. Способ идентификации протяженных объектов земной поверхности [Текст] / И.Г. Акперов, С.О. Крамаров, В.В. Храмов, О.Ю. Митясова, В.И. Повх; заявитель и патентообладатель Частное образовательное учреждение высшего образования «Южный Университет (ИУБиП)». – № 2015153226/08(082031); заявл. 11.12.2015; опубл. 27.12.2017, Бюл. № 36. – 8 с.: ил.

7. Пат. 2710936 Российская Федерация, МПК G 06 F 7/02, G 06 F 7/06. Способ нахождения наибольшего и наименьшего числа в произвольном массиве двоичных многозначных чисел и устройство для его реализации [Текст] / И.Г. Акперов, С.О. Крамаров, В.В. Храмов, О.Ю. Митясова, О.Ю. Романченко; заявитель и патентообладатель Частное образовательное учреждение высшего образования «Южный Университет (ИУБиП)». – № 2016148073; заявл. 07.12.2016; опубл. 14.01.2020, Бюл. № 2. – 8 с.

8. Свид. 2017615097. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Система анализа космических снимков (САКС) / Митясова О.Ю., Акперов И.Г., Крамаров С.О., Храмов В.В.; заявитель и правообладатель Частное образовательное учреждение высшего образования «Южный Университет (ИУБиП)». – № 2017612026; заявл. 13.03.2017; опубл. 03.05.2017, Бюл. № 5. – 1 с.

9. Свид. 2018614994. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Цифровая геоэкономическая система управления сельхозпроизводством (АИС «Хозяин») / Повх В.И., А.А. Лощинин А.А., Халтурин А.Г., Акперов И.Г., Крамаров С.О., Храмов В.В, Митясова О.Ю.; заявитель и правообладатель Частное образовательное учреждение высшего образования «Южный Университет (ИУБиП)». – № 2018610436/69; заявл. 09.01.2018; опубл. 23.04.2018, Бюл. № 5. – 1 с.

10. Свид. 2020615607. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Модуль формирования геосистемы / Крамаров С.О., Митясова О.Ю., Храмов В.В., Темкин И.О., Грошев А.Р.; заявитель и правообладатель Частное профессиональное образовательное учреждение «Егорлыкский Колледж». – № 2020614521; заявл. 12.05.2020; опубл. 27.05.2020, Бюл. № 6. – 1 с.

**Личный вклад соискателя:** проведена оценка современного состояния области исследования: доступность и своевременность (оперативность) получения космической информации об объектах земной поверхности, гео-реляционные структуры [4], состояние дел с базами знаний о территориях по данным ДЗЗ, методы оценки количества поступающей информации с космических аппаратов и ее защиты. Рассмотрены вопросы информативности признаков (в том числе значение НЕ-факторов) в процессе распознавания объектов земной поверхности. Были исследованы известные способы обнаружения и идентификации целевых объектов земной поверхности, оценены их особенности, достоинства и недостатки и предложены новые [2]. Лично автором реализована предлагаемая в диссертационной работе методика (включая материалы работ [6]) обработки цифровых растровых изображений в рамках программного средства АИС САКС [8]. Лично автором проверена пригодность реализованной методики для идентификации на цифровых изображениях границ горнопромышленных объектов [1]. Предложен подход к построению хранилища картографической информации, куда могут поступать и данные ДЗЗ после обработки при помощи предлагаемых методик. Рассмотр-

рены возможности применения результатов исследования [7,9,10] и технология цифровых план-схем [3,5] (в том числе использование принципа кворумного резервирования для данной технологии).