

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

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

На правах рукописи

Митясова Ольга Юрьевна

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЯ ТОПОЛОГИИ ОБЪЕКТОВ
ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

25.00.35 – «Геоинформатика»

Диссертация
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

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. АНАЛИЗ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИГА ОБЪЕКТОВ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ.....	9
1.1. Экологические и экономические аспекты деятельности горнопромышленных предприятий.....	9
1.2. Процесс компьютерной обработки спутниковых снимков.....	16
1.3. Информативность и доступность космической информации.....	23
1.4. Задача реализации системы идентификации и методы ее решения....	26
ВЫВОДЫ.....	36
2. МЕТОДИКА ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПРОТЯЖЕННЫХ ОБЪЕКТОВ (МИПО).....	37
2.1. Получение и предварительная обработка цифровых изображений	37
2.2. Отслеживание контуров на цифровых изображениях.....	49
2.3. Формирование контурных признаков для распознавания объектов на цифровых изображениях.....	56
ВЫВОДЫ.....	69
3. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРЕДЛАГАЕМОЙ МЕТОДИКИ И АПРОБАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ.....	71
3.1. Обзор аналогов и общие требования к разрабатываемому программному средству.....	71
3.2. Выбор средств разработки и разработка программного средства.....	73
3.3. Оценка качества работы программного средства и развитие результатов исследований.....	92
ВЫВОДЫ.....	102
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	103
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	105
ПРИЛОЖЕНИЕ А РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ «АИС САКС».....	121
ПРИЛОЖЕНИЕ Б АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ.....	160

ВВЕДЕНИЕ

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.

1. АНАЛИЗ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИГА ОБЪЕКТОВ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

1.1. Экологические и экономические аспекты деятельности горнопромышленных предприятий

Коммерческая деятельность по добыче [34] и реализации общераспространенных полезных ископаемых строго лицензируется [64]. На Рисунке 1.1 показана главная страница портала «Сводный государственный реестр участников недр и лицензий» [83]. В настоящее время в реестре имеется 85374 запись.

№ п/п	Дата присвоения Государственного регистрационного номера	Государственный регистрационный номер лицензии			Наименование пользователя недр	Целевое назначение пользования недрами и виды работ	Наименование органа, выдавшего разрешение на пользование земельным участком	Название участка недр. Вид объекта. Местоположение	Статус отвода	Наименование уполномоченного органа управления фондом недр	Наименование органа государственной власти субъекта Российской Федерации	Дата окончания срока действия лицензии	Есть осянообразы	Особые отметки
		серия	номер	вид										
1	23.04.2019	KPP	18537	НЗ	АО Норильскгазпром (АО Норильскгазпром); 663318, Красноярский край, г. Норильск, ул. Орденоносцев, 14а, Чистотас А.Ю., тел: 26-79-20	разведка и добыча полезных ископаемых	Пелятинский участок, Красноярский край, Таймырский Долганско-Ненецкий МР	горный	МПР РФ Федеральное агентство по недропользованию Каспаров О.С.		31.12.2000	Да		
2	23.04.2019	СЛХ	16534	НЗ	АО Газпромнефть-	геологическое изучение, разведка и	Новогодний участок, Ямало-	горный	МПР РФ		31.12.2119	Да		

Рисунок 1.1 - Сводный государственный реестр участников недр и лицензий

Часть предприятий, информация о которых имеется в [83], представлены и в [35]. В Таблице 1.1 и на Рисунках 1.2-1.3 показано распределение действующих горнопромышленных [7, 95] объектов (песчаных, песчано-гравийных и др. карьеров и перевалок) согласно [35].

Таблица 1.1 Песчаные, песчано-гравийные и другие карьеры и перевалки России

Регион	Число объектов	
	(2019)	(2020)
Северо-Западный федеральный округ	33	7
Архангельская область	1	1
Вологодская область	5	-
Калининградская область	3	1
Ленинградская область	13	3
Мурманская область	1	-
Новгородская область	2	1
Псковская область	1	-
Республика Карелия	3	1
Республика Коми	-	-
Санкт-Петербург	4	-
Центральный федеральный округ	124	66
Белгородская область	1	1
Брянская область	4	1
Владимирская область	4	5
Воронежская область	3	2
Ивановская область	1	-
Калужская область	13	8
Костромская область	1	1
Курская область	2	-
Липецкая область	2	1
Москва	16	6
Московская область	50	28
Орловская область	5	1
Рязанская область	3	-

Продолжение Таблицы 1.1

Регион	Число объектов	
	(2019)	(2020)
Смоленская область	5	4
Тамбовская область	-	-
Тверская область	5	2
Тульская область	6	2
Ярославская область	3	4
Южный федеральный округ	10	6
Астраханская область	-	-
Волгоградская область	3	1
Краснодарский край	3	2
Республика Адыгея	-	-
Республика Калмыкия	-	-
Республика Крым	2	1
Ростовская область	1	1
Севастополь	1	1
Северо-Кавказский федеральный округ	0	0
Кабардино-Балкарская Республика	-	-
Карачаево-Черкесская Республика	-	-
Республика Дагестан	-	-
Республика Ингушетия	-	-
Республика Северная Осетия - Алания	-	-
Ставропольский край	-	-
Чеченская Республика	-	-
Приволжский федеральный округ	22	12
Кировская область	1	-

Продолжение Таблицы 1.1

Регион	Число объектов	
	(2019)	(2020)
Нижегородская область	6	2
Оренбургская область	2	1
Пензенская область	1	1
Пермский край	2	1
Республика Башкортостан	2	2
Республика Марий Эл	2	2
Республика Мордовия	-	-
Республика Татарстан	3	2
Самарская область	2	-
Саратовская область	1	1
Удмуртская Республика	-	-
Ульяновская область	-	-
Чувашская Республика	-	-
Уральский федеральный округ	10	8
Курганская область	-	-
Свердловская область	4	3
Тюменская область	2	2
Челябинская область	4	3
Сибирский федеральный округ	9	7
Алтайский край	-	-
Иркутская область	1	-
Кемеровская область	-	-
Красноярский край	1	1
Новосибирская область	7	6
Омская область	-	-

Окончание Таблицы 1.1

Регион	Число объектов	
	(2019)	(2020)
Республика Алтай	-	-
Республика Тыва	-	-
Республика Хакасия	-	-
Томская область	-	-
Дальневосточный федеральный округ	6	2
Амурская область	1	1
Еврейская автономная область	-	-
Забайкальский край	1	-
Камчатский край	-	-
Магаданская область	-	-
Приморский край	2	-
Республика Бурятия	1	-
Республика Саха (Якутия)	-	-
Сахалинская область	-	-
Хабаровский край	1	1
Чукотский автономный округ	-	-

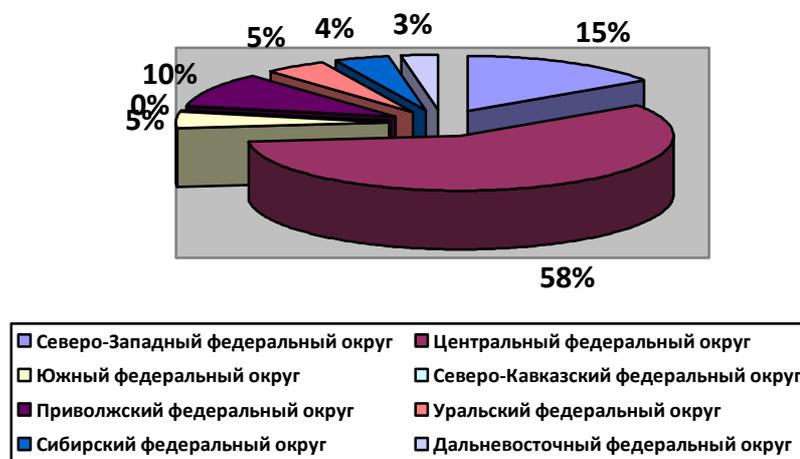


Рисунок 1.2 - Распределение горнопромышленных объектов по округам (2019)

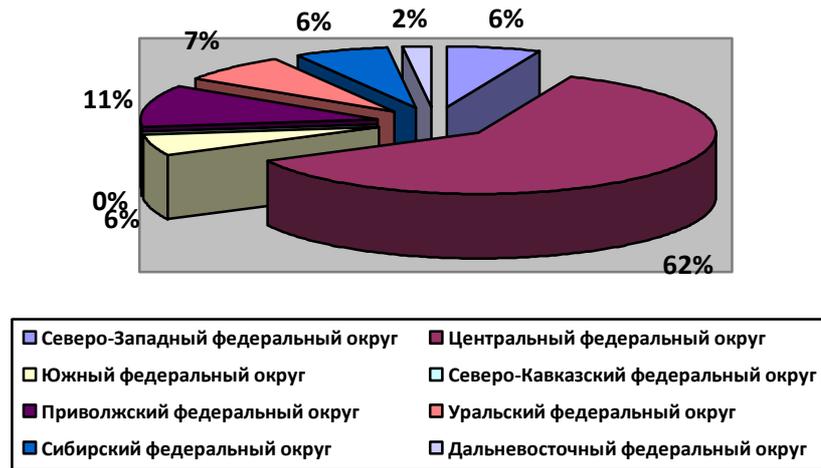


Рисунок 1.3 - Распределение горнопромышленных объектов по округам (2020)

Согласно [83], крупнейшие месторождения песка в России расположены в Нижегородской, Ленинградской, Московской, Смоленской, Воронежской и Самарской областях, а также в районе Азовского побережья [56].

Речной и морской песок добывается в основном в акватории Азовского моря и в Ленинградской области. Также крупные залежи расположены в районе Финского залива и около Невы. Ежедневно с карьеров в этом регионе отгружают [94] более 1000 тонн песка [56].

Развитие технологий, используемых горнопромышленными предприятиями [95], и новых геологических методов, в том числе дистанционных, позволяет в короткие сроки и по максимально большим территориям дать оценку перспектив обнаружения месторождений. Разведка из космоса позволяет значительно оптимизировать процессы поиска полезных ископаемых. Применение методов ДЗЗ [115] позволяет уменьшить стоимость геологоразведочных работ в результате проведения комплексных исследований обширных территорий, которые довольно часто недоступны для традиционных методов геологоразведки по тем или иным причинам [13]. Однако, несмотря на это, требуются государственная и инвестиционная поддержка (Рисунок 1.4).

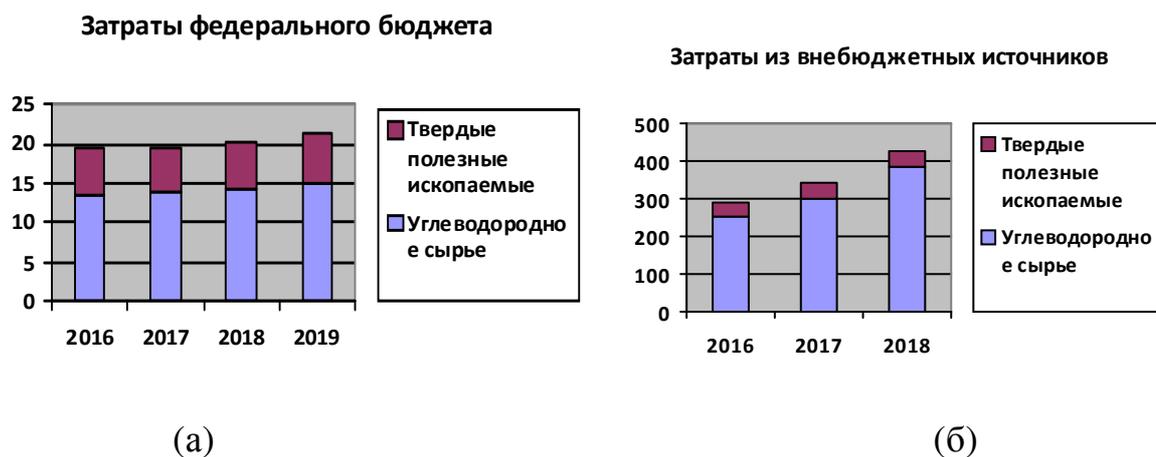


Рис. 1.4 Финансирование работ по геологической разведке (млрд. руб.) из федерального бюджета (а) и из внебюджетных источников (б)

На государственном уровне разрабатываются стратегии развития минерально-сырьевой базы развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации. Поставлена цель создания «условий для устойчивого обеспечения минеральным сырьем социально-экономического развития и поддержания достаточного уровня экономической и энергетической безопасности Российской Федерации» [60, 66]. В России на геологоразведку в бюджете 2016 г. было выделено в целом около 35 млрд. рублей. В 2018 году на проведение геологоразведочных работ на углеводородное сырье было направлено 14,3 млрд. рублей бюджетных средств, на твердые полезные ископаемые - 5,8 млрд. рублей [42].

Данные дистанционного зондирования играют особую роль в прогнозировании горно-геологических условий. Сопоставление карт геодинамических зон (и зон древних разломов) с планами горных работ позволяет сделать вывод о приуроченности вывалов и других горно-геологических осложнений к вертикальной проекции локальных зон повышенной трещиноватости. Установлено, что около 90% вывалов расположено в пределах таких зон, причём 70% приурочено к их пересечениям (узлам) [42].

На основе различного рода прогнозных решений может быть оценен не только экономический ущерб от изъятия территории месторождения из обращения, но и ожидаемая рентабельность его разработки [42].

Экономическая обоснованность применения методов дистанционного зондирования Земли также имеет значение. Расходы сокращаются за счет [45]:

- отсутствия необходимости организации полевых работ, экспедиций;
- масштабы снимка (может охватывать площади до десятков тысяч квадратных километров).

В итоге полная стоимость работ с применением методов дистанционного зондирования Земли гораздо ниже, чем стоимость с применением традиционных методов исследования подстилающей поверхности [45].

При этом наиболее полное и рациональное использование данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) возможно лишь в комплексе с традиционными геологическими, геофизическими и геохимическими исследованиями. В этом направлении необходима разработка четкого технологического процесса синтеза и обработки разнородной, но одинаково важной в геологическом и поисковом отношении информации [41, 44].

1.2. Процесс компьютерной обработки спутниковых снимков

Эффективное проведение мониторинга позволяет рационально использовать потенциал территорий всей страны [4].

Дистанционные методы наблюдения Земли из космоса [47] получают информацию об объекте на расстоянии и чаще всего дают возможность измерить не интересующие параметры объектов, а только величины, связанные с данными параметрами. Так как аппаратурой спутника регистрируется интенсивность светового потока в разных участках оптического диапазона, для осуществления оценки состояния объектов земной поверхности требуются предварительные исследования и эксперименты. К таким исследованиям можно отнести оценку на основе контактных методов, а также с самолета со-

стояния растений, отражательной способности листьев в различных участках спектра и в условиях различного взаимного расположения листьев, источника света (Солнца) и измерительного прибора. После этого возможен переход к анализу состояния посевов с использованием спутниковых данных [36].

Современные научные исследования и практика спутникового мониторинга территорий основаны на классификации спутниковых снимков.

Также растет внимание специалистов к методам гиперспектральной и радарной съемки и, соответственно, методам обработки и интерпретации изображений указанного типа.

Для обеспечения функционирования мониторинга внедряются новые средства и технологии, системы наблюдений, сбора и обработки информации, в том числе на основе данных дистанционного зондирования Земли как наиболее объективных и оперативных в применении. Это позволяет давать прогноз изменения состояния объектов земной поверхности [54].

ГИС (Географическая информационная система) является комплексом программного и аппаратного обеспечения, позволяющего манипулировать пространственными данными, а также большой отраслью, включающей, помимо визуализации, анализ данных, статистику, программирование [10, 11, 122, 124].

Наиболее оперативная информация, полученная аэрокосмическими методами, важна для ГИС, которые предназначены для решения различных научно-практических задач. В интегрированных ГИС, содержащих картографическую и аэрокосмическую информацию, объединяются векторные картографические и растровые дистанционные (линейные и пиксельные) данные [38].

В настоящее время автоматизация обработки аэрокосмической информации, в частности изображений земной поверхности, остаётся актуальной задачей [114]. Автоматизированная обработка аэрокосмической информации позволяет эффективно решать научные и прикладные задачи горнопромышленной отрасли, в области картографии, исследования природной среды, оке-

анологии, поиска и освоения полезных ископаемых, сельского и лесного хозяйства и многих других областях [4, 54, 115].

Компьютерная обработка снимков способствует осуществлению процессов [38]:

- геометрического преобразования снимков
- изготовления фотопланов и фотокарт;
- яркостных и цветовых преобразований снимков;
- получения количественных характеристик;
- визуализация цифровых данных ДЗЗ (дистанционного зондирования Земли);
- дешифрирования снимков (классификации).

Различают следующие основные этапы компьютерной обработки аэрокосмического изображения [38]:

- ввод изображений и их внутреннее представление;
- координатная привязка снимков и осуществление фотограмметрического преобразования;
- осуществление геометрической коррекции;
- осуществление предварительной обработки снимка;
- дешифрирование.

В рамках первого этапа обработки аэрокосмических снимков осуществляется ввод изображений в компьютер и последующее их внутреннее представление. Информацию, полученную при помощи saniрующих систем и принимаемую в цифровой форме, можно считать наиболее удобной для компьютерной обработки. Сигналы, полученные сканерами, записываются на специальный носитель, и, после преобразования, осуществляется их ввод в компьютер. В случае использования фотографических аэрокосмических снимков важными характеристиками фотограмметрических сканеров является геометрическая и радиометрическая (яркостная) точность. Для решения внутреннего представления изображения в системе чаще всего используется представление в виде таблицы (матрицы) [38].

С математической точки зрения цифровое изображение можно представить в качестве двумерной матрицы $Im[x,y]$, имеющей размер $DimX \times DimY$. В данном случае x – целое число от 0 до $DimX-1$, соответствующее элементу в строке матрицы, y – целое число от 0 до $DimY-1$, соответствующее строке матрицы, которой элемент принадлежит. «При этом сам элемент цифрового изображения (ячейка прямоугольной матрицы) носит название пиксель (pixel, picture element). Каждому пикселю соответствует пропорциональное значению $f(x,y)$ функции распределения яркости в данной точке плоскости скалярное целочисленное значение» [9].

Сигналы – это функции одной или более независимых переменных [108]. Например, речевой сигнал представляется как функция времени, а фотографический образ – функция яркости от двух пространственных переменных [62].

Если поверхность экрана дополнить осями координат (x, y) , а функцией $g(x, y)$ выразить яркость точки экрана, описанная функция вполне может считаться одним из видов сигнала [82].

Особенным свойством изображений в качестве двумерных сигналов является связь между соседними отдельными элементами, а не их независимое друг от друга изменение. Следовательно, имеет место локальный характер большей части алгоритмов преобразования изображений. В данном случае происходит обработка изображения сразу по группам элементов, располагающихся в некоторой окрестности вокруг данного [107].

После того, как изображение загружено в компьютер переходят к следующему этапу его обработки, имеющему целью перевод изображения в необходимую картографическую проекцию и заключающемуся в осуществлении координатной привязки снимка и его геометрического преобразования. Координатная привязка и геометрическая коррекция информации, поступающей со спутников, осуществляется в автоматизированном режиме по орбитальным данным. В случае, когда используются аэрофотоснимки, задачи координатной привязки и геометрического преобразования помогают решить

опорные точки, которые становятся основой для проведения фотограмметрической обработки изображений [38].

Геометрические искажения являются следствием различных причин, очень часто совместно действующих. Различным типам космических снимков соответствуют различные комбинации указанных причин [26, 38].

Кривизна поверхности Земли является одной из причин геометрических искажений снимков. Точки местности, подвергаемой сканированию, не принадлежат одной плоскости. Причем сканирование под углом к поверхности Земли, а не в надире. В результате, «в случае удаления от центральной линии сканирования, где съемка ведется в надире, происходит увеличение искажения формы и размера объектов» [26, 38].

Искажение формы объектов приводит к тому, что прямая линия на местности может получиться кривой на снимке, квадрат становится прямоугольником и так далее. Если угол обзора сканера невелик, данным типом искажения можно пренебречь [26, 38].

На снимках, полученных при помощи оптико-механического сканера (AVHRR, ETM, MSS спутника Landsat, MODIS, Aster (тепловой инфракрасный диапазон)), может возникнуть искажение масштаба. При удалении от центральной линии снимка происходит уменьшение масштаба. Иными словами при одинаковом размере пикселя, пиксель боковой области снимка будет описывать большую площадь Земли, чем пиксель центральной области снимка. Технология получения снимков при помощи ПЗС (прибор с зарядовой связью) позволяет избежать искажений масштаба (спутники SPOT, IRS, Ikonos, датчик Aster (ближний и коротковолновый инфракрасный диапазон)) [26, 38].

Вращение Земли и неровности рельефа также являются причинами геометрических искажений на снимках. Причем неровности рельефа вызывают искажения, аналогичные искажениям, вызываемым кривизной поверхности Земли. Однако задача устранения искажений, образованных в результате наличия неровностей рельефа, сложнее (формы рельефа более сложны,

по сравнению с формой Земли, близкой к сфере). Так как космические снимки получают аппараты, находящиеся на большой высоте, то влияние форм рельефа незначительно. Однако в процессе съемки горных областей данный тип искажений учитывается [26, 38].

Так как во входном изображении присутствуют шумы и искажения, предварительную обработку изображений осуществляют практически всегда, вне зависимости от способа получения снимка (сканирование, фотографирование). Условия фотосъемки или сканирования, обработки фотоматериалов могут спровоцировать появление искажений яркости объектов. Локальные искажения плотности изображения, проявляющиеся в виде точек, также могут иметь место и обуславливать появление на снимках объектов, которых нет в действительности (солнечные блики, тень облаков). Несущественные для поставленной задачи объекты, присутствующие и на снимке, и в действительности, могут создавать информационный шум и затруднять процесс дешифрирования (линии электропередач, мелиоративная сеть при составлении карты растительности). На данном этапе обработки изображения для повышения контрастности изображения и устранения мелких деталей осуществляются такие операции, как коррекция гистограммы, фильтрация, устранение шума. Синтез цветных изображений, квантование по уровням оптической плотности, изменение контраста, подчеркивание границ контуров осуществляются на основе выполняемых при помощи аналоговых устройств яркостных преобразований изображения. [26, 38].

Дешифрирование (выделение границ объектов или сегментация) относится к наиболее сложным этапам компьютерной обработки изображения. В процессе дешифрирования специалисты опознают и выделяют однородные объекты, основываясь на дешифровочных признаках. Следует отметить, что подход, в основе которого лежит применение спектральных признаков и базирующийся на том, что в разных спектральных зонах яркость имеющих определенную окраску (хроматических) объектов непостоянна и обладает такой характеристикой, как коэффициент спектральной яркости, широко распро-

странен. В результате каждому пикселю ставится в соответствие яркость объекта в определенной области электромагнитного спектра [38].

Сегментацию можно отнести к наиболее важным этапам в процессе анализа цифровых изображений, и ее методы широко применяются во многих прикладных областях. В настоящее время растет интерес к области дистанционного зондирования Земли из космоса. Методы сегментации нашли применение и в данной области [68].

Основной задачей этапа сегментации является разделение цифрового снимка на области (сегменты) в соответствии с определенным критерием. То есть исследуется однородность (похожесть) спектральных и/или пространственных (текстура, размер, форма или контекст) характеристик изображений [68]. Большинство алгоритмов сегментации, обрабатывающих RGB-изображения, являются модификациями одного из трех основных методов: пороговая сегментация, наращивание областей и выделение границ [32, 33, 91]. После разбиения изображения на однородные области проводят их классификацию [38]. К числу распространенных подходов к сегментации спутниковых изображений относится описанный в [68] подход, основанный на применении алгоритмов кластеризации данных («data clustering»).

Классификация сегментов позволяет получить тематическую карту для использования в формате одной из ГИС [47] и для проведения с ее помощью дальнейшей обработки результатов, получения различных количественных характеристик (таких как площадь или протяженность границ контуров, суммарная площадь объектов определенного типа) [38].

В настоящее время существуют различные алгоритмы машинного дешифрирования (с обучением и без обучения) для выполнения контролируемой и неконтролируемой классификации данных. Алгоритмы, в которых учитывается вероятность того, что объект определенного класса, присутствует на снимке, в настоящее время широко распространены, и для их разработки применяют опытные данные о взаимосвязи свойств объектов и их спектральной яркости. Выявлено, например, что наблюдается корреляция спек-

тральной яркости почв с их гранулометрическим составом и содержанием в них гумуса и влаги. Данная зависимость используется при дешифрировании почв [38].

Алгоритмы классификации без обучения дают возможность, без использования обучающих данных и учета формального содержания элементов, разделить изображение на отдельные классы путем объединения по формальным признакам элементов изображения в группы (кластеры). После этого осуществляют соотнесение объектов и выделенных в результате объединения пикселей кластеры. Таким способом можно получить, например, почвенную карту, отражающую распределение почв по степени увлажнения [38].

1.3. Информативность и доступность космической информации

Важную роль в цифровой обработке изображений играет оценка их качества. При этом в силу субъективности человеческого восприятия оценка визуального качества изображений представляет собой сложную трудноформализуемую проблему. В качестве меры информативности изображений (в том числе и при зондировании территорий с растительным покровом) часто используется понятие информационной энтропии Шеннона, устанавливающей среднее количество информации на пиксель изображения:

$$S(x) = -\sum_{i=1}^n p(i) \log_2 p(i) = \sum_{i=1}^n p(i) \log_2 \frac{1}{p(i)} \quad (1.1)$$

где x – независимые (неравновероятные) случайные события с n возможными состояниями (от 1 до n , p – функция вероятности)

Эта величина также называется средней энтропией сообщения. Энтропия в формуле Шеннона является средней характеристикой – математическим ожиданием распределения случайной величины i_1, i_2, \dots, i_n .

Рассмотрим информативность и доступность спутниковой информации с точки зрения характеристик установленного на космических аппаратах оборудования. Современные оптико-электронные системы ДЗЗ позволяют получать панхроматические, многоспектральные и гиперспектральные изображения. Панхроматические снимки получаются в видимом диапазоне электромагнитного спектра и представляют собой черно-белые изображения высокого разрешения [104, 105]. Многоспектральные (мультиспектральные, многозональные) съёмочные системы получают несколько отдельных изображений для спектральных зон от видимого до инфракрасного диапазонов излучений. Наибольший практический интерес представляют многозональные данные с космических аппаратов нового поколения, таких как RapidEye (5 спектральных зон) и WorldView-2 (8 спектральных зон) [42].

Один из основных параметров спутниковых снимков – пространственное разрешение – наименьший размер объектов изображения, которых можно различить на изображении. На пространственное разрешение оказывают влияние параметры радарной или оптико-электронной системы и высота орбиты спутника. Наилучшее пространственное разрешение достигается при съемке в надир, при отклонении от надира разрешение ухудшается. Спутниковые данные (снимки) могут иметь низкое (более 10 м), среднее (от 10 до 2,5 м), высокое (от 2,5 до 1 м), и сверхвысокое (менее 1 м) разрешение [42, 115].

На Рисунке 1.5 приведена двумерная диаграмма, отображающая пространственное разрешение в метрах (ось X) и ширину полосы съёмки в километрах (ось Y) ряда оптико-электронных спутниковых систем, функционирующих в настоящее время. Наглядно видно, что возможности американского спутника Landsat-8 [2] существенно превосходят возможности других спутников [42].

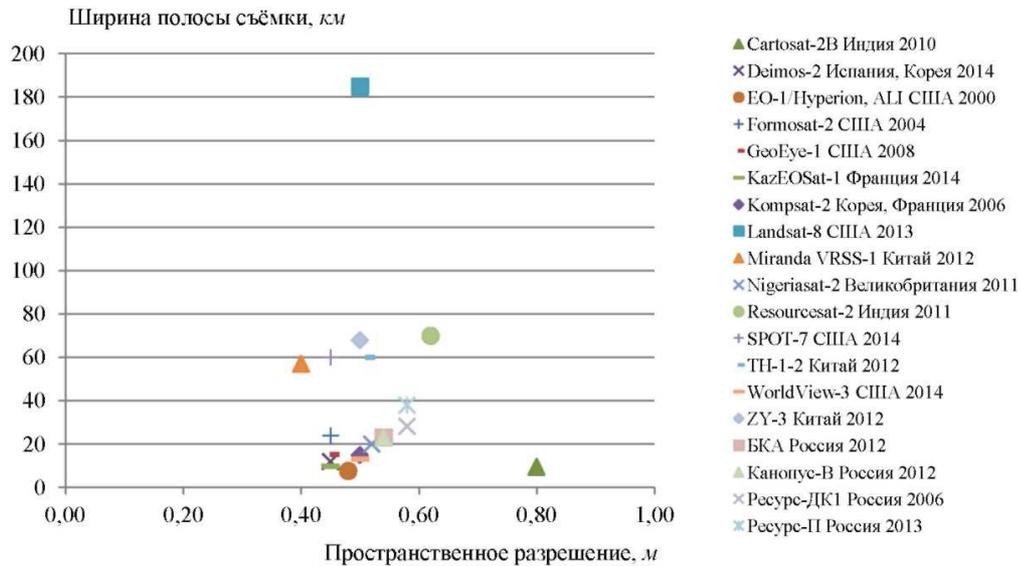


Рисунок 1.5. Диаграмма показателей оптико-электронных спутниковых систем. Источник: [42]

Другой принципиальный подход к исследованию местности реализует радарная космическая съёмка в ультракоротковолновой (сверхвысокочастотной) области радиоволн. Радарные спутники имеют несколько режимов съёмки, характеризующихся различными показателями пространственного разрешения и шириной полосы съёмки. На Рисунке 1.6 приведена диаграмма показателей российского радарного спутника Обзор-Р [42].

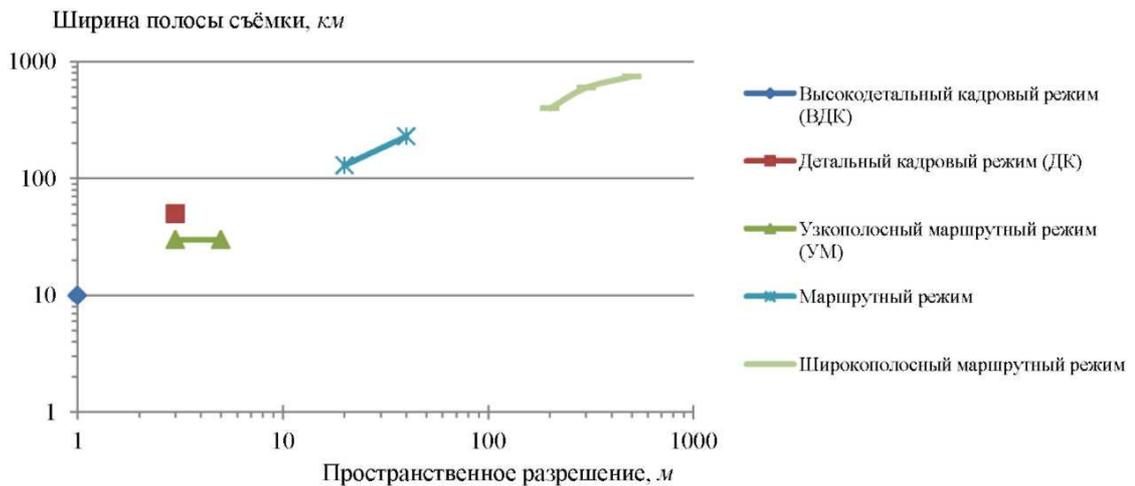


Рисунок 1.6. Диаграмма показателей радарного спутника Обзор-Р. Источник: [42]

Можно сделать вывод, что ни одним из спутников не обеспечиваются все потребности в необходимой информации, так как ни один из датчиков не

позволяет проводить все необходимые измерения подстилающей поверхности [42].

В [59] приведен тщательный анализ геометрических, изобразительных и измерительных свойств оптических и радиолокационных снимков на примере аппаратуры, располагающейся на аппаратах «Ресурс-ДК1», «Кондор-Э», TerraSAR-X.

В результате проведенного анализа в [59] и приведенных данных из [30] и [75] сделан вывод отставании по информативности радиолокационных изображений от оптических снимков при условии обеспечения равного разрешения. В то же время не следует пренебрегать преимуществами [59] радиолокационной съемки, заключающимися, например, в возможности получения снимков при любых погодных условиях или оценки скоростей движения объектов.

Одним из дополнительных методов получения важной информации является применение данных от группировок спутников, которые вращаются по одинаковой орбите с некоторым интервалом между ними [104, 115]. Эта технология позволяет, используя данные, получаемые со спутниковых группировок, отслеживать всё происходящее на территориях с детальной последовательностью и выстраивать наиболее удобную для информационного обеспечения схему.

1.4. Задача реализации системы идентификации и методы ее решения

Современные информационные системы и технологии включают в себя большое количество процедур, моделирующих или поддерживающих процесс интеллектуального анализа данных. К простейшим процедурам такого типа относится любая классификация количественных данных по заданным пользователям критериям, более сложные обеспечивают анализ сцен,

процессов, явлений с целью выделения объектов с заданными характеристиками или свойствами [111].

«Задача классификации по существу представляет собой задачу разбиения пространства признаков на области, по одной для каждого класса. Разбиение это в принципе надо производить так, чтобы не было ошибочных решений. Если этого сделать нельзя, то желательно уменьшить вероятность ошибки, или если ошибки имеют различную цену, то сделать минимальной среднюю цену ошибки. При этом задача классификации превращается в задачу статистической теории принятия решений, широко применяемую в различных областях теории распознавания образов» [24].

Согласно [126] следует различать такие классификации как:

- разделение на два класса (наиболее простой в техническом отношении случай, который служит основой для решения более сложных задач);
- разделение на множество классов (при достижении числа классов значения в пределах многих тысяч (например, при распознавании слитной речи или иероглифов), задача классификации становится существенно более трудной);
- разделение на непересекающиеся классы;
- разделение на пересекающиеся классы (объект может быть отнесен к нескольким классам одновременно);
- разделение на нечёткие классы («требуется определять степень принадлежности объекта каждому из классов, обычно это действительное число от 0 до 1»).

Согласно [126] признаком следует считать отображение $f: X \rightarrow D_f$. Записью D_f обозначено множество допустимых значений признака. При заданных признаках f_1, \dots, f_n вектор $x = (f_1(x), \dots, f_n(x))$ считают признаковым описанием объекта $x \in X$ и часто отождествляют с самими объектами, а множество $X = D_{f_1} \times \dots \times D_{f_n}$ – признаковым пространством (или пространством признаков).

Согласно классификации [126] существуют следующие типы признаков:

- бинарный признак (множество $D_f = \{0,1\}$);
- номинальный признак (множество D_f является конечным);
- порядковый признак (множество D_f является конечным и упорядоченным);
- количественный признак (множество D_f является множеством действительных чисел).

Далеко не все методы подходят для решения прикладных задач, которые предполагают исследование признаков разных типов. Причем такие задачи встречаются очень часто.

В работе [25] предлагается выделить следующие категории признаков:

- количественные и качественные (атрибутивные, описательные);
- прямые и косвенные;
- первичные (учетные) и вторичные (расчетные);
- непрерывные, дискретные и альтернативные;
- интервальные и моментные.

Количественным признакам принадлежит преобладающая роль в статистике. Их выражают числами и используют для описания таких значений, как, например, возраст человека, площадь пашни, среднедушевой доход населения. Атрибутивные признаки являются отражением смысловых понятий, явлений и их содержательной стороны. Такие признаки не выражают численно. Данная группа признаков также включает в себя признаки, описывающие изучаемое явление словесно (номинальные) а также признаки для которые упорядочения рассматриваемых единиц по возрастанию или убыванию (порядковые) [25].

Прямыми (непосредственными) признаками характеризуется сам объект. Косвенными – не сам объект, а совокупности других элементов, которые к данному объекту имеют отношение [25].

Существование первичных признаков объективно. Они не зависят от других признаков и имеют вид абсолютных измерений. К таким признакам можно длину и ширину объекта, количество объектов. Вторичные признаки образуются в результате осуществления преобразований, проведения расчетов или исследований, и математически их можно выразить при помощи арифметических соотношений или функций первичных данных [25].

Количественные признаки, которые не имеют промежуточных значений между отдельными значениями числового ряда, называют дискретными. Признаки, способные принять любое значение в указанном диапазоне, называются непрерывными. Непрерывными признаками чаще всего становятся расчетные величины и могут быть представлены любым действительным числом (на практике необходимость округления до определенного знака после запятой). Признаки, принимающие только два значения (свойство присутствует у объекта или нет), называются альтернативными [25].

Интервальные признаки со значениями, возникающими только за определенный (год, месяц, сутки, час) интервал времени, используют для описания результатов процессов. Состояние объекта в определенный момент времени характеризуется моментными признаками [25].

В работе [103] выделяют такие виды признаков как: детерминированные, вероятностные, логические, структурные.

Характеристики объектов с конкретными и постоянными числовыми значениями (к таким характеристикам можно отнести длину, ширину, высоту, форму) относят к детерминированным. Числовые значения признаков для каждого объекта можно интерпретировать как координаты точек в двумерном пространстве признаков. Идентификация осуществляется путем сравнения полученной информации с имеющимися в базе данных характеристиками объекта [103].

Случайным характером вероятностных признаков (оттенки цвета, особенности эксплуатации, искаженность, загрязненность объекта) обуславливается возможность получения признаком одного класса значений из области

значений других классов, каждый из которых подлежит идентификации в системе [103].

Для обеспечения возможности идентификации в вероятностной системе необходимо, чтобы вероятность принадлежности данного признака к классу была больше чем вероятности принадлежностей остальных признаков. Иначе невозможно построение системы, использующей описание классов на основе данного признака. В таком случае эффективность признака недостаточна для успешной классификации, поэтому необходим поиск других признаков, имеющих большую разделительную способность [103].

К логическим признакам идентификации относят характеристики объекта, имеющие вид элементарных высказываний об истинности («истина», «ложь») и являющиеся качественными суждениями о том, присутствуют ли объекта какие-либо составляющие или свойства. Для каждого из этих признаков можно либо выявить его наличие, либо нет. Логическими можно считать признаки, для которых не важна величина, важен лишь факт попадания или непопадания ее в заданный интервал. (Например – высота более 1 м.).

Структурные признаки – это непроеизводные элементы являющиеся частью исследуемого объекта (его составляющие). Наличие структурных признаков является следствием детального анализа объектов при рассмотрении изображений с ее специфическими особенностями и трудностями [103].

Структурное описание, согласно [103], в отличие от разложений (ряды Фурье, полиномы Эрмита, Лаггера, Лежандра, Чебышева) имеет ряд достоинств:

- легкость понимания для субъекта, занимающегося решением задачи идентификации объекта;
- легкость автоматизации процесса с использованием средств вычислительной техники;
- меньшие трудоемкость вычислений и потеря информации.

Оперируя ограниченным числом атомарных элементов, можно получить описание различных объектов. Иными словами, отличающиеся объекты

могут иметь набор составленных из идентичных непроеводных элементов комбинаций. Для успешного описания объектов необходимо вводить правила комбинирования элементов, определяющие способы построения объекта. В результате два идентичных непроеводных элемента, принадлежащих различным объектам, можно объединить объединены по различным правилам [103].

В результате связей из непроеводных элементов (структурных признаков) образуется объект. Такой подход близок к формированию слов из ограниченного набора букв. В указанном случае прослеживается аналогия между структурными методами и естественным языком (его синтаксисом). Поэтому структурные признаки имеют еще несколько названий: лингвистические, синтаксические [103].

Число работ и разнообразие методов идентификации делает практически невозможной достаточно полную их характеристику [109].

Согласно [20] следует выделить методы идентификации:

- шаблонные;
- структурные;
- признаковые;
- структурно-пятенные эталонные методы;
- нейросетевые.

При применении шаблонных методов осуществляется преобразования изображения отдельного объекта в растровое представление, которое потом сравнивается со всеми имеющимися в базе шаблонами. После сравнения выбирается шаблон с минимальным числом отличных от входного изображения точек [17, 20, 118].

В основе структурных методов лежит представление объекта в качестве графа. При этом элементы входного объекта – узлы, а пространственные отношения между ними – дуги графа. Реализующие данный подход методы, в основном, используются при работе с векторной графикой. Линии, которые составляют символ, являются структурными элементами. Каждому получен-

ному контуру скелетного представления соответствует описание «в виде последовательного набора особых точек и «цепного» кода, состоящего из точки привязки, числа кодов и массива направлений из текущей точки к следующей» [20, 39, 118].

В основе признаков методов лежит понятие N -мерного вектора признаков, который ставится в соответствие изображению. Процесс распознавания сводится к сравнению его с набором эталонных векторов, имеющих такую же размерность. «Задача распознавания, принятия решения о принадлежности образа тому или иному классу, на основании анализа вычисленных признаков, имеет целый ряд строгих математических решений в рамках детерминистического и вероятностного подходов» [1, 24]. Системы распознавания символов наиболее часто реализуют классификацию, основанную на расчете евклидова расстояния «между вектором признаков распознаваемого символа и векторами признаков эталонного описания». Качество распознавания в определенной степени зависят от типа и количества признаков. В процессе анализа предварительно подготовленного изображения и формируется вектор признаков (производится «извлечение признаков»). В процессе идентичной обработки изображений символов обучающей выборки для каждого класса получают эталонные векторы признаков [20, 118].

Признаковые методы имеют определенные достоинства. Они характеризуются простотой реализации, хорошей обобщающей способностью, хорошей устойчивостью к изменениям формы символов, низким числом отказов от распознавания, высоким быстродействием. Однако признаковые методы не обладают устойчивостью к различным дефектам изображения. И это наиболее серьезный их недостаток. Кроме того этап извлечения признаков влечет за собой необратимую потерю части информации о символе. Теряется и информация о взаимном расположении элементов символа утрачивается вследствие независимого извлечения признаков [20].

Наблюдается зависимость возможных различных методов идентификации и «разных форм представления математических моделей обыкновенных

дифференциальных, разностных уравнений, уравнений свертки и т.д.». При этом для идентификации всех видов математических моделей не было предложено универсального метода. Отдельным областям применения соответствуют определенные методы идентификации [21].

Согласно [21], такие признаки, как:

- способ тестирования (активные и пассивные);
 - характер используемых сигналов (детерминированные и статические);
 - признак временных затрат (оперативные и ретроспективные);
- дают еще один взгляд на методы идентификации.

Активные методы предполагают специально сформированные тестовые сигналы детерминированного или случайного характера. Когда объект функционирует в нормальном режиме и применяют пассивные методы идентификации, параметры модели определяют на основе результатов статистической обработки наблюдений [21].

Оперативная идентификация характеризуется тем, что ведется постоянная фиксация изменений характеристик объекта, на основе чего «в реальном времени на каждом шаге поступления новых измерений» уточняются параметры модели. Когда же собран весь массив данных, а характеристики и параметры получают в результате его обработки, то говорят о ретроспективной идентификации [21].

В общем случае задачу идентификации, согласно [21] можно свести к поиску значений операторов модели, которые трансформируют входные воздействия на объект в выходные значения [76, 110, 116]. Более подробно определенные аспекты данной задачи рассматриваются и в работах [3, 18, 28, 48, 50, 51, 58, 61, 63, 76, 81, 87, 88, 102, 110, 116, 117].

В п. 1.2 рассмотрен процесс обработки спутниковой информации. В рамках данного исследования уделялось внимание такой компоненте модели объекта (согласно [21]), как исходящий сигнал (солнечный свет, поглощенный или отраженный поверхностью), сохраненный в виде цифровых изобра-

жений. При этом любой протяженный объект [67] земной поверхности можно нанести на двумерное графическое изображение [14].

Следовательно, задачу обнаружения границ объектов на цифровом изображении можно сформулировать следующим образом. Пусть имеется цифровое изображение – двумерная матрица пикселей размером $W \times H$, в которой каждый пиксель представлен некоторым неотрицательным числом (0–255 в случае черно-белого изображения или 0–255³ в случае цветного изображения). Требуется определить список контуров, построенных по границам объектов, присутствующих на изображении:

$$LeanPolygon_i = \{x, y, pointsx, pointsy\}, \quad (1.12)$$

где x, y – координаты центра i -го контура, $pointsx$ – массив с координатами x принадлежащих границам контура точек, $pointsy$ – массив с координатами y принадлежащих границам контура точек.

Однако идентификация объектов земной поверхности на снимках, полученных в результате ДЗЗ, а также измерение координат неподвижных и подвижных целевых объектов на фоне этой поверхности являются, с одной стороны, весьма актуальными, с другой стороны, трудно реализуемыми задачами космического мониторинга. При моделировании соответствующих процедур приходится сталкиваться с проблемами нечеткости на всех этапах получения, обработки информации и интерпретации результатов [121].

В общем случае, неопределенность всегда выражает определенную информационную неполноту. Тем самым предполагается, что информация описывается в терминах и оценивается в единицах снятия неопределенности, и, в рамках выбранных математических моделей, можно утверждать, что количество информации увеличивается в результате уменьшения неопределенности [121].

Как правило, преобразование данных ДЗЗ осуществляется с использованием основных «четырёх моделей геоданных (Таблица 1.2): растровой, изображения, тематической и объектной» [106, 121].

Таблица 1.2 Ошибки и неопределенности, относимые к моделям [121]

	Растровая модель S_F	Модель изображения S_I	Тематическая модель S_T	Объектная модель S_O
α	Измерение и точность	Дискретизация в спектров и динамического диапазона	Неопределенность и ошибка классификации	Неточность идентификации и типа объекта
β	Место-определение и точность	Точность дискретизации	Композиционные ошибки в ходе интеграции данных с разными пространственными свойствами	Ошибки формы и топологии объекта
γ	Временная ошибка и точность	Обычно не существенны	Комбинационные эффекты при объединении данных, различными временными свойствами	

В Таблице показаны относимые к вышеперечисленным моделям неопределенности следующих видов: α – неопределенность значения исходных данных, β и γ – пространственную и временную неопределенность, соответственно [121].

Несмотря на это, следует подчеркнуть, что при условии обеспечения большого пространственного и временного охвата информационные технологии, основанные на спутниковом мониторинге, обеспечивают потребителя достоверной информацией и высокий уровень адаптивности к его запросам [40]. Причем, несмотря на нечеткость и неопределенность, имеющиеся в открытых данных дистанционного зондирования Земли, подобные материалы в растровом формате могут быть обработаны в соответствии с поставленной выше задачей, которая и решается в данной диссертационной работе.

ВЫВОДЫ

1. Анализ текущего состояния области аэрокосмического мониторинга показал, что в настоящее время имеются широкие возможности применения данных спутникового мониторинга.

2. На основании анализа уровня программной обеспеченности практики горнопромышленных предприятий установлено, что в основном используются программные пакеты общего назначения, которые не охватывают весь функционал эффективного ведения и управления производством и недропользованием.

3. Анализ методической базы области исследования свидетельствует о наличии направлений повышения эффективности использования открытых данных спутникового мониторинга и интеллектуальных методов их обработки.

4. Обоснована цель диссертации, определен круг задач исследований и методы их реализации.

2. МЕТОДИКА ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПРОТЯЖЕННЫХ ОБЪЕКТОВ (МИПО)

2.1. Получение и предварительная обработка цифровых изображений

Исследования по математическому описанию и анализу изображений были начаты в 50-х годах 20-го века, но только в 70-х годах эти исследования привлекли большое внимание ученых во всем мире и стали проводиться очень интенсивно и по широкому фронту, что вызвано необходимостью автоматического анализа изображений в различных приложениях. Кроме того, появление прогресс вычислительной техники позволяет реализовать в реальном времени более эффективные алгоритмы обработки изображений, чем это было возможно ранее [46].

В настоящее время спутниковые ЦИ сверхвысокого разрешения используются для решения различных задач, таких как мониторинг водоемов и растительности, выявление очагов лесных пожаров, контроль природопользования. Задача автоматического распознавания объектов на спутниковых ЦИ сверхвысокого разрешения является важной частью в решении задачи интерпретации данных, получаемых из систем ДЗЗ [69].

Процесс обработки изображений вырос в одну из наиболее актуальных проблем, в рамках которой решаются разнообразные фундаментальные и прикладные задачи. В составе широко распространенных пакетов прикладных программ (например, MATLAB, MATHCAD и др.) имеются самостоятельные модули для программной обработки цифровых изображений [80].

Специфика компьютерного представления видеоинформации заключается в дискретном представлении изображений в памяти компьютера (наличии растровой структуры). Для представления изображения используется прямоугольная матрица точек, имеющих определенные (целое число в интервале от 0 до 255) цвет и яркость [74]. Подобная матрица используется для

поиска форм, выделения их границ и сравнения между собой или с некоторыми эталонами для обеспечения классификации и обеспечения понимания компьютером представленной на изображении сцены [52].

Процесс анализа графического изображения и распознавания объектов интереса на изображении разобьем на несколько этапов [103]. Однако прежде следует отметить, что распознавание образов относится к весьма сложным процессам, в общем случае не имеющим решения посредством четко заданных алгоритмов [128]. Кроме того, на сегодняшний день при решении задач распознавания объектов на изображениях достигнуты значительные успехи, однако существует «ряд сложностей, которые существенно снижают надежность применения современных методов, усложняют процесс распознавания, делают его более громоздким, увеличивают объем и время вычислительных процессов» [23]:

- у обрабатываемых изображений может быть низким, что препятствует четкому различению признаков;
- у обрабатываемых изображений может быть сложная фоновая структура, подразумевающая присутствие посторонних объектов со схожими с искомым объектом визуальными признаками;
- влияние полученных в процессе регистрации изображений различных искажений;
- регистрация изображений может проводиться при плохих погодных условиях, неудачных ракурсах или различных углах и условиях освещения (что приводит к появлению различных шумовых помехи);
- число искомых объектов на изображении может быть не известно заранее.

Разработанная методика [67] для обработки снимков для решения вышеописанной задачи включает следующие шаги:

1. Определение объекта исследования и выбор информации из открытых 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.

Начало процесса обработки изображений связано с процессом регистрации изображения с помощью специальной системы формирования (не обязательно должна быть оптической). Соответствующая система формирования изображений может быть выбрана в техническом или научном применении. Также могут быть подобраны подходящая система освещения и наилучший диапазон длин волн или заданы иные опции для обеспечения наилучшего качества фиксирования интересующего признака объекта [120].

В большинстве случаев ЦИ получают из естественного непрерывного изображения (исключением являются искусственные изображения, испытательные таблицы или томограммы) [73]. Неизбежна связь процессов ввода изображения в компьютер и дискретизации изображений (по пространственным координатам и по яркости) вследствие способности цифровой памяти компьютера хранить только массивы данных [53].

На Рисунке 2.1 представлено непрерывное изображение (функция $f(x_1, x_2)$ от двух пространственных переменных x_1 и x_2) на ограниченной прямоугольной области [53].

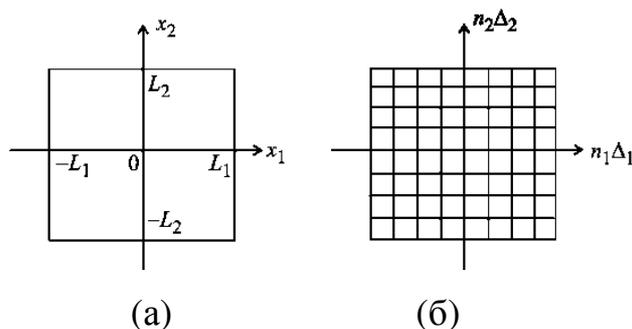


Рисунок 2.1 – Процесс перехода от непрерывного (а) к дискретному (б) изображению. Источник: [53]

Для введения понятия «шаг дискретизации» (имеет значение Δ_1 по пространственной переменной x_1 и Δ_2 – по переменной x_2) предположим наличие в точках оси x_1 , находящихся друг от друга на удалении Δ_1 , точечных видеодатчиков. При условии, что подобные видеодатчики будут занимать всю прямоугольную область, для описания изображения может быть использована двумерная решетка [53]:

$$\begin{aligned} f(n_1\Delta_1, n_2\Delta_2) &= f(x_1, x_2) \Big|_{x_1=n_1\Delta_1, x_2=n_2\Delta_2} \\ f(n_1\Delta_1, n_2\Delta_2) &\equiv f(n_1, n_2) \end{aligned} \quad (2.1)$$

$f(n_1\Delta_1, n_2\Delta_2)$ – это функция двух дискретных переменных, называемая двумерной последовательностью. Иными словами, при дискретизации по пространственным переменным происходит преобразование изображения в таблицу с выборочными значениями. Определение размерности таблицы (числа строк и столбцов) происходит с учетом геометрических размеров исходной прямоугольной области и выбранного шага дискретизации [53]:

$$N_1 = \left[\frac{2L_1}{\Delta_1} \right], N_2 = \left[\frac{2L_2}{\Delta_2} \right], \quad (2.2)$$

где [...] обозначена целая часть числа.

В том случае, когда область определения непрерывного изображения имеет квадратную форму ($L_1=L_2=L$), а шаг дискретизации по осям x_1 и x_2 одинаков ($\Delta_1 = \Delta_2 = \Delta$), то

$$N_1=N_2=N \quad (2.3)$$

и размерность таблицы составляет N^2 [53].

Элемент таблицы, полученной путем дискретизации изображения и есть «пиксель», или «отсчет» [53].

На первом шаге осуществляется загрузка снимков (Рисунок 2.2) из открытых источников, то есть получение исходного одиночного изображения исследуемого объекта [103]. В рамках исследования были исследованы снимки, полученные из открытых источников (Таблица 2.1) при помощи программ SasPlanet, GoogleEarth, а также загруженные из каталогов Совзонд

[13], Сканэкс [31, 90]. На момент получения данных [55] из Таблицы 2.1 каталог спутниковых снимков Совзонд был доступен без регистрации. Сейчас архивные снимки предоставляются по запросу.

Таблица 2.1 – Сравнение спутниковых изображений из открытых источников

Источник	Спутники	Пространственное разрешение	Размеры получаемых снимков
Sas Planet	Yandex, Google	Масштабная шкала условно делится на 24 диапазона (ступени) – от 1 (самый мелкий масштаб) до 24 (самый подробный). Каждому диапазону соответствует определённое разрешение снимка. Чем выше масштаб, тем выше разрешение снимка. z14-z15 соответствует разрешению примерно 10 м./пиксель. z18 соответствует разрешению менее 1 м./пиксель.	Зависит от загружаемой области и выбранного масштаба. Можно получить изображения и 100x100 пикселей, и 1000x1000 пикселей
Google Earth	Google	Имеется возможность получить снимки с пространственным	При использовании функции

Продолжение Таблицы 2.1

Источн ик	Спутники	Пространственное разрешение	Размеры получаемых снимков
		разрешением менее 1 м./пиксель.	«копировать изображение» зависит от размеров рабочего окна программы и разрешения экрана (в рамках исследования были получены снимки с размерами 624x536 и 1132x536)
Совзонд	Alos Prism, Alos Avnir, БКА, Deimos-1, GeoEye, Ikonos, Канопус-В ПСС, Канопус-В МСС, KOMPSAT-2, KOMPSAT-3, KOMPSAT-3A, Planet, Pleiades, QuickBird, RapidEye, Ресурс-П, Spot 6, WorldView-1,	Заявлена возможность получить снимки со спутников, предоставляющих данные с пространственным разрешением от 0,3 м./пиксель до 22 м./пиксель	Зависит от спутника, с которого предоставляются данные. В среднем размеры снимка от 1000 пикселей до 3000 пикселей по ширине и длине

Окончание Таблицы 2.1

Источники	Спутники	Пространственное разрешение	Размеры получаемых снимков
	WorldView-2, WorldView-3		
Сканэкс	0,3-0,5 м./пиксель WorldView-4, WorldView-3, WorldView-2, WorldView-1, GeoEye-1, Pleiades-1A/1B, QuickBird, KOMPSAT-3A, SuperView-1 01-04 0,7-2 м./пиксель KOMPSAT-3, Ikonos, GaoFen-2 KOMPSAT-2, TrippleSat, РЕСУРС-П 1-3 (1 м), SPOT 6/7, GaoFen-1 (2 м) >2 м./пиксель GaoFen-4, ZiYuan 3, РЕСУРС-П 1-3 (4 м), SPOT 5, GaoFen-1 (16 м) Панхром (ч/б) РЕСУРС-П, SPOT 5 (5м)	Заявлена возможность получить снимки со спутников, предоставляющих данные с пространственным разрешением от 0,3 м./пиксель до 50 м./пиксель	



Рисунок 2.2 - Пример исходного изображения с запечатленным на нем объектом добычи полезных ископаемых открытым способом

На следующем этапе производится предварительная обработка изображения. Этот процесс также предусматривает несколько этапов. К ним относятся кодирование и фильтрация [79, 119]. С целью упрощения процесса распознавания, кодирование желательно производить в двоичной системе. При этом каждый пиксель изображения может принимать только два значения: 1 и 0 [103].

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 2.3 в порядке уменьшения частотности применения: прямоугольный, шестиугольный (гексагональный) и треугольный.

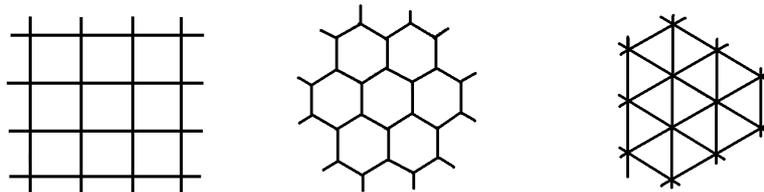


Рисунок 2.3 - Основные виды растров

Формирование бинарных изображений (Рисунок 2.4) – разновидность сегментации исходной сцены по яркости – может быть осуществлено путем ограничения по яркости на уровне глобального (постоянного для всей сцены) порога, рассчитанного по одной из известных методик [5, 101].

При этом слишком низкий порог может привести к выделению большого числа пикселей и к появлению на изображении широких, нечетко определенных границ. В то же время слишком высокий порог приводит к разбиению границы на отдельные сегменты [115].

Интересны также резкие изменения яркости изображения. Во-первых, такие резкие изменения чаще всего возникают на границах объектов – это может быть изображение светлого предмета на темном фоне или темного предмета на светлом фоне. Во-вторых, резкие изменения яркости часто бывают «следствием изменения отражательной способности на достаточно характерных структурах – как полосы на зебре или пятна на леопарде». Наконец, к резким изменениям яркости изображения также часто приводит резкие изменения ориентации поверхности [99].

В основных методах ED (Edge detection, или Выделение границ) края моделируются в виде резких изменений яркости. Один из методов основан на том, что «самые быстрые изменения происходят при исчезновении двумерного аналога второй производной». Подобный подход на практике уже не применяется, представляя только историческую ценность. Явный поиск точек, в которых градиент достигает экстремума, составляет альтернативный метод [99].



Рисунок 2.4 - Исходное изображение (Рисунок 2.2) после кодирования (бинаризации)

Известно достаточно много методов фильтрации [27] и сегментации изображений. Различные факторы возникновения шумов и помех и формы

представления изображений определили обширное их многообразие [8, 80, 100]. Большое значение имеют и методы улучшения изображений, позволяющие повысить заметность интересующих деталей на изображении [73, 98].

Для изображения на прямоугольном растре в рамках предлагаемой методики предлагается предварительно провести анизотропную фильтрацию (2.4). 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 – просматриваются последовательно все пиксели изображения, в котором только 1 и 0, а у каждого пикселя 8 соседей. В зависимости от полученной суммы вычисляется новое значение для текущей обрабатываемой точки:

$$b_{mn} = \begin{cases} 0, \text{ если } \sum_{i=0}^7 k_i \in \{1,2,3\} \\ 1, \text{ если } \sum_{i=0}^7 k_i \in \{6,7,8\} \\ b_{mn}, \text{ если } \sum_{i=0}^7 k_i \in \{4,5\} \end{cases} \quad (2.4)$$

Иными словами, если сумма кодов этих соседей ≥ 6 , то в рассматриваемом пикселе записывается 1, независимо от того, что там было до этого, если сумма кодовых значений соседей ≤ 3 , записывается 0, если сумма кодовых значений соседей 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, при-

надлежащих изображению. Такая фильтрация практически не влияет на точность получения признаков.

Математическая морфология (Рисунок 2.5) включает в себя геометрический анализ форм и текстур изображений [77, 129].

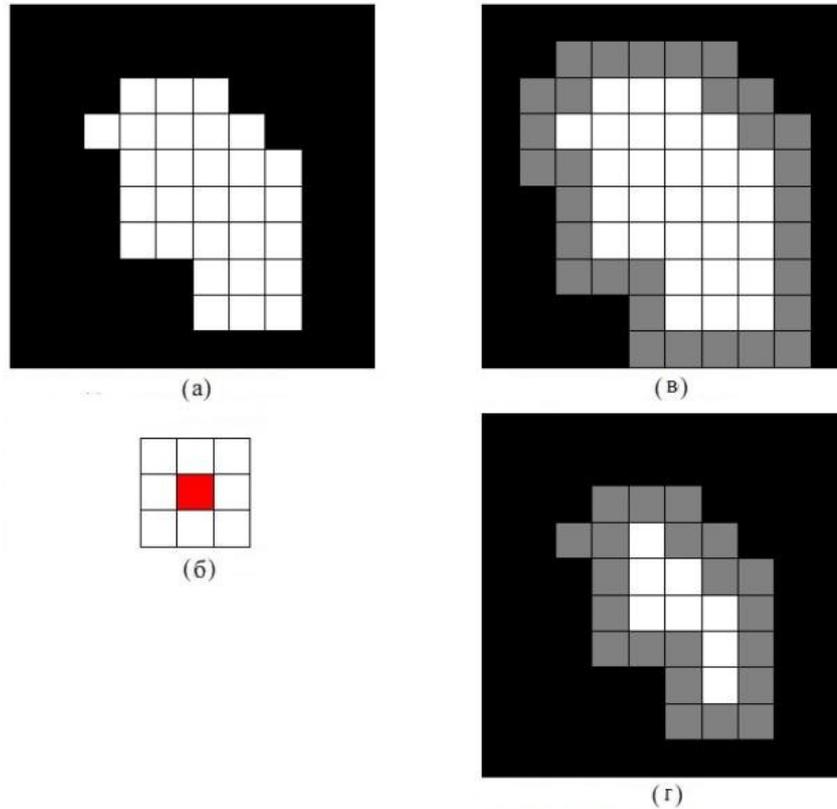


Рисунок 2.5 – Результат морфологических операций Эрозии (v) и Дилатации (г) на исходном изображении (a) с использованием шаблона (б). Источник: [57]

Дилатация (морфологическое расширение) – «свертка изображения или выделенной области изображения с некоторым ядром» [16, 27], которое может обладать произвольной формой (чаще всего выбирается круг или квадрат с центральной ведущей позицией) и размером [112, 127] и рассматриваться в качестве шаблона или маски. При этом в ядре выделяется «единственная ведущая позиция (anchor), которая совмещается с текущим пикселем при вычислении свертки». Операция дилатации сводится, по сути, к проходу по изображению выбранной маской (шаблоном), после чего к интенсивностям накрываемых шаблоном пикселей изображения применяется оператор поиска локального максимума. В результате на изображении наблюдается расширение светлых областей (см. Рисунок 2.5, в) [57].

Эрозия (морфологическое сужение) – обратная дилатации операция [27]. Разница заключается в использовании оператора поиска локального минимума (см. Рисунок 2.5, г) [16, 57].

На Рисунке 2.5, в-г серым цветом помечены точки, которые приобретут белый или черный цвет в зависимости от применения дилатации или эрозии.

Очень часто применяют простые шаблоны размером 3x3 (Рисунок. 2.6). Выбор такой структуры маски связан с тем, что при применении морфологической операции к непрямым линиям в контурах дает положительный эффект сохранения образа внутреннего пространства [97].



Рисунок 2.6 – Крестообразный (а) и квадратный (б) структурные элементы, используемые морфологическими операциями. Источник: [97]

При недостаточном разрешении изображения (слишком крупные пиксели, большая «зернистость») может быть реализовано «суперразрешение» (Рисунок 2.7).

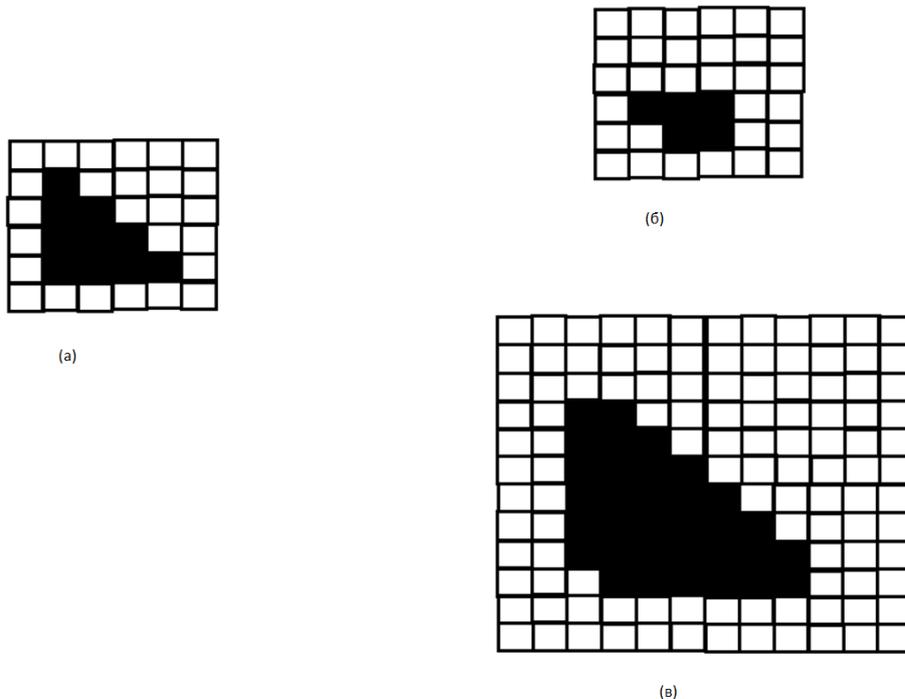


Рисунок 2.7 – Результат фильтрации исходного изображения (а) без применения (б) и с применением суперразрешения (в)

Каждый пиксель делится на 4 (2x2) и дальше осуществляется фильтрация и остальные операции по обработке изображений. В этом случае фильтрация осуществляется без потери информации, в том числе и для того, чтобы при дальнейшей обработке не произошла «потеря» признаков.

По окончании второго этапа (Рисунок 2.8) на снимке должны явно просматриваться замкнутые сглаженные контуры [103], которые во многих ситуациях являются наиболее информативными составляющими изображения [72].



Рисунок 2.8 - Исходное изображение (Рисунок 2.2) после завершения второго этапа предлагаемой методики

2.2. Отслеживание контуров на цифровых изображениях

Третьим этапом предлагаемой методики является выделение и исследование объекта интереса, запечатленного на изображении [103].

В ходе исследования оцифрованного изображения просматриваются все пиксели, строка за строкой. По выбранному правилу, например, «считать началом контура первый обнаруженный пиксель, принадлежащий объекту» находят $\gamma(0)$, а затем, в зависимости от принятого алгоритма кодирования контура, осуществляется нахождение набора ЭВ (элементарных векторов) $\{\gamma(k)\}$ [103].

Допустим, имеется начальная точка $(I;J)$. Любая точка на изображении (кроме граничных) имеет 8 соседних точек. Каждой соседней точке присваивается свой номер, далее этими номерами будем называть направление движения относительно текущей точки [103].

В случае прямоугольного растра имеется всего 8 направлений $(0,1,2,3,4,5,6,7)$. Поэтому для хранения направления движения в памяти ЭВМ достаточно 3 бита (111). Для начала движения необходима вторая точка, которую можно принять равной $(I;J+1)$. Таким образом, относительно $(I;J)$ при $(I;J+1)$ первым направлением движения становится $R_i=6$. Каждое последующее движение, согласно [67, 103], можно рассчитывать по формуле:

$$R_i=(R_{i-1}+K+A) \bmod B, \quad (2.5)$$

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).

В зависимости от значения кода Фримена (на прямоугольной сетке принимает значения от 0 до 7) модифицируются координаты предыдущей точки (Рисунок 2.11) и записываются как элемент параметрического описания (Рисунки 2.9 и 2.10) контура [103].

Иными словами [15], если обозначить $S_i = \sum_{k=1}^i l_k$,

где l_k – длина элементарного вектора, для прямоугольного растра:

$$l_k = \begin{cases} 1, & \text{если элемент кода Фримена четный} \\ \sqrt{2}, & \text{если иначе} \end{cases}$$

Тогда параметрически контур описывается как система уравнений [15]:

$$\begin{cases} x_i = x_i^{(s_i)} \\ y_i = y_i^{(s_i)} \end{cases}$$

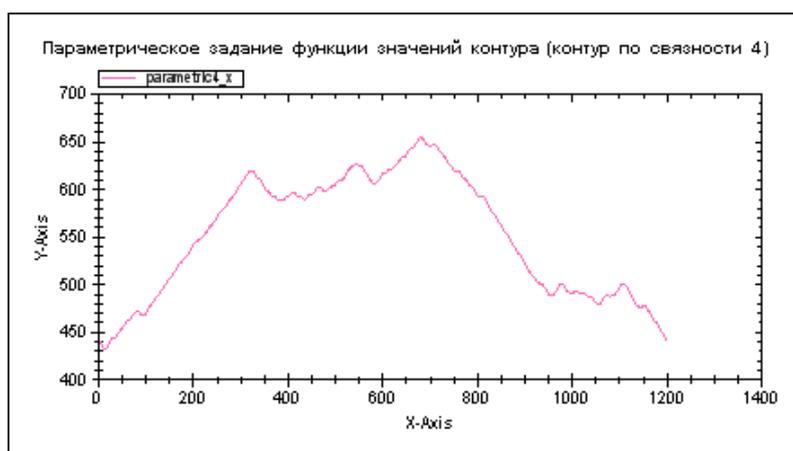


Рисунок 2.9 – Параметрическое представление контура по координате x

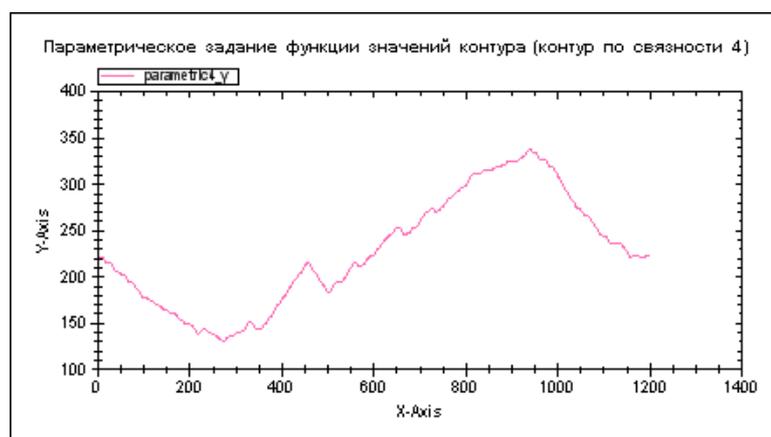


Рисунок 2.10 – Параметрическое представление контура по координате y

На Рисунке 2.11 показана схема определения следующей точки контура по формуле (2.5) для прямоугольного растра.

В процесс прохода по всему контуру объекта также включаются процедура сравнения текущей точки с начальной точкой контура и процедура определения следующего направления движения [103].

Данный алгоритм дополнен также проверкой длины выделяемого контура (с целью отбросить слишком короткие границы) и дополнительной проверкой выделяемого контура на равенство с уже выделенными на данном изображении, а также проверкой на схожесть начальных координат выделяемого контура и уже выделенных (с целью отбросить повторяющиеся и похожие границы).

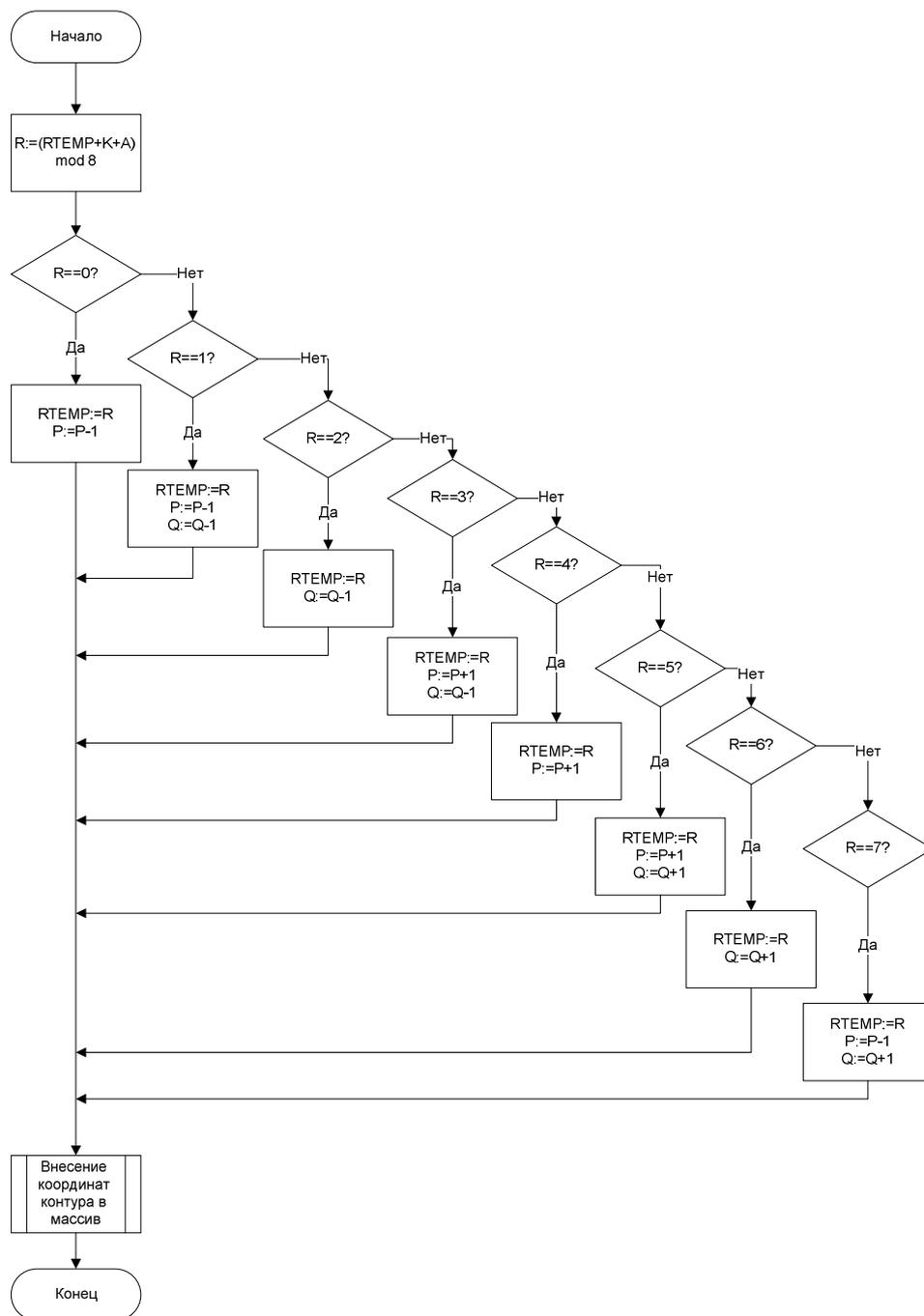


Рисунок 2.11 – Схема алгоритма поиска следующей точки контура

В рамках исследования на основе зависимости (2.5) были найдены зависимости для обеспечения возможности вычисления (целочисленных) координат очередной точки контура на основе знания координат предыдущей точки и «истории движения» по этому контуру (Рисунок 2.12). Для прямоугольного раstra соответствующие зависимости имеют следующий вид:

$$\begin{aligned}
 x_{i+1} &= x_i + f\left(\sum_{j=0}^i (k_j + a)\right) \\
 y_{i+1} &= y_i + f\left(2 + \sum_{j=0}^i (k_j + a)\right)
 \end{aligned}
 \tag{2.6}$$

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

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

На Рисунке 2.12 представлена функциональная схема, отражающая процесс отслеживания границ объектов на спутниковых изображениях.

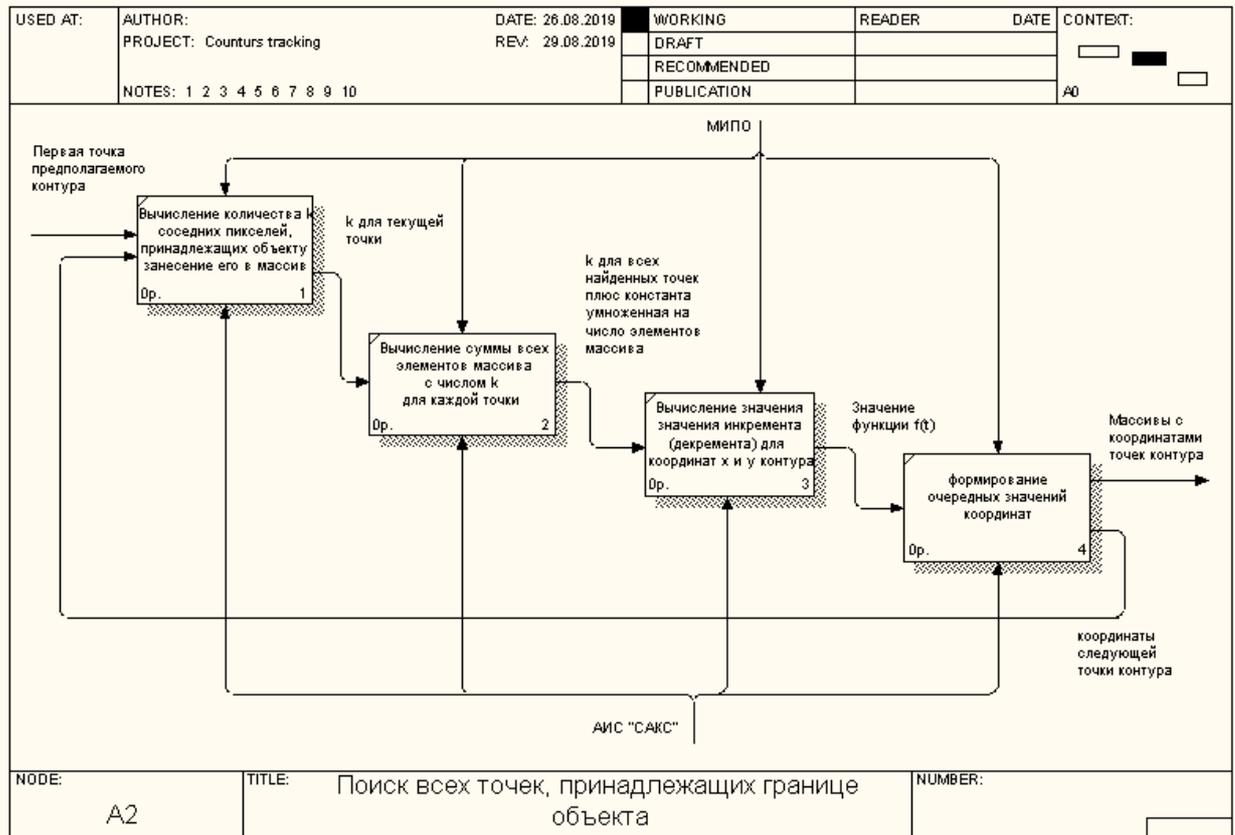


Рисунок 2.12 - Фрагмент функциональной модели в нотации IDEF0

Описанное видоизменение формулы (2.5) позволяет непосредственно вычислять следующую координату на основе предыдущей без запоминания значений кода Фримена для контура.

На Рисунке 2.13 и в Таблицах 2.2 и 2.3 на простых объектах показаны примеры промежуточных результатов при прохождении вдоль контура, начиная с первой (на Рисунке 2.13 выделены красным) его точки, в соответствии с зависимостью (2.6). Проход по контуру завершается успешно при условии возвращения в исходную точку (нижние строки Таблиц 2.2 и 2.3).

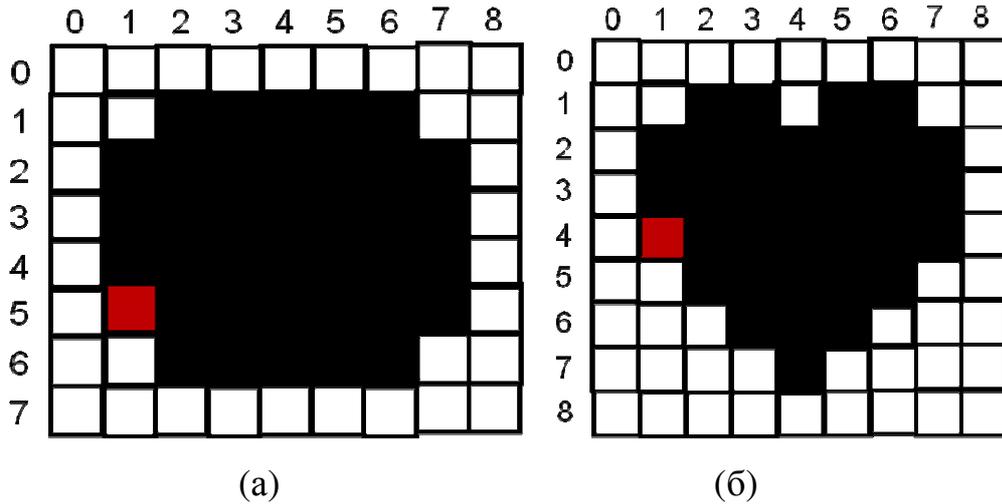


Рисунок 2.13 – Тестовые объекты с небольшой длиной контура. Красным выделена первая точка контура.

Таблица 2.2 Промежуточные результаты для контура на Рисунке 2.13, а

X	Y	К (сумма соседей)	a	fx (приращение по X)	fy (Приращение по Y)
5	1	4	3	$fx(7)=1$	$fy(1)=1$
6	2	8	6	$fx(6)=0$	$fy(0)=1$
6	3	13	9	$fx(6)=0$	$fy(0)=1$
6	4	18	12	$fx(6)=0$	$fy(0)=1$
6	5	23	15	$fx(6)=0$	$fy(0)=1$
6	6	27	18	$fx(5)=-1$	$fy(7)=1$
5	7	31	21	$fx(4)=-1$	$fy(6)=0$
4	7	36	24	$fx(4)=-1$	$fy(6)=0$
3	7	41	27	$fx(4)=-1$	$fy(6)=0$
2	7	45	30	$fx(3)=-1$	$fy(5)=-1$
1	6	49	33	$fx(2)=0$	$fy(4)=-1$
1	5	54	36	$fx(2)=0$	$fy(4)=-1$
1	4	59	39	$fx(2)=0$	$fy(4)=-1$
1	3	64	42	$fx(2)=0$	$fy(4)=-1$
1	2	68	45	$fx(1)=1$	$fy(3)=-1$

Окончание Таблицы 2.2

X	Y	K (сумма соседей)	a	fx (приращение по X)	fy (Приращение по Y)
2	1	72	48	$f_x(0)=1$	$f_y(2)=0$
3	1	77	51	$f_x(0)=1$	$f_y(2)=0$
4	1	82	54	$f_x(0)=1$	$f_y(2)=0$
5	1	86	57	$f_x(7)=1$	$f_y(1)=1$

Таблица 2.3 Промежуточные результаты для контура на Рисунке 2.13, б

X	Y	K (сумма соседей)	a	fx (приращение по X)	fy (Приращение по Y)
4	1	4	3	$f_x(1)=1$	$f_y(1)=1$
5	2	9	6	$f_x(7)=1$	$f_y(1)=1$
6	3	14	9	$f_x(7)=1$	$f_y(1)=1$
7	4	17	12	$f_x(5)=-1$	$f_y(7)=1$
6	5	22	15	$f_x(5)=-1$	$f_y(7)=1$
5	6	27	18	$f_x(5)=-1$	$f_y(7)=1$
4	7	31	21	$f_x(4)=-1$	$f_y(6)=0$
3	7	36	24	$f_x(4)=-1$	$f_y(6)=0$
2	7	40	27	$f_x(3)=-1$	$f_y(5)=-1$
1	6	44	30	$f_x(2)=0$	$f_y(4)=-1$
1	5	48	33	$f_x(1)=1$	$f_y(3)=-1$
2	4	55	36	$f_x(3)=-1$	$f_y(5)=-1$
1	3	59	39	$f_x(2)=0$	$f_y(4)=-1$
1	2	63	42	$f_x(1)=1$	$f_y(3)=-1$
2	1	67	45	$f_x(0)=1$	$f_y(2)=0$
3	1	72	48	$f_x(0)=1$	$f_y(2)=0$
4	1	76	51	$f_x(0)=1$	$f_y(2)=1$

В Таблицах 2.2 и 2.3 показаны значения координат x и y очередной точки контура, количество соседей значения приращений по каждой из координат на каждом шаге отслеживания контура. 1 означает, что координата

увеличилась, 0 – что она не изменилась, а -1 – что она уменьшилась на 1. Как видно из таблиц, на каждом шаге складываются значения K и a (для нахождения u прибавляется 2) и эти значения берутся по модулю 8. На основе чего и получается значения приращения.

На Рисунке 2.14 представлен результат отслеживания контуров на исходном изображении, загруженном из открытых источников.

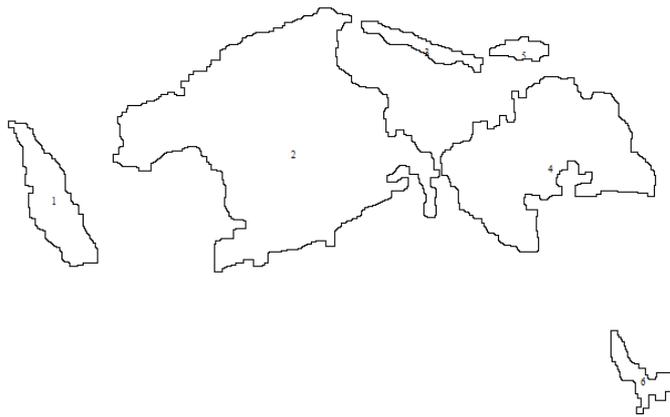


Рисунок 2.14 – Исходный снимок (Рисунок 2.2) после отслеживания контуров.

2.3. Формирование контурных признаков для распознавания объектов на цифровых изображениях

Известно много методов идентификации объектов на изображениях, в том числе и автоматических. В то же время, необходимый объем информации для обнаружения целевых объектов на снимках и идентификации часто содержится в их форме. Считается, что, восприятие образов человеком-оператором происходит на уровне формы контура, или, как говорят, абриса объекта, либо формируется некоторый комплексный критерий, фиксирующий переход от фона к объекту распознавания. При этом под контуром, в данном случае, будем понимать множество пикселей исследуемых объектов, имеющих хотя бы один соседний пиксель, данному объекту не принадлежащий. Для многоградационного изображения контур – это край (некоторой области изображения), где наиболее быстро изменяется градиент функции

сигнала. Контур, в отличие от текстуры изображения и фона, обладает определенной независимостью от погоды, освещения, других факторов. На бинарном, двухуровневом цифровом изображении, каждый пиксель также либо однозначно принадлежит, либо не принадлежит исследуемому объекту. Поэтому контур в рамках исследования считался характеристическим (математическим) объектом [41].

В результате третьего шага предлагаемой методики после обработки двухуровневого изображения в памяти компьютера остается совокупность массивов, содержащих значения координат для каждой из отслеженных границ. На основе данных параметрических представлений можно вычислить:

- центры тяжести контуров (центроиды);
- «центры тяжести территории»;
- обладающие свойством информативности признаки для использования в дальнейшем для распознавания (в том числе в рамках реализации нейронных сетей).

Если имеем на плоскости систему материальных точек, с массами m_0, m_1, \dots, m_s , то координаты X_c и Y_c центра тяжести найдем по формулам:

$$X_c = \frac{x_0 m_0 + x_1 m_1 + \dots + x_s m_s}{m_0 + m_1 + \dots + m_s} = \frac{\sum_{s=0}^S x_s m_s}{\sum_{s=0}^S m_s},$$

$$Y_c = \frac{y_0 m_0 + y_1 m_1 + \dots + y_s m_s}{m_0 + m_1 + \dots + m_s} = \frac{\sum_{s=0}^S y_s m_s}{\sum_{s=0}^S m_s},$$
(2.7)

В данном исследовании массой точек контура можно пренебречь, соответственно центры тяжести контуров найдем по формулам:

$$X = \frac{\sum_{s=0}^S x(s)}{S}, \quad Y = \frac{\sum_{s=0}^S y(s)}{S},$$
(2.8)

где $x(s)$ – точка функции, описывающей координаты x границ объекта, $y(s)$ – точка функции, описывающей координаты y границ объекта, S – число точек, принадлежащих контуру.

Координаты «центров тяжести территории» находятся аналогично, отличие состоит в том, что учитываются не только точки, принадлежащие контуру, но и точки, находящиеся внутри него (ограниченные контуром).

Информация о центрах тяжести контуров и «центрах тяжести территории» (Таблица 2.4) сохраняется в памяти компьютера и используется в дальнейшем. Например, для построения триангуляции Делоне [41].

Таблица 2.4 – Сравнение центров тяжести, рассчитанных в результате анализа снимка (Рисунок 2.2)

Объект	Центр тяжести на основе контура по связности 8		Центр тяжести на основе контура по связности 4		«Центр тяжести территории» на основе контура по связности 8		«Центр тяжести территории» на основе контура по связности 4	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
Объект 1	184	259	184	259	186	265	187	265
Объект 2	398	218	399	217	391	208	391	208
Объект 3	520	125	519	125	518	124	518	124
Объект 4	630	230	630	230	626	226	626	225
Объект 5	606	128	606	128	607	128	607	128
Объект 6	713	423	713	422	713	421	713	421

Следует обозначить два подхода к процессу оценки информативности признаков, считающиеся основными в настоящее время: вероятностный и синергетический. Каждым из них выработаны собственная идеология, а также практические методы и приемы оценки информативности [14].

Вероятностному подходу долгое время была присуща альтернативная идеология. Согласно ей, чем чаще у эталонных объектов можно наблюдать какой-либо признак и чем реже этот признак можно наблюдать в пределах исследуемой области, тем значение информативности (J) признака должно быть выше. При вероятностном подходе формулами расчета информативно-

сти учитываются общая площадь исследуемой области и все независимые проявления признаков, известные в пределах данной области. При этом неважно, присущи ли эти признаки только эталонным контурам. То есть, можно ввести обозначения [14]:

- N – общее число распознаваемых объектов (элементарных ячеек, на которые в процессе прогнозно-количественных построений разделяется исследуемая область);
- M – общее число объектов, у которых найден признак, оцениваемый на информативность;
- X – число объектов распознавания, являющихся эталонными;
- Z – число эталонных объектов, у которых выявлен признак.

Следовательно, согласно идеологии вероятностного подхода, имеем:

$$J = f(M, N, X, Z) \quad (2.9)$$

Отсюда можно построить следующую цепочку оценки информативности признаков: *контурный эталон* → *признак* → *территория* → *информативность* [14].

По отношению к идеологии вероятностного подхода и предлагаемым данным подходом расчетным формулам справедливы следующие принципиальные критические замечания [14]:

1. Результирующие значения информативности в своем содержании сочетают качественное своеобразие отношений эталонов и их признаками, а также условия прогнозирования (поиска) аналогов указанных в условиях эталонных контуров. Вследствие этого значения информативности признаков становятся неустойчивыми, зависимыми от ситуации. Что может привести к логически противоречивым выводам.

2. Большинство формул, по которым рассчитывается вероятность того, что признак будет встречен среди эталонов и в пределах области исследования, используют следующие соотношения значений

$$\begin{aligned} M, N, X, Z: (Z / X) > (M / N) &\rightarrow J > 0 \\ (Z / X) < (M / N) &\rightarrow J < 0. \end{aligned} \quad (2.10)$$

В отношении прогнозирования новых объектов это значит, что если, к примеру, 30 % эталонных контуров лежат в пределах одного информационного массива, охватывающего 40 % исследуемой области, то данные объекты будут обладать отрицательной информативностью. Перспектива обнаружения новых объектов будет ослабевать [14].

Синергетический подход отличается от вероятностного. В рамках синергетического подхода рассмотрению подлежат только проявления признаков, тесно связанных с эталонными объектами. Причем другие проявления признаков и масштабы области исследования не рассматриваются. Информативность признаков в данном случае будет зависеть от размера областей ошибок первого и второго рода, проявляющихся у объектов, и будет увеличиваться с их уменьшением. Если количество распознаваемых объектов с эталонными проявлениями признаков обозначить Y , то получим [14]:

$$J = f(X, Y, Z), \quad (2.11)$$

где $Z = 0 \rightarrow J = 0$, $Z > 0 \rightarrow J > 0$.

Можно говорить о следующей цепочке оценки информативности признака: *контурный эталон* \rightarrow *признак* \rightarrow *информативность*. Очевидно отсутствие звена *территория* в указанной цепочке. Это позволяет освободить процесс оценки информативности признаков от вышеотмеченных недостатков, присущих вероятностному подходу [14].

Пусть имеются базисные ортоэкспоненциальные функции, задаваемые выражением (2.12):

$$\varepsilon_j(s) = \sqrt{2mj} \sum_{k=0}^{j-1} (-1)^k C_{j-1}^k C_{j+1}^k \sum_{l=1}^L (-1)^l C_k^l e^{-(l+1)ms}, \quad (2.12)$$

где $m \in (0,1)$ – некоторый масштабный коэффициент.

Коэффициенты ортогонального разложения вычисляются по известной формуле Фурье:

$$\Phi_j = \int_0^{\infty} f(s) \varepsilon_j(s) ds,$$

где $f(s)$ – функция контурной линии ($x(s)$ или $y(s)$) объекта и равна:

$$f(s) = \sum_{j=0}^{\infty} \Phi_j \varepsilon_j.$$

Обозначим:

$$Y_k = \int_0^{\infty} f(s) e^{-kms} ds. \quad (2.13)$$

Тогда коэффициенты разложения:

$$\Phi_0 = \sqrt{2m} Y_0, \Phi_1 = \sqrt{4m} \left(Y_0 - \frac{3}{2} Y_1 \right), \Phi_2 = 3\sqrt{6m} \left(Y_0 - 4Y_1 + \frac{10}{3} Y_1 \right), \dots, \Phi_n.$$

Выражение (2.13) совпадает с интегральным преобразованием Лапласа (2.14) с комплексной переменной $p = \alpha + j\beta$:

$$F(p) = \int_0^{\infty} f(s) e^{-ps} ds. \quad (2.14)$$

В частном случае, при $\beta = 0, \alpha = km$ можно записать:

$$F(km) = \int_0^{\infty} f(s) e^{-kms} ds = Y_k.$$

Из спектрально-аналитической теории известно, что в качестве признаков (коэффициентов) формы наилучшими, с точки зрения информативности, являются отношения функционалов:

$$K_{\phi} = \frac{\int_0^{\infty} f_i(s) s ds}{\int_0^{\infty} f_j(s) (S-s) ds} = \frac{\int_0^{\infty} f_i(s) s ds}{\int_0^{\infty} f_j(S-s) s ds}. \quad (2.15)$$

Применительно к ортоэкспоненциальным функциям (2.12) производится замена s на e^s , что объясняется нелинейностью самих функций. С учетом особенностей организации контурных линий и возможностей их использования для большего охвата свойств контура целесообразно иметь дело не с одним скалярным коэффициентом формы, а с матрицей формы [15].

Обозначим $f1(s) = x(s); f2(s) = y(s); f3(s) = x(S-s); f4(s) = y(S-s)$, где $x(S-s)$ и $y(S-s)$ – «зеркальные» функции; S – длина контура. Тогда при параметрическом описании контура объекта имеем:

$$\varphi[x(s), y(s) = 0],$$

где s – расстояние от текущей до начальной точки контура.

С учетом принятых обозначений [15] и того, что мы имеем дело с замкнутым контуром, выражение (2.15) можно переписать в виде (для координаты x):

$$\Phi_{13} = \frac{\int_0^S x(s)e^{-ps} ds}{\int_0^S x(S-s)e^{-ps} ds}.$$

Поскольку все $f_i(s)$ периодические с периодом S , экспоненциальные коэффициенты (признаки), характеризующие связность точек контура, вычисляются как [15]:

$$\Phi_{13} = \frac{\frac{1}{1-e^{-ps}} \int_0^S f_i(s)e^{-ps} ds}{\frac{1}{1-e^{-ps}} \int_0^S f_j(s)e^{-ps} ds} = \frac{\int_0^S f_i(s)e^{-ps} ds}{\int_0^S f_j(s)e^{-ps} ds}.$$

И в общем виде [15]:

$$\Phi_{ij} = \frac{\int_0^S f_i(s)e^{-ps} ds}{\int_0^S f_j(s)e^{-ps} ds} \quad (2.16)$$

Запишем выражение (2.16) в виде суммы:

$$U_{xy} = \frac{\sum_{x=0}^S F_x[l_x]e^{wx}}{\sum_{y=0}^S F_y[l_y]e^{wy}} \quad (2.17)$$

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 зависимости для прямоугольного раstra (2.16-2.17) можно записать в виде 8 выражений (Таблица 2.5), соответствующих определенной характеристике объекта:

$$\begin{aligned}
\Phi_1 &= \frac{\sum_{s=0}^S y(s)e^{-ks}}{\sum_{s=0}^S x(s)e^{-ks}}, \Phi_2 = \frac{\sum_{s=0}^S y(S-s)e^{-ks}}{\sum_{s=0}^S x(s)e^{-ks}}, \Phi_3 = \frac{\sum_{s=0}^S y(s)e^{-ks}}{\sum_{s=0}^S x(S-s)e^{-ks}}, \\
\Phi_4 &= \frac{\sum_{s=0}^S y(S-s)e^{-ks}}{\sum_{s=0}^S x(S-s)e^{-ks}}, \Phi_5 = \frac{\sum_{s=0}^S x(s)e^{-ks}}{\sum_{s=0}^S y(s)e^{-ks}}, \Phi_6 = \frac{\sum_{s=0}^S x(S-s)e^{-ks}}{\sum_{s=0}^S y(s)e^{-ks}}, \\
\Phi_7 &= \frac{\sum_{s=0}^S x(s)e^{-ks}}{\sum_{s=0}^S y(S-s)e^{-ks}}, \Phi_8 = \frac{\sum_{s=0}^S x(S-s)e^{-ks}}{\sum_{s=0}^S y(S-s)e^{-ks}},
\end{aligned} \tag{2.18}$$

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.

Таблица 2.5 – Признаки формы, рассчитанные в результате анализа снимка (Рисунок 2.2)

Объект	Φ_1	Φ_2	Φ_3	Φ_4	Φ_5	Φ_6	Φ_7	Φ_8
Объект 1	1,3156 9	1,3497 1	1,3011 5	1,3348 0	0,7600 6	0,7685 5	0,7409 0	0,7491 7
Объект 2	0,7047 5	0,7251 0	0,7181 6	0,7388 9	1,4189 4	1,3924 4	1,3791 2	1,3533 7
Объект 3	0,2259 0	0,2383 1	0,2254 5	0,2378 3	4,4267 0	4,4355 7	4,1962 4	4,2046 6
Объект 4	0,4415 7	0,4536 4	0,4387 7	0,4507 6	2,2646 2	2,2790 8	2,2044 0	2,2184 7
Объект 5	0,2235 3	0,2310 3	0,2222 8	0,2297 4	4,4736 9	4,4988 3	4,3285 1	4,3528 3
Объект 6	0,5821 5	0,5940 7	0,5806 8	0,5925 7	1,7177 7	1,7221 2	1,6833 1	1,6875 7

Зависимости (2.18) использовались в данной работе как информативные признаки. Однако следует обратить внимание еще на один момент, связанный с таким достаточно важным понятием для растровой сетки, как связность – возможность соединения двух пикселей растровой линией, то есть последовательным набором пикселей (Рисунок 2.14). При этом возникает вопрос, когда пиксели (x_1, y_1) и (x_2, y_2) можно считать соседними [113].

Для прямоугольного растра водятся два понятия связности [113, 130]:

- 8-связность, когда пиксели считаются соседними, если их x -координаты и y -координаты отличаются не более чем на единицу (то есть $|x_1 - x_2| + |y_1 - y_2| \leq 1$);
- 4-связность, когда пиксели считаются соседними, если либо их x -координаты, либо y -координаты отличаются на единицу (то есть $|x_1 - x_2| + |y_1 - y_2| \leq 1$).

Понятие 4-связности является более сильным, чем 8-связность: любые два 4-связных пикселя являются и 8-связными, но не наоборот [113].

Для связности 8 имеют место два типа ЭВ, один длиной 1 для ортогональных переходов от одной точки контура к другой (два вертикальных и два горизонтальных), другой – длиной $\sqrt{2}$ для диагональных переходов. Это не только делает невозможной целочисленную обработку контурной информации, но и вносит существенную погрешность при вычислении признаков идентификации объектов на изображениях.

На Рисунке 2.15 показана разница между контурами, полученными с использованием связности 8 и 4. Поэтому в связи с вышесказанным и для того чтобы избежать проблем при вычислении признаков (2.18) в исследовании обеспечивалась связность 4, обладающая единственным типом ЭВ с длиной равной единице.

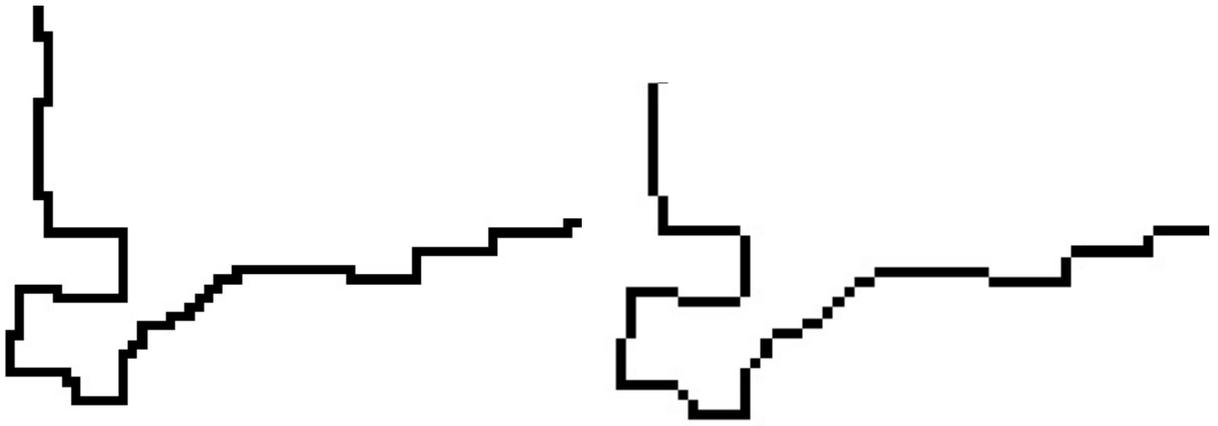


Рисунок 2.15 – Фрагменты контура одного и того же объекта при связности 4 (а) и связности 8 (б)

Параметрическое представление контура (Рисунки 2.9 и 2.10) можно рассматривать в качестве периодической функции с периодом $x(t)$, равным T [65]:

$$x(t+nT)=x(t), \quad (2.19)$$

где n – любое целое число.

Тогда, данная функция при соблюдении некоторых условий может быть представлена в виде суммы, конечной или бесконечной, гармонических функций вида [65]:

$$\cos\left(\frac{2\pi kt}{T} + \phi_k\right) \quad (2.20)$$

где k – целое число, ϕ_k – константа.

Период данных функций совпадает с периодом исходной функции $x(t)$, а линейная комбинация $\sum_{k=0}^N A_k \cos\left(\frac{2\pi kt}{T} + \phi_k\right)$, называемая тригонометрическим полиномом N -го порядка, также будет иметь период, равный T . Таким образом, решается задача о разложении периодической функции в тригонометрический ряд [65]:

$$x(t) = \sum_{k=0}^{\infty} A_k \cos\left(\frac{2\pi kt}{T} + \phi_k\right) \quad (2.21)$$

Отдельное слагаемое этой суммы $A_k \cos\left(\frac{2\pi kt}{T} + \phi_k\right)$ называется k -ой гармоникой функции $x(t)$. Задача заключается в том, чтобы подобрать такие ко-

эффиценты A_k и ϕ_k , при которых ряд (2.21) будет сходиться к заданной функции $x(t)$ [65].

Слагаемые в (2.21) можно записать в другом виде, раскрыв косинус суммы [29, 65, 89]:

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} \left[a_k \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + b_k \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) \right], \quad (2.22)$$

где новые коэффициенты выражаются как $a_0 = 2A_0 \cos \phi_0 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} x(t) dt$,

$$a_k = A_k \cos \phi_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} x(t) \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) dt \text{ и } b_k = -A_k \sin \phi_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} x(t) \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) dt$$

Подобным образом на основе параметрического представления контура можно разложения в ряд по классическим ортогональным многочленам.

Согласно работе [92], коэффициенты Фурье по многочленам Лежандра можно определить по формуле:

$$a_n = \int_{-1}^1 f(t) \hat{P}_n(t) dt \quad (2.23)$$

и поставить в соответствие ряд Фурье–Лежандра:

$$\sum_{n=0}^{\infty} a_n \hat{P}_n(x). \quad (2.24)$$

Причем ортонормированный многочлен Лежандра имеет вид:

$$\hat{P}_n(x) = \sqrt{\frac{2n+1}{2}} P_n(x). \quad (2.25)$$

Коэффициенты Чебышева–Эрмита, согласно [92], определяются по формуле:

$$a_n = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-t^2} \hat{H}_n(t) dt. \quad (2.26)$$

В данном случае рассматривается ряд:

$$\sum_{n=0}^{\infty} a_n \hat{H}_n(x) \quad (2.27)$$

и ортонормированный многочлен Эрмита:

$$\hat{H}_n(x) = \frac{H_n(x)}{\sqrt{n!2^n\sqrt{\pi}}} = \frac{(-1)^n}{\sqrt{n!2^n\sqrt{\pi}}} e^{x^2} (e^{-x^2})^{(n)} \quad (2.28)$$

Коэффициенты Фурье ряда Чебышева–Лагерра:

$$\sum_{n=0}^{\infty} a_n \hat{L}_n(x; \alpha), \quad (2.29)$$

согласно [92], определяются по формуле:

$$a_n(\alpha) = \frac{n!}{\Gamma(n+\alpha+1)} \int_0^{\infty} t^\alpha e^{-t} f(t) \hat{L}_n(t; \alpha) dt, \quad (2.30)$$

а ортонормированный многочлен Лагерра имеет вид:

$$\begin{aligned} \hat{L}_n(x; \alpha) &= (-1)^n \sqrt{\frac{n!}{\Gamma(\alpha+n+1)}} L_n(x; \alpha) = \\ &= \frac{(-1)^n x^{-\alpha} e^x}{\sqrt{n! \Gamma(\alpha+n+1)}} (x^{\alpha+n} e^{-x})^{(n)}, n = 0, 1, 2, \dots \end{aligned} \quad (2.31)$$

Коэффициенты ряда [22]:

$$D_m(x; \alpha_0, \dots, \alpha_m) = \sum_{k=0}^m C_{km} e^{-\alpha_k x} \quad (2.32)$$

определяются согласно формуле:

$$\begin{aligned} C_{km} &= \frac{\sqrt{2\alpha_m} (a_k + \alpha_1)(a_k + \alpha_2), \dots, (a_k + \alpha_{m-1})}{(a_k - \alpha_1)(a_k - \alpha_2), \dots, (a_k - \alpha_{k-1})(a_k + \alpha_{k+1}), \dots, (a_k - \alpha_m)} = \\ &= \frac{\sqrt{2\alpha_m} \prod_{i=1}^{m-1} (a_k + \alpha_i)}{\prod_{i=1}^{k-1} (a_k - \alpha_i) \prod_{j=k+1}^{m-1} (a_k - \alpha_j)} \end{aligned} \quad (2.33)$$

Перечисленные ряды нашли реализацию в разработанном программном средстве АИС «Система анализа космических снимков» [84] и дают дополнительную информацию о контуре.

После того, как завершен шаг 4 предлагаемой методики, предполагается использовать для дальнейшего распознавания объектов. Для этой цели обычно вычисляют расстояние между уже имеющимися и новыми вычисленными значениями.

Перечислим основные существующие расстояния, которые в том числе применяются и в реализациях нейронных сетей:

- расстояние Евклида;
- расстояние Хемминга;
- расстояние Минковского;
- расстояние Махаланобиса.

Расстояние Евклида, являющееся геометрическим расстоянием в многомерном пространстве, и взвешенное расстояние Евклида вычисляются по формулам [70]:

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}, d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n w_i (x_i - y_i)^2}, \quad (2.34)$$

где $d(x, y)$ – расстояние между объектами x и y ; x_i – значение i -го свойства объекта x ; y_i – значение i -го свойства объекта y , w_i – вес, присваиваемый i -ой переменной.

Расстояние Хемминга называют еще city-block, или Манхеттенским расстоянием, и рассчитывают по формуле:

$$d(x, y) = \left| \sum_{i=1}^n (x_i - y_i) \right|, \quad (2.35)$$

где $d(x, y)$ – расстояние между объектами x и y ; x_i – значение i -го свойства объекта x ; y_i – значение i -го свойства объекта y .

Расстояние Минковского рассматривают как обобщение расстояния Евклида и расстояния городских кварталов и рассчитывают по формуле:

$$d(x, y) = \left(\left| \sum_{i=1}^n (x_i - y_i) \right|^p \right)^{1/p}, \quad (2.36)$$

где $d(x, y)$ – расстояние между объектами x и y ; x_i – значение i -го свойства объекта x ; y_i – значение i -го свойства объекта y , p – порядок расстояния.

Расстояние Махаланобиса:

$$d_{ij} = \sqrt{(\overline{X}_i - \overline{X}_j)^T \Sigma^{-1} (\overline{X}_i - \overline{X}_j)}, \quad (2.37)$$

где \overline{X}_i и \overline{X}_j – векторы средних значений признаков i – го и j – го объекта, Σ^{-1} – матрица обратная ковариационной матрице, рассчитанной по всей выборке, T – операция транспонирования.

Распознавание образов в значительной мере опирается на сравнение изображений, для которого расстояние Евклидова является наиболее часто используемым, в основном, из-за своей популярности и простоты в расчетах [123].

Естественная, с геометрической точки зрения, мера расстояния Евклида может оказаться бессмысленной, если признаки измерены в разных единицах. Чтобы исправить положение, прибегают к нормированию каждого признака. Применение евклидова расстояния возможно в следующих случаях [70]:

- свойства (признаки) объекта однородны по физическому смыслу и одинаково важны для классификации;
- признаковое пространство совпадает с геометрическим пространством.

Полученные в результате обработки изображений при помощи предлагаемой методики признаки формы могут быть использованы при реализации специализированных нейронных сетей. В качестве примера возможной архитектуры приведем Нейронные сети Кохонена, в чьи задачи, в том числе, входят задачи прогнозирования свойств и кластеризации данных. Сети Кохонена могут использоваться и в целях сокращения размерности данных с минимальными информационными потерями [71].

ВЫВОДЫ

1. Подробно рассмотрена предлагаемая методика для отслеживания контуров объектов на изображении и формирования контурных признаков, включающая в себя пять шагов, начиная с определения объекта интереса и

загрузки спутниковых изображений из открытых источников и заканчивая внесением полученной новой информации об объектах в специальное хранилище.

2. Работа методики показана на примере обработки снимка объекта добычи полезных ископаемых открытым способом. Продемонстрированы результаты после каждого этапа.

3. Рассмотрены вопросы информативности признаков распознавания и предложены специальные «коэффициенты формы» для дальнейшего применения в процессе распознавания объектов добычи полезных ископаемых открытым способом.

4. На основании проведенного анализа сделан вывод о возможности реализации предлагаемой методики в виде программного средства.

3. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРЕДЛАГАЕМОЙ МЕТОДИКИ И АПРОБАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

3.1. Обзор аналогов и общие требования к разрабатываемому программному средству

В перечне зарубежных программных продуктов, используемых для обработки данных ДЗЗ, существенно выделяются ESRI ARCGIS [122, 124], ENVI, ER Mapper, ERDAS Imagine, IDRISI, MultiSpec и другие. Среди подобных российских следует отметить СканЭкс [90], Sputnik, GIS INTEGRO [12]. Большая часть имеющихся в настоящее время программных средств обработки и анализа данных ДЗЗ позволяет решать несколько конкретных узких задач. Такая ситуация заставляет пользователя обладать минимальным набором из нескольких программных продуктов для осуществления полного цикла работ. Осуществление полного комплекса операций с данными ДЗЗ обеспечивается лишь малой частью подобных пакетов программ. К подобным разработкам можно отнести способные решать широкий круг задач в области обработки и анализа данных ДЗЗ пакеты программ ERDAS Imagine и Sputnik. Следует отметить, что ERDAS Imagine, как и большинство подобных продуктов, характеризуется ориентацией на интерактивность обработки данных. Кроме того особенную актуальность в настоящее время начали приобретать задачи формирования автоматизированных систем для обработки спутниковых данных. Решение подобных задач требует разработки специализированного программного инструментария [93].

Подробности о возможностях, преимуществах и недостатках вышеперечисленных программных продуктов рассмотрены в [93].

Современные требования, касающиеся качества готового программного средства, предполагают наличие следующих характеристик у разрабатываемой ИС «Система анализа космических снимков» [23, 57]:

- обеспечение корректной работы в рамках решения поставленных задач;
- оптимальная устойчивость к возникновению ошибок, сбоев и возможным деструктивным последствиям в результате действиями, находящимися за рамками основного назначения программного средства;
- обеспеченные принципами децентрализации и простоты построения программы возможности для расширения, изменения и дополнения функциональности программного средства;
- для обеспечения возможности осуществления последующих операций с цифровыми изображениями реализация алгоритмов их предварительной обработки;
- выделение границ и распознавание объектов на изображениях;
- предоставление данных о работе программной системы (оставшееся время до завершения выполнения операций обработки изображения).
- реализация возможностей для диалога с пользователем посредством вывода перечня пунктов меню (загрузка изображения, набор операций и других) для выбора определенного действия, повторяемого необходимое число раз;
- наличие специальных областей для отображения исходного изображения и результатов его обработки;
- обеспечение проверки значений параметров, вводимых пользователем на предмет корректности.

Дополнительные требования указаны в техническом задании на разработку программного средства.

3.2. Выбор средств разработки и разработка программного средства

На сегодняшний день разработано большое число языков программирования общей и научной направленности. С# является востребованным и удобным языком программирования, применяемым для решения широкого круга задач. Наличием широкого разнообразия библиотек и оптимизируемых алгоритмов обеспечивается удобство применения языка С#.

Поэтому интегрированная среда разработки Microsoft Visual Studio 2008 express была выбрана для реализации описанных в данной работе алгоритмов в качестве среды программирования. Данная бесплатная облегчённая версия Microsoft Visual Studio компании Microsoft, является мощным инструментом для решения большинства нетривиальных задач и создания полноценных приложений различного уровня сложности [37].

.NET Framework представляет собой модель, используемую в процессе разработки прикладных приложений. Платформа доступна для семейства операционных систем Windows компании Microsoft и для множества операционных систем других разработчиков (например, Mac OS X и различных вариантов Linux/Unix). Перечислим некоторые основные функциональные особенности платформы .NET [96]:

- полноценная функциональная совместимость .NET и существующего программного кода способствует возможности комбинирования и взаимодействия существующих двоичных единиц COM и более новых двоичных единиц .NET (и наоборот) и возможности вызова библиотек на основе С (в том числе и API операционной системы) из программного кода .NET. службами вызова платформ PInvoke (Platform Invocation Services);
- полная и тотальная интеграция языков, выражающаяся в поддержке межязыковых наследования, отладки кода и обработки исключений;

- наличие разделяемого всеми поддерживаемыми .NET языками общего исполняющего механизма, включающего в себя хорошо определенный набор типов, воспринимаемый каждым поддерживаемым .NET языком;
- наличие обширной библиотеки базовых классов, дающей возможность устранить связанные с выполнением прямых вызовов к API трудности и предлагающей для использования всеми поддерживаемыми .NET языками согласованную объектную модель;
- отсутствие в двоичном файле .NET кода IUnknown, IClassFactory, IDispatch или IDL и таких проблемных вариантных типов данных, как BSTR или SAFE снимает необходимость в предоставлении деталей COM;
- наличие по-настоящему упрощенной модели инсталляции, не требующей регистрации двоичной единицы в системном реестре, и вполне допускающей мирное сосуществование на одной и той же машине множества версий одной сборки *.dll.

ZedGraph – это бесплатная библиотека классов, пользовательский элемент управления и элемент управления web в среде .net, написанная на C#, для рисования различного вида графиков и диаграмм. Имеются возможности детальной настройки, но большинство вариантов имеют значения по умолчанию для простоты использования [131].

Excellibrary – это решение для создания, чтения и модификации электронных таблиц Excel без использования COM или OLEDB в среде .net [125].

Данная библиотека использовалась на начальном этапе реализации АИС «Система анализа космических снимков» [84] для записи рассчитанных характеристик для контуров, найденных на изображении. При дальнейшем развитии программного средства была реализована возможность его связи с базой данных MySQL (Рис.)

Библиотека ZedGraph была использована для упрощения построения выходных графиков функций для каждой из получаемых замкнутых областей, а библиотека Excellibrary – в первоначальном варианте программного средства для сохранения информации о каждом результирующем объекте

(включая информацию о длине контура, его точках, признаковых характеристиках и другую).

Разработанное программное средство имеет название «Система анализа космических снимков (САКС)» [84]. Руководство пользователя для данного программного средства прилагается к данной диссертационной работе (Приложение А). На Рисунке 3.1 показана общая логическая схема функционирования данного программного средства.

В Таблице 3.1 представлены минимальные системные требования, которые необходимы для работы программной системы.

Таблица 3.1 – Минимальные системные требования к ПК (персональному компьютеру) для запуска программной системы

Название параметра ПК	Характеристика
ОС (операционная система)	Windows XP SP 3 и выше
ЦП (центральный процессор)	Intel Celeron CPU B820 1,70 GHz и мощнее
ОЗУ (оперативное запоминающее устройство)	1024 Мб и выше
Видеоадаптер	256 Мб и выше
Net Framework	MS Net Framework 3.5
База данных	MySQL
Свободное место на жестком диске	5 Мб для хранения исполняемого файла программы + 2 Гб для MySQL сервера + место для хранения результативных изображений (в формате *.bmp)
Периферийные устройства	Клавиатура, мышь
Другие требования	Доступ в интернет для обеспечения процесса скачивания спутниковых снимков

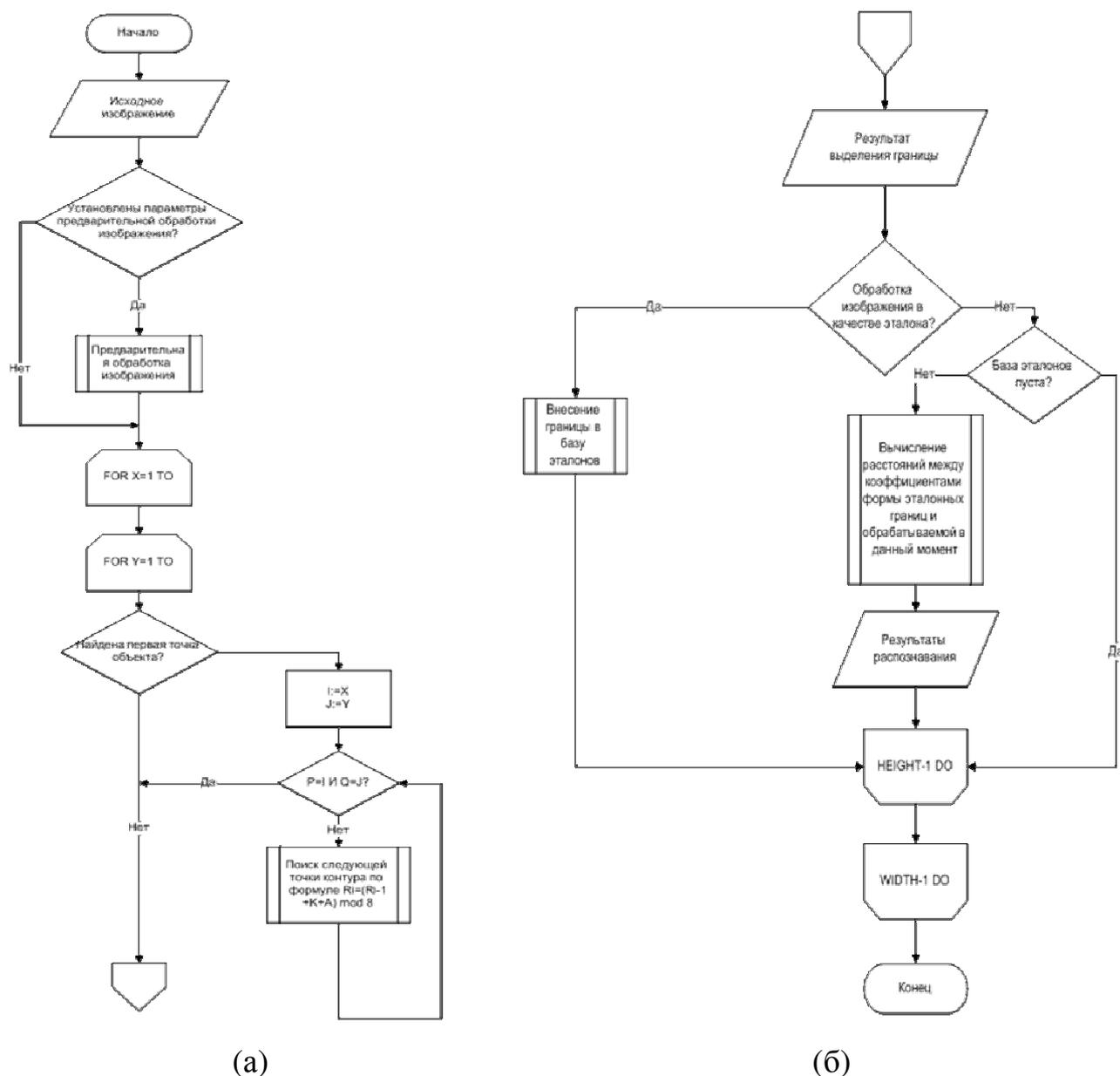


Рисунок 3.1 – Логическая схема работы разрабатываемого программного средства, отображающая последовательность процессов обработки изображения: отслеживание границ (а), а также процесс распознавания (б)

На протяжении всего цикла разработки ИС (информационной системы) САКС производился поиск и устранение ошибок, ведь программы приобретают высокое качество не столько в результате комплексного тестирования конечного продукта, сколько в процессе его разработки [6]

Класс – организационная единица, которая группирует связанный код. Эта группировка намного специфичнее, чем решение или проект. Если применить аналогию с автомобилем и проект представить двигателем, тогда

класс можно рассматривать как один из компонентов двигателя, например карбюратор. Иными словами, проекты состоят из множества классов [19].

Метод – набор инструкций для выполнения определенного задания. Метод является аналогом функции во многих других языках программирования. Метод Main () выполняется при запуске приложения; поэтому он содержит код, который должен исполняться в начале программы [19].

На Рисунке 3.2 показаны основные классы и методы программной системы, реализующие описанные в п. 2 алгоритмы, в виде диаграммы классов.

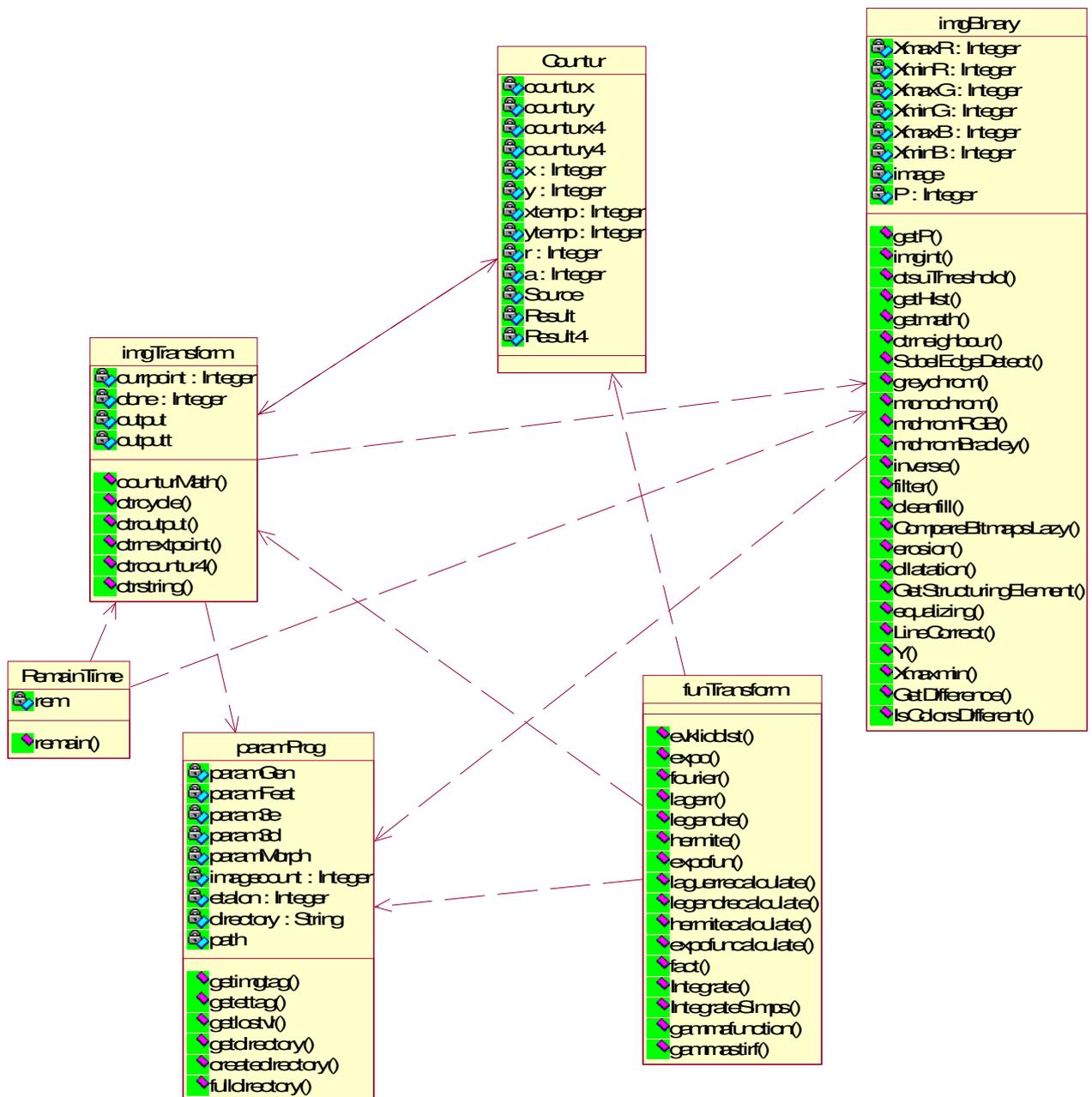


Рисунок 3.2 – Диаграмма основных классов программной системы

Класс `imgBinary`

Класс содержит функции, реализующие построение гистограмм изображения для осуществления процедур, таких как: ВНА (Brightness histograms analysis, или Анализ гистограмм яркости изображения) и ВН (Binarization, или Бинаризация), фильтрация и МА (Morphological analysis, или Морфологический анализ).

Таблица 3.2 – Основные переменные класса `imgBinary`

Атрибут/Переменная	Описание
<code>XmaxR</code> , <code>XminR</code> , <code>XmaxG</code> , <code>XminG</code> , <code>XmaxB</code> , <code>XminB</code>	Максимальные и минимальные значения оттенка для проведения операции линейной коррекции изображения
<code>image</code>	Массив со значениями яркости всех пикселей изображения
<code>P</code>	Значение порога яркости для осуществления операции бинаризации (ВН) над изображением

Таблица 3.3 – Основные методы класса `imgBinary`

Метод	Описание
<code>getP</code>	Определение оптимального порога яркости для осуществления операции бинаризации (ВН) над изображением
<code>imgint</code>	Получение массива со значениями яркости каждого пикселя изображения
<code>otsuThreshold</code>	Определение порога методом Отсу
<code>getHist</code>	Получение гистограммы изображения
<code>getmath</code>	Вычисление вероятностных характеристик изображения
<code>ctrneighbour</code>	Определение количества соседей точки
<code>SobelEdgeDetect</code>	Нахождение границ оператором Собеля

Окончание Таблицы 3.3

Метод	Описание
greychrom	Преобразование изображения в оттенки серого на основе яркости
monochrom	Преобразование изображения в бинарное на основе яркости
mchromRGB	Преобразование изображения в бинарное на основе преобладания компонент RGB
mchromBradley	Преобразование изображения в бинарное на основе метода Брэдли–Рота
inverse	Преобразование бинарного изображения. Замена черного пикселя на белый (и наоборот)
filter	Фильтрация бинарного изображения на основе исследования ближайших соседей пикселя
cleanfill	Фильтрация бинарного изображения путем заливки одиночных пикселей указанное число раз
CompareBitmapsLazy	Сравнение 2-х изображений (используется для остановки процесса фильтрации)
GetStructuringElement	Получение структурного элемента для операций морфологической обработки
erosion	Морфологическая операция сужения
dilatation	Морфологическая операция расширения
equalizing	Эквализация гистограммы
LineCorrect, Y, Xmaxmin	Линейная коррекция изображения
GetDifference, IsColorsDifferent	Вычитание изображений

Классы `ImgTransform` и `Countur`

Классы содержат атрибуты и функции, реализующие основные операции алгоритма выделения замкнутых областей.

Таблица 3.4 – Основные переменные класса ImgTransform

Атрибут/Переменная	Описание
currpoint	Текущая обрабатываемая точка изображения
done	Флаг, указывающий на успешное завершение операции выделения контуров
output	Выводимое на экран результирующее изображение (выделенные границы наложены на исходное изображение)
outputt	сохраняемое результирующее изображение (выделенные границы наложены на белый фон)

Таблица 3.5 – Основные методы класса ImgTransform

Метод	Описание
counturMath	Основной цикл выделения замкнутых границ на изображении и поиск первой точки объекта
ctrcycle	Цикл выделения контура на бинарном изображении, когда найдена его первая точка
ctroutput, ctrstring	Сохранение результатов выделения контура
ctrnextpoint	Поиск следующей точки контура
ctrcountur4	Обеспечение связности 4 для выделяемой границы

Таблица 3.6 – Основные переменные класса Countur

Атрибут/Переменная	Описание
counturx	Массив с точками x контура (связность 8)
countury	Массив с точками y контура (связность 8)
counturx4	Массив с точками x контура (связность 4)
countury4	Массив с точками y контура (связность 4)
x	Текущая координата x контура (первая точка предполагаемого контура)

Окончание Таблицы 3.6

Атрибут/Переменная	Описание
y	Текущая координата y контура (первая точка предполагаемого контура)
xtemp	Текущая координата x во время цикла выделения контура
ytemp	Текущая координата y во время цикла выделения контура
r	Переменная r для определения следующей точки контура (необходима была на этапе, когда использовался код Фримена)
a	переменная, хранящая номер эталонного контура
Source	Исходное бинарное изображение
Result	Результативное изображение с выделенным контуром (связность 8)
Result4	Результативное изображение с выделенным контуром (связность 4)

Класс funTransform

Класс, содержащий реализацию вычисления разложений исходного параметрического представления контура по ортогональным многочленам, ортогональным экспоненциальным функциям. Также в данном классе вычисление ЧХ контура для последующего распознавания.

Таблица 3.7 – Основные методы класса funTransform

Метод	Описание
evkliddist	Вычисление расстояния Евклида
expo	Вычисление экспоненциальных коэффициентов формы
fourier	Тригонометрическое преобразование Фурье

Окончание Таблицы 3.7

lagerr, laguerrecalculate	Разложение в обобщенный ряд Фурье с использованием полиномов Чебышева–Лагерра
legendre, legendrecalculate	Разложение в обобщенный ряд Фурье с использованием полиномов Чебышева–Лежандра
hermite, hermitecalculate	Разложение в обобщенный ряд Фурье с использованием полиномов Чебышева–Эрмита
expofun, expofuncalculate	Разложение в ряд с использованием функции $D_m(x; \alpha_1, \dots, \alpha_m)$
fact	Вычисление факториала
Integrate, IntegrateSimps	Вычисление интеграла методом трапеций, Симпсона
gammafunction, gammastirf	Гамма-функция

Классы paramProg и RemainTime

Данные классы реализуют получение и сохранение различных параметров для работы программной системы (таких как, путь к папке с результатами, применяемый метод BN, параметры фильтрации), а также вычисление времени, оставшегося до завершения очередной операции обработки изображения.

Таблица 3.8 – Основные переменные класса paramProg

Атрибут/Переменная	Описание
paramGen	Массив со значениями основных параметров (BN, фильтрация, коррекция)
paramFeat	Массив с настройками разложения параметрического представления контура в ряд по ортогональным многочленам и функциям
param3e, param3d	Настройки масок для морфологической обработки

Окончание Таблицы 3.8

Атрибут/Переменная	Описание
paramMorph	Настройки морфологической обработки изображения
imagecount	Количество обработанных изображений в папке с эталонами
etalon	Флаг, определяющий обработку изображения в качестве эталона
directory, path	Переменные с настройками сохранения файлов-результатов

Таблица 3.9 – Основные методы класса paramProg

Метод	Описание
getimgtag, getettag, getlostvl	Получение префикса для файлов в процессе обработки
getdirectory, createdirectory, fulldirectory	Работа с директорией

Таблица 3.10 – Основные переменные класса RemainTime

Атрибут/Переменная	Описание
rem	Переменная с вычисленным оставшимся временем

Таблица 3.11 – Основные методы класса RemainTime

Метод	Описание
remain	Вычисление оставшегося времени

На Рисунках 3.3 и 3.4 показан фрагмент исходного кода АИС САКС, реализующий описанный во второй главе диссертации подход к поиску следующей точки границы объекта на изображении в рамках метода CounturTransform.

```

CounturTransform_40.cs — Блокнот
Файл  Правка  Формат  Вид  Справка
}
//поиск следующей точки контура
private static void ctrnextpoint(Countur countur)
{
    try
    {
        int k = imgBinary.ctrneighbour(countur.Source, countur.xtemp, countur.ytemp);
        int r = (countur.r + k + 3) % 8;
        countur.r = r;
        if (countur.xtemp - 1 > 0 && r == 0)
        {
            countur.xtemp--;
            countur.counturx.Add(countur.xtemp); countur.countrys.Add(countur.ytemp);
            ctrcountur4(countur);
        }
        else if (countur.xtemp - 1 > 0 && countur.ytemp - 1 >= 0 && r == 1)
        {
            countur.xtemp--; countur.ytemp--;
            countur.counturx.Add(countur.xtemp); countur.countrys.Add(countur.ytemp);
            ctrcountur4(countur);
        }
        else if (countur.ytemp - 1 > 0 && r == 2)
        {
            countur.ytemp--;
            countur.counturx.Add(countur.xtemp); countur.countrys.Add(countur.ytemp);
            ctrcountur4(countur);
        }
        else if (countur.xtemp + 1 < countur.Source.Width && countur.ytemp - 1 >= 0 && r == 3)
        {
            countur.xtemp++; countur.ytemp--;
            countur.counturx.Add(countur.xtemp); countur.countrys.Add(countur.ytemp);
            ctrcountur4(countur);
        }
        else if (countur.xtemp + 1 < countur.Source.Width && r == 4)
        {
            countur.xtemp++;
            countur.counturx.Add(countur.xtemp); countur.countrys.Add(countur.ytemp);
            ctrcountur4(countur);
        }
        else if (countur.xtemp + 1 < countur.Source.Width && countur.ytemp + 1 < countur.Source.Height && r == 5)
        {
            countur.xtemp++; countur.ytemp++;
            countur.counturx.Add(countur.xtemp); countur.countrys.Add(countur.ytemp);
            ctrcountur4(countur);
        }
        else if (countur.ytemp + 1 < countur.Source.Height && r == 6)
        {
            countur.ytemp++;
            countur.counturx.Add(countur.xtemp); countur.countrys.Add(countur.ytemp);
            ctrcountur4(countur);
        }
        else if (countur.xtemp - 1 > 0 && countur.ytemp + 1 < countur.Source.Height && r == 7)
        {
            countur.xtemp--; countur.ytemp++;
            countur.counturx.Add(countur.xtemp); countur.countrys.Add(countur.ytemp);
            ctrcountur4(countur);
        }
    }
    catch (Exception ex)
    {
        MessageBox.Show(ex.Message, "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error);
    }
}
//Заполнение массивов с координатами контура (связность 4)
private static void ctrcountur4(Countur countur)

```

Рисунок 3.3 – Фрагмент исходного кода АИС «САКС», реализующий поиск следующей точки контура на основе кода Фримена в соответствии с (2.5)

```

00CounturTransform.cs — Блокнот
Файл  Правка  Формат  Вид  Справка
public static int plus(int valueX)
{
    int returnY = 0;
    /*try
    {*/
        if (valueX < 0)
        { while (valueX < 0) { valueX = valueX + 8; } }
        if (valueX > 7)
        { while (valueX > 7) { valueX = valueX - 8; } }
        if (valueX >= 0 && valueX <= 7)
        {
            if (valueX >= 0 && valueX < 1)
            { returnY = 1; }
            else if (valueX >= 1 && valueX <= 3)
            { returnY = -valueX + 2; }
            else if (valueX > 3 && valueX < 5)
            { returnY = -1; }
            else if (valueX >= 5 && valueX <= 7)
            { returnY = valueX - 6; }
        }
    /*}
    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);
        int plusX = plus(countur.k.Sum() + 3 * countur.k.Count);
        int plusY = plus(countur.k.Sum() + 3 * countur.k.Count + 2);
        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.countrys.Add(countur.ytemp);
            ctrcountur4(countur, plusX, plusY);
        }
    /*}
    catch (Exception ex)
    {
        MessageBox.Show(ex.Message, "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error);
    }*/
}

```

Рисунок 3.4 – Модифицированный фрагмент исходного кода АИС «САКС» реализующий поиск следующей точки контура на основе зависимости (2.6)

Основной GUI (Graphic user interface, или Графический пользовательский интерфейс) ИС САКС представлен на Рисунках 3.5 и 3.6.

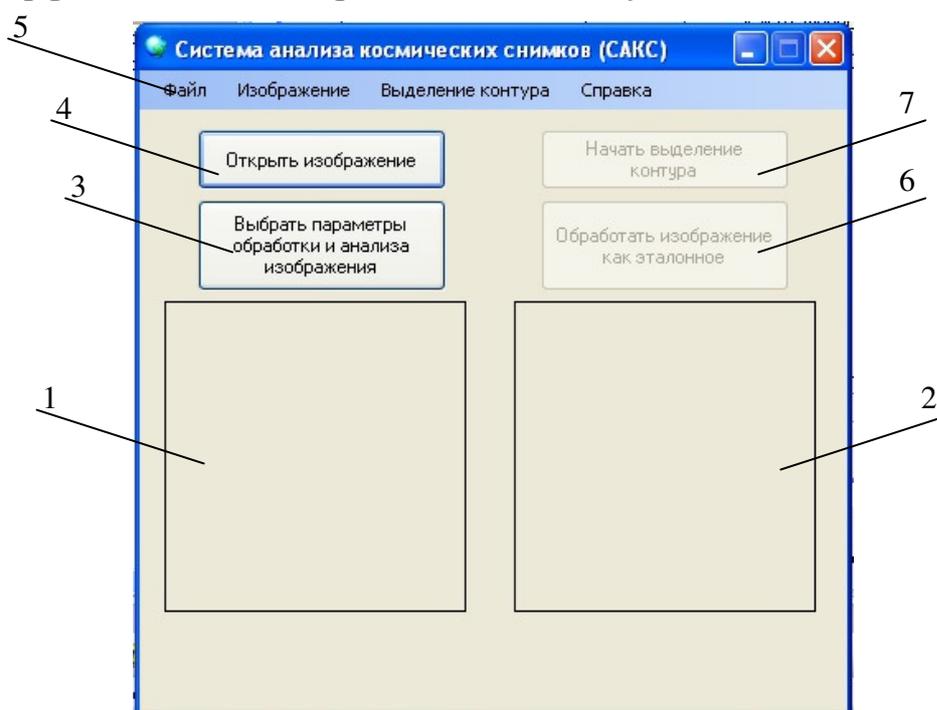


Рисунок 3.5 – Главное окно программной системы

На рисунке 3.5 цифрой 1 обозначена область, в которую производится загрузка исходного изображения. Область 2 – область для результирующего изображения с выделенными границами. Цифрами 3–4 и 6–7 обозначены кнопки быстрого доступа к основным пунктам меню. Цифрой 5 обозначена область меню ИС.

На рисунке 3.6 показано окно настройки параметров работы ИС САКС. Цифрой 8 обозначена область выбора алгоритма преобразования исходного изображения к двухградационному виду. 9–11 – настройки параметров фильтрации, МА, и разложения параметрического представления границ по ортогональным многочленам. При нажатии на кнопки в данной области вызываются окна с дополнительными настройками. Цифрой 12 обозначена область параметров сохранения (указывается путь к папке с результирующими изображениями и другими файлами с информацией о выделенных границах и параметрах системы). Если необходимо, есть возможность настроить параметры дополнительной коррекции исходного изображения (область, обозначенная цифрой 13). Также, если известно, в области, обозначенной цифрой

14, можно указать разрешение обрабатываемого снимка. На основе этих данных будет произведен расчет площади участка, ограниченного выделенным контуром, в квадратных единицах. При нажатии на кнопку «Применить» (обозначена цифрой 15), установленные параметры сохраняются в конфигурационном файле и готовы к применению в работе системы.

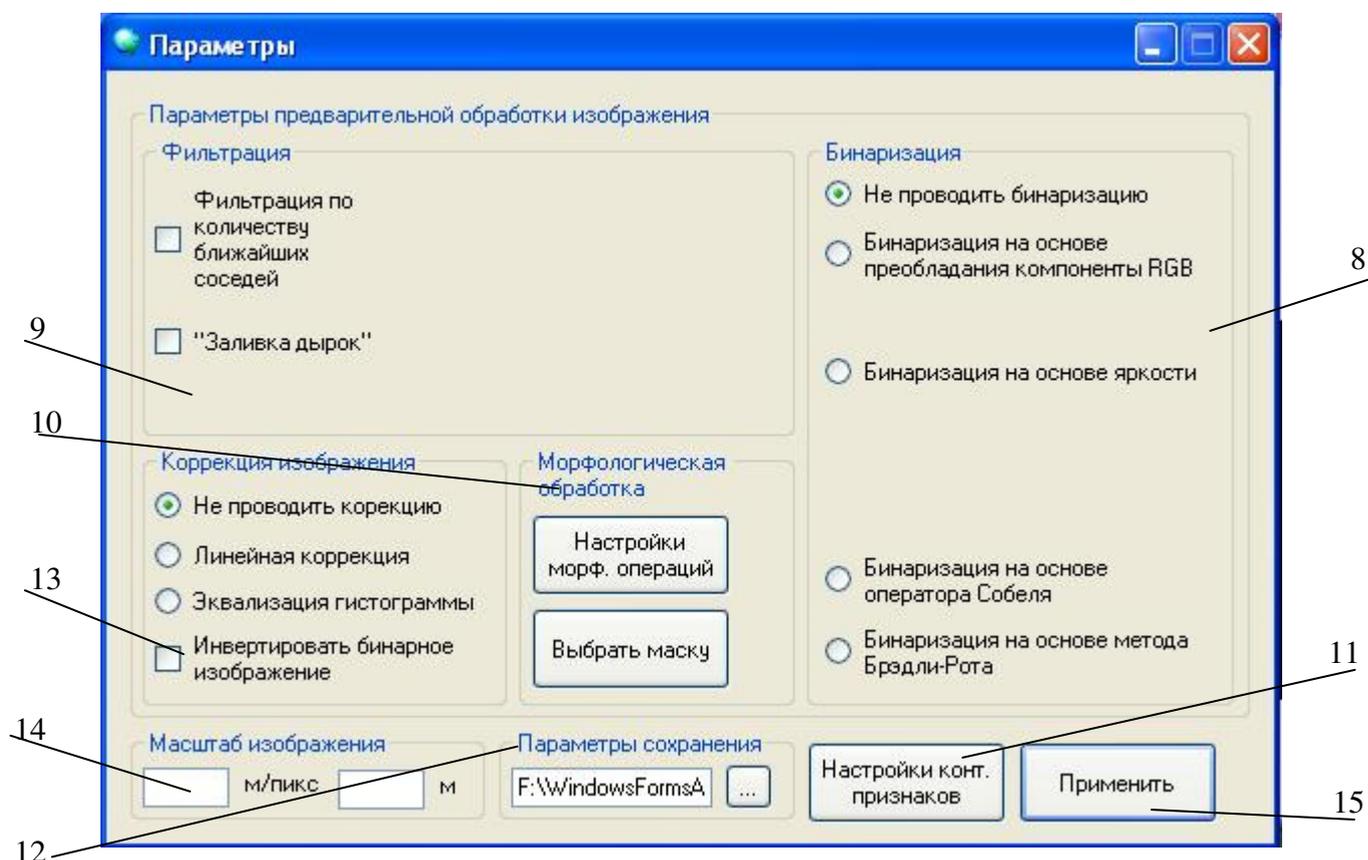


Рисунок 3.6 – Окно параметров программной системы

Как уже было сказано в п. 3.1, на первом этапе реализации АИС «САКС» выгружала результаты вычислений в файл формата *.xls. Позднее было реализовано взаимодействие программного средства с базой данных MySQL. Текущая структура базы данных показана на Рисунке 3.7.

Как видно из рисунка, на данный момент в состав базы данных satelliteimganalysis включены 6 таблиц. Три из них (images_temp, counturs_temp, counturs_hex_temp) предназначены для хранения временных результатов, а остальные 3 – для сохранения данных об «эталонных» объектах (images, counturs, counturs_hex). Как видно, структура базы данных уже имеет задел для исследований рассматриваемой в диссертационной работе методи-

ки на шестиугольном растре. Для этого были добавлены таблицы , counturs_hex и counturs_hex_temp.

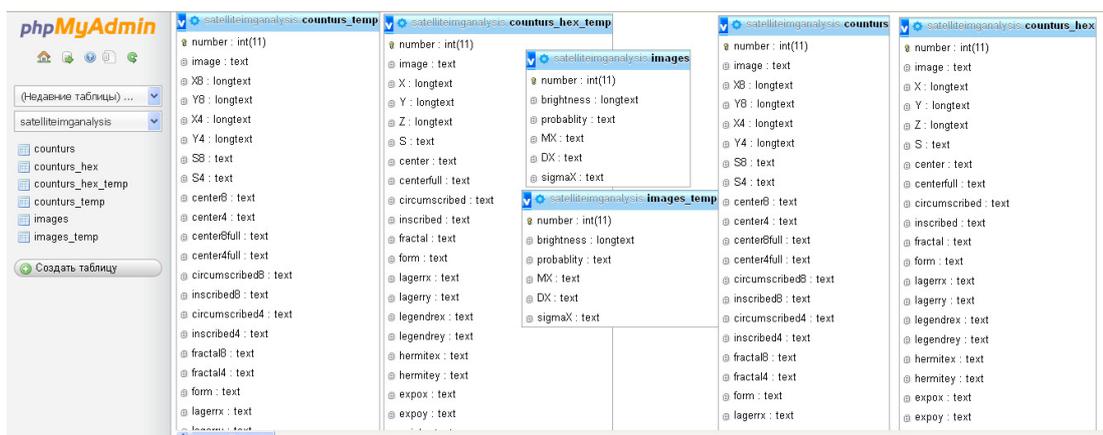


Рисунок 3.7 – Структура базы данных satelliteimganalysis

В Таблицах 3.12-3.17 подробно описаны поля таблиц базы данных, предназначенных для хранения информации о найденных контурах.

Таблица 3.12 – Структура таблицы базы данных counturs

Поле таблицы	Описание
number	№ п/п
image	изображение
X8	X точек (связность 8)
Y8	Y точек (связность 8)
X4	X точек (связность 4)
Y4	Y точек (связность 4)
S8	точек ограничено контуром/площадь в м2 (связность 8)
S4	точек ограничено контуром/площадь в м2 (связность 4)
center8	X и Y центра тяжести контура (связность 8)
center4	X и Y центра тяжести контура (связность 4)
center8full	X и Y центра тяжести территории (связность 8)
center4full	X и Y центра тяжести территории (связность 4)
circumscribed8	Радиус описанной окружности (связность 8)
inscribed8	Радиус вписанной окружности (связность 8)
circumscribed4	Радиус описанной окружности (связность 4)

Окончание Таблицы 3.12

Поле таблицы	Описание
inscribed4	Радиус вписанной окружности (связность 4)
fractal8	фрактальная размерность (связность 8)
fractal4	фрактальная размерность (связность 4)
form	коэффициенты формы контура (связность 4)
lagerrx	коэффициенты разложения функции точек X контура в ряд по полиномам Лагерра (связность 4)
lagerry	коэффициенты разложения функции точек Y контура в ряд по полиномам Лагерра (связность 4)
legendrex	коэффициенты разложения функции точек X контура в ряд по полиномам Лежандра (связность 4)
legendrey	коэффициенты разложения функции точек Y контура в ряд по полиномам Лежандра (связность 4)
hermitex	коэффициенты разложения функции точек X контура в ряд по полиномам Эрмита (связность 4)
hermitey	коэффициенты разложения функции точек Y контура в ряд по полиномам Эрмита (связность 4)
exrox	коэффициенты разложения функции точек X контура в ряд по ортогональным экспонентам (связность 4)
exroy	коэффициенты разложения функции точек Y контура в ряд по ортогональным экспонентам (связность 4)
neigh	ближайший сосед
neighdist	расстояние до центра тяжести ближайшего соседа

Таблица 3.13 – Структура таблицы базы данных counturs_hex

Поле таблицы	Описание
number	№ п/п
image	изображение
X	X точек

Окончание Таблицы 3.13

Поле таблицы	Описание
Y	Y точек
Z	Z точек
S	точек ограничено контуром/площадь в м ²
center	X и Y центра тяжести контура
centerfull	X и Y центра тяжести территории
circumscribed	Радиус описанной окружности
inscribed	Радиус вписанной окружности
fractal	фрактальная размерность
form	коэффициенты формы контура (связность 4)
lagerrx	коэффициенты разложения функции точек X контура в ряд по полиномам Лагерра (связность 4)
lagerry	коэффициенты разложения функции точек Y контура в ряд по полиномам Лагерра (связность 4)
legendrex	коэффициенты разложения функции точек X контура в ряд по полиномам Лежандра (связность 4)
legendrey	коэффициенты разложения функции точек Y контура в ряд по полиномам Лежандра (связность 4)
hermitex	коэффициенты разложения функции точек X контура в ряд по полиномам Эрмита (связность 4)
hermitey	коэффициенты разложения функции точек Y контура в ряд по полиномам Эрмита (связность 4)
exrox	коэффициенты разложения функции точек X контура в ряд по ортогональным экспонентам (связность 4)
exroy	коэффициенты разложения функции точек Y контура в ряд по ортогональным экспонентам (связность 4)
neigh	ближайший сосед
neighdist	расстояние до центра тяжести ближайшего соседа

Таблица 3.14 – Структура таблицы базы данных counturs_hex_temp

Поле таблицы	Описание
number	№ п/п
image	изображение
X	X точек
Y	Y точек
Z	Z точек
S	точек ограничено контуром/площадь в м2
center	X и Y центра тяжести контура
centerfull	X и Y центра тяжести территории
circumscribed	Радиус описанной окружности
inscribed	Радиус вписанной окружности
fractal	фрактальная размерность
form	коэффициенты формы контура (связность 4)
lagerrx	коэффициенты разложения функции точек X контура в ряд по полиномам Лагерра (связность 4)
lagerry	коэффициенты разложения функции точек Y контура в ряд по полиномам Лагерра (связность 4)
legendrex	коэффициенты разложения функции точек X контура в ряд по полиномам Лежандра (связность 4)
legendrey	коэффициенты разложения функции точек Y контура в ряд по полиномам Лежандра (связность 4)
hermitex	коэффициенты разложения функции точек X контура в ряд по полиномам Эрмита (связность 4)
hermitey	коэффициенты разложения функции точек Y контура в ряд по полиномам Эрмита (связность 4)
exproх	коэффициенты разложения функции точек X контура в ряд по ортогональным экспонентам (связность 4)

Окончание Таблицы 3.14

Поле таблицы	Описание
exproy	коэффициенты разложения функции точек Y контура в ряд по ортогональным экспонентам (связность 4)
neigh	ближайший сосед
neighdist	расстояние до центра тяжести ближайшего соседа

Таблица 3.15 – Структура таблицы базы данных counturs_temp

Поле таблицы	Описание
number	№ п/п
image	изображение
X8	X точек (связность 8)
Y8	Y точек (связность 8)
X4	X точек (связность 4)
Y4	Y точек (связность 4)
S8	точек ограничено контуром/площадь в м2 (связность 8)
S4	точек ограничено контуром/площадь в м2 (связность 4)
center8	X и Y центра тяжести контура (связность 8)
center4	X и Y центра тяжести контура (связность 4)
center8full	X и Y центра тяжести территории (связность 8)
center4full	X и Y центра тяжести территории (связность 4)
circumscribed8	Радиус описанной окружности (связность 8)
inscribed8	Радиус вписанной окружности (связность 8)
circumscribed4	Радиус описанной окружности (связность 4)
inscribed4	Радиус вписанной окружности (связность 4)
fractal8	фрактальная размерность (связность 8)
fractal4	фрактальная размерность (связность 4)
form	коэффициенты формы контура (связность 4)

Окончание Таблицы 3.15

Поле таблицы	Описание
lagerrx	коэффициенты разложения функции точек X контура в ряд по полиномам Лагерра (связность 4)
lagerry	коэффициенты разложения функции точек Y контура в ряд по полиномам Лагерра (связность 4)
legendrx	коэффициенты разложения функции точек X контура в ряд по полиномам Лежандра (связность 4)
legendrey	коэффициенты разложения функции точек Y контура в ряд по полиномам Лежандра (связность 4)
hermitex	коэффициенты разложения функции точек X контура в ряд по полиномам Эрмита (связность 4)
hermitey	коэффициенты разложения функции точек Y контура в ряд по полиномам Эрмита (связность 4)
exrox	коэффициенты разложения функции точек X контура в ряд по ортогональным экспонентам (связность 4)
exroy	коэффициенты разложения функции точек Y контура в ряд по ортогональным экспонентам (связность 4)
neigh	ближайший сосед
neighdist	расстояние до центра тяжести ближайшего соседа

3.3. Оценка качества работы программной системы и развитие результатов исследований

Оценка качества разрабатываемого программного продукта включала в себя функциональное тестирование, в рамках которого системе была предложена выборка изображений (космических снимков), полученных из различных свободных источников. Такими источниками могут быть спутники yandex и google, снимки из которых можно получить при помощи программ

GoogleEarth или SasPlanet, каталоги СканЭкс [90] или Digital Globe, архивные данные Совзонд [13].

Изображения имели различный масштаб и были представлены в растровых форматах *.jpg, *.bmp, *.png. На Рисунке 3.8 представлен пример снимка с наложенными на него уже найденными границами.



Рисунок 3.8 – Идентифицированные алгоритмом выделенные замкнутые области границы, наложенные на исходный снимок.

Работа методики была проверена следующим образом. На первом шаге был обработан снимок тестового объекта (Рисунок 3.9) и получено изображение с отслеженными границами (Рисунок 3.10).



Рисунок 3.9. – Снимок тестового объекта (получен в программе SasPlanet).

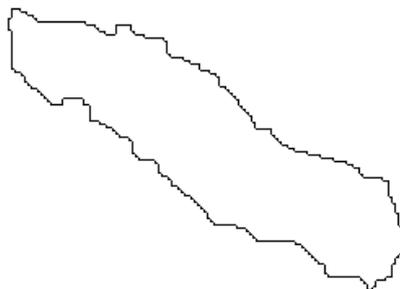


Рисунок – 3.10. Результаты обработки изображения (Рисунок 3.9.)

Далее был получен снимок этого же объекта из другого источника (Рисунок 3.11).

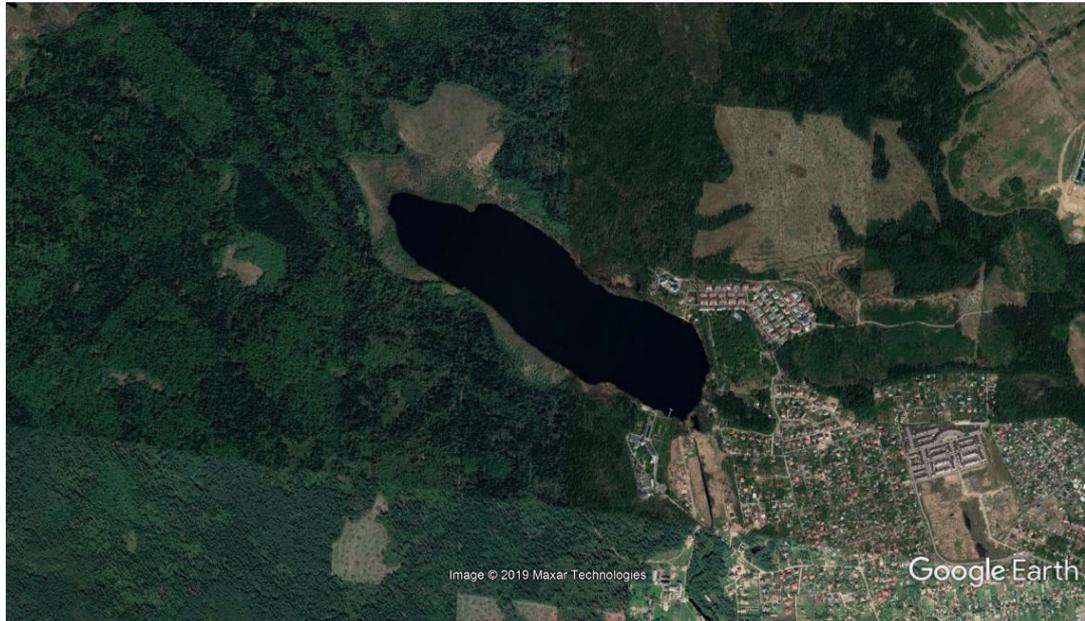


Рисунок 3.11. – Снимок тестового объекта (получен в программе GoogleEarth).

После этого в программе GIS INTEGRO [12] были загружены изображение с отслеженными границами (Рисунок 3.10) и необработанный снимок (Рисунок 3.11), взятый для сравнения, и осуществлена их привязка (рисунок 3.12).

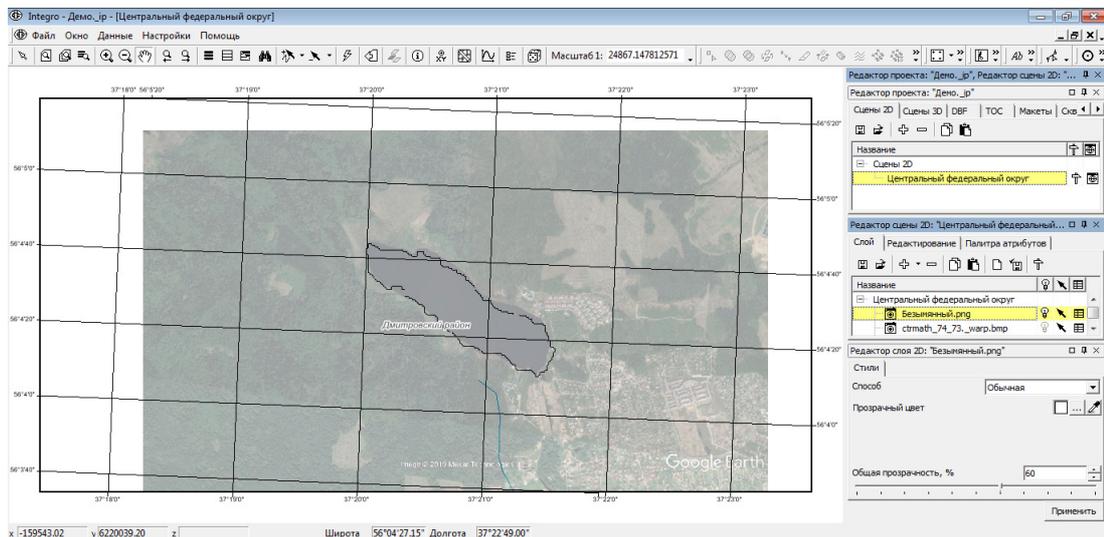


Рисунок 3.12. – Результаты совмещения отслеженного контура и снимка (Рисунок 3.11).

Как видно, контур, полученный в результате применения методик, хорошо накладывается на снимок этого же объекта из другого источника.

Если изображения совмещены в одном масштабе по корректурным точкам (координатам), то можно определить сумму площадей внутри постро-

енного контура и за его пределами (Рисунок 3.13 и Таблица 3.16), найти сумму квадратов этих площадей и поделить на их количество. Корень квадратный будет среднеквадратическим отклонением площади построенного контура от «эталона».

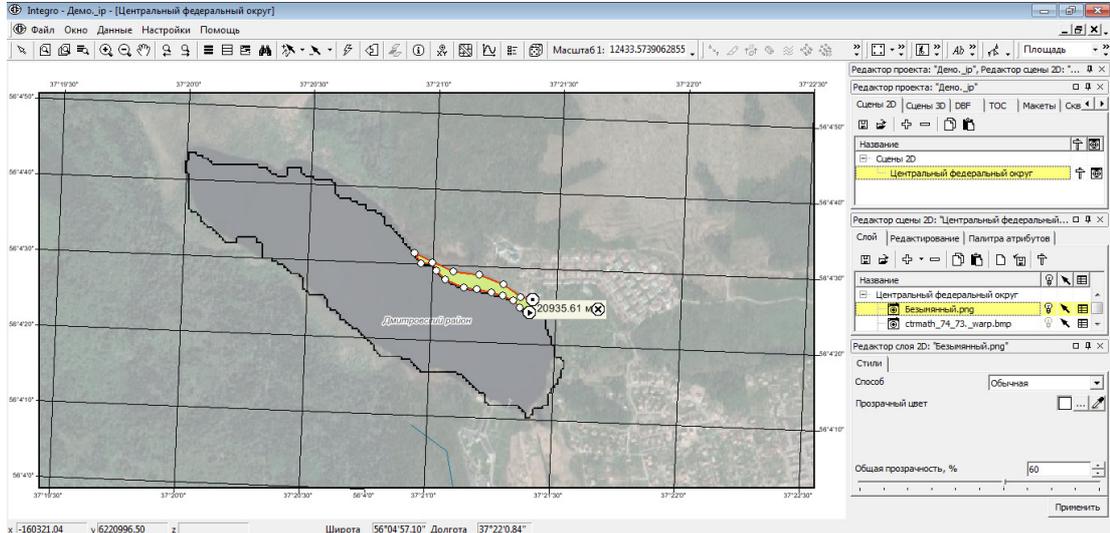


Рисунок 3.13. – Использование инструмента для вычисления площади.

Таблица 3.16. Вычисленные площади областей отклонения границ объектов

Площадь (м ²)	Квадрат площади
52417,49	2747593257,9001
5086,45	25871973,6025
4890,30	23915034,09
1170,15	1369251,0225
1309,49	1714764,0601
1435,30	2060086,09
987,53	975215,5009
11540,56	133184525,1136

Поделим сумму квадратов площадей на их количество:
 $2936684107,3797/8 = 367085513,4224625$. Извлечем корень квадратный:
 $367085513,4224625^{1/2} \approx 19159,476 \text{ м}^2$. Что соответствует примерно 2,94% от измеренной площади объекта по снимку, с которым осуществлялось сравнение полученного контура. Это отвечает требованиям «Инструкции по марк-

шейдерскому учету объемов горных работ при добыче полезных ископаемых открытым способом».

В Таблицах 3.17 – 3.19 даны примеры обработки некоторых снимков

Таблица 4.17. Примеры некоторых обработанных снимков территорий добычи полезных ископаемых [44]

Идентификатор снимка	Время съемки	Область охвата	Отслеженных контуров объектов	Комментарий
20160916_031310_0e16	16.09.2016	Карьер Удачный (Якутия)	8	При обработке данных снимков использованы идентичные настройки АИС «САКС»
20170919_032313_0f52	19.09.2017		>20	
20160811_031118_0e14	11.08.2016	Район карьера Удачный (Якутия)	17	К основному контуру присоединилась контрастная область, по яркости схожая с самим карьером
20171018_074704_1033	18.10.2017	Карьер Лебединского ГОКа (Белгородская обл.)	>20	Были идентифицированы два карьера, которые можно видеть на снимке
Снимок получен при помощи средства «Google Earth», поэтому идентификатора не имеет	12.05.2018	Район карьера Аксиныно (Московская область)	6	
	15.06.2018	Попова Гора (Матыра)	12	

Таблица 3.18 Числовые характеристики (коэффициенты формы) $\Phi 1$ - $\Phi 4$ для некоторых идентифицированных границ объектов на спутниковых снимках [44]

Снимок	$\Phi 1$	$\Phi 2$	$\Phi 3$	$\Phi 4$
20160811_031118_0e14	0,66015	0,64826	0,66050	0,648597
20160916_031310_0e16	0,92130	0,95958	0,93600	0,97489
20170919_032313_0f52	0,98913	1,00263	0,98223	0,99563
20171018_074704_1033	1,88358	1,90025	1,86073	1,87720
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 3.19 Числовые характеристики (коэффициенты формы) $\Phi 5$ - $\Phi 8$ для некоторых идентифицированных границ объектов на спутниковых снимках [44]

Снимок	$\Phi 5$	$\Phi 6$	$\Phi 7$	$\Phi 8$
20160811_031118_0e14	1,5148	1,51400	1,54260	1,54179
20160916_031310_0e16	1,08543	1,068375	1,04212	1,02575
20170919_032313_0f52	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

Следует отметить, что, помимо самих объектов интереса, на снимках в некоторых случаях обнаруживаются и другие объекты, имеющие замкнутый контур. Некоторые из них могут быть реальными объектами, некоторые являются областями со схожей спектральной яркостью. Есть и такие, которые появляются в результате приведения исходного снимка к бинарному виду и последующей фильтрации и морфологической обработки [44].

На Рисунке 3.14 показан пример результатов использования контурных признаков в процессе распознавания.

В данном программном средстве осуществлялась загрузка вычисленных коэффициентов формы для объектов, принятых в качестве «эталонных» и загрузка коэффициентов формы для исследуемого объекта. Далее на основе

выбранного расстояния (о них говорилось в п. 2.3 диссертации) выполняется сравнение числовых характеристик.

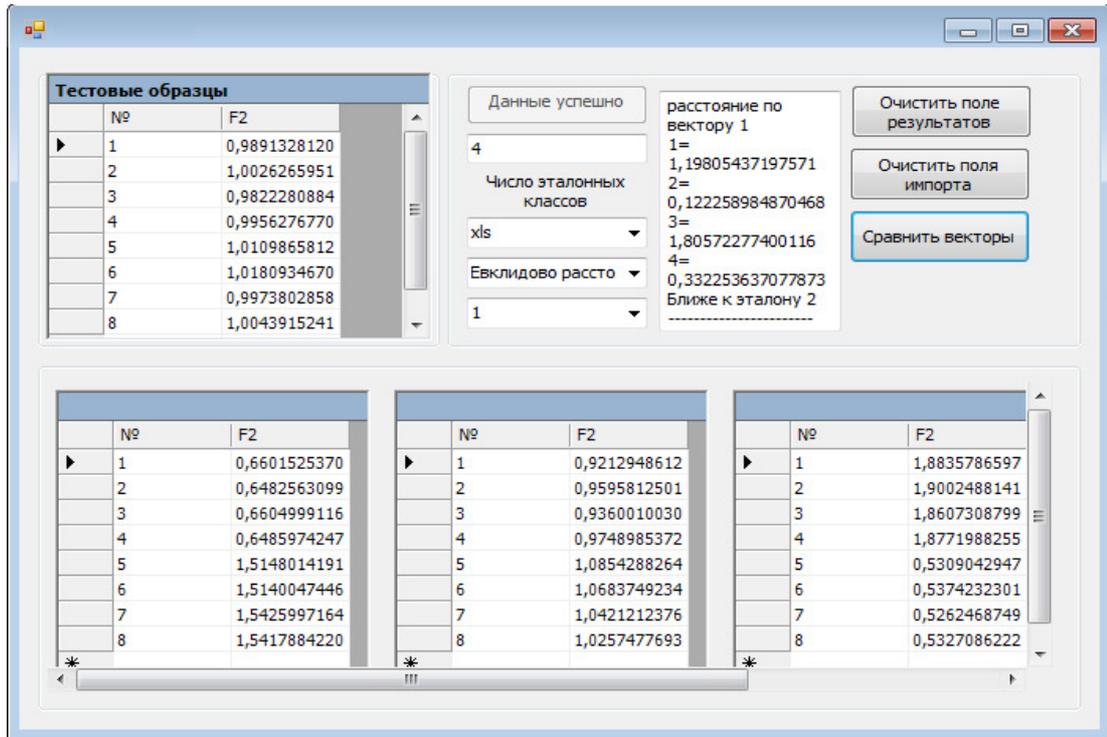


Рисунок 3.14 - Пример использования предлагаемых в работе информативных признаков в процессе распознавания (в качестве тестового использован снимок 20170919_032313_0f52)

В результате проведенного тестирования разработанного программного продукта были установлены:

- работоспособность программного средства;
- отсутствие критических ошибок компиляции программного кода;
- планомерность расходования аппаратных ресурсов;
- нахождение значений времени откликов в допустимых пределах;
- отсутствие критических ошибок в рамках проведения теста;
- возможность успешного решения задач, на решение которых направлено программное средство.

Предлагаемая методика и ее реализация могут применяться как самостоятельно, так и в комплексе с другими. Что важно при анализе состояния горнопромышленных объектов (обычно являющихся объемными, трехмерными).

В рамках исследования велась разработка и развитие и других программных средств (Рисунки 3.15 и 3.16), которые могут быть использованы в процессе моделирования и расчета параметров горнопромышленных и других объектов: «Модуль формирования геосистемы» [86] и «Цифровая геоэкономическая система управления сельхозпроизводством (АИС «Хозяин»» [85].

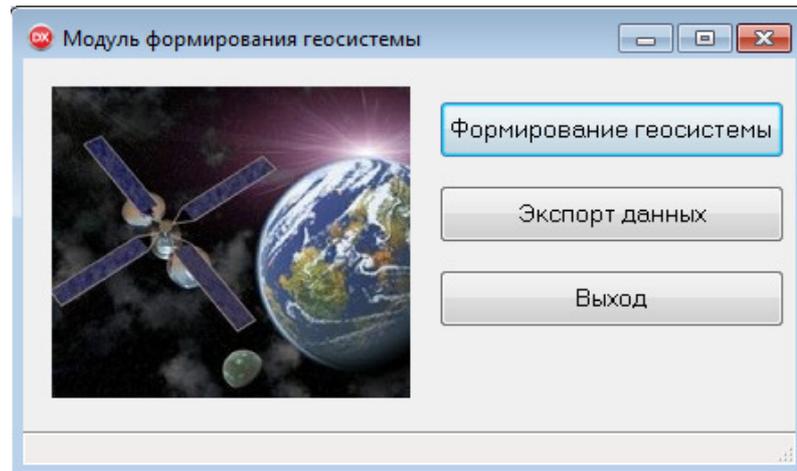


Рисунок 3.15 – «Модуль формирования геосистемы»

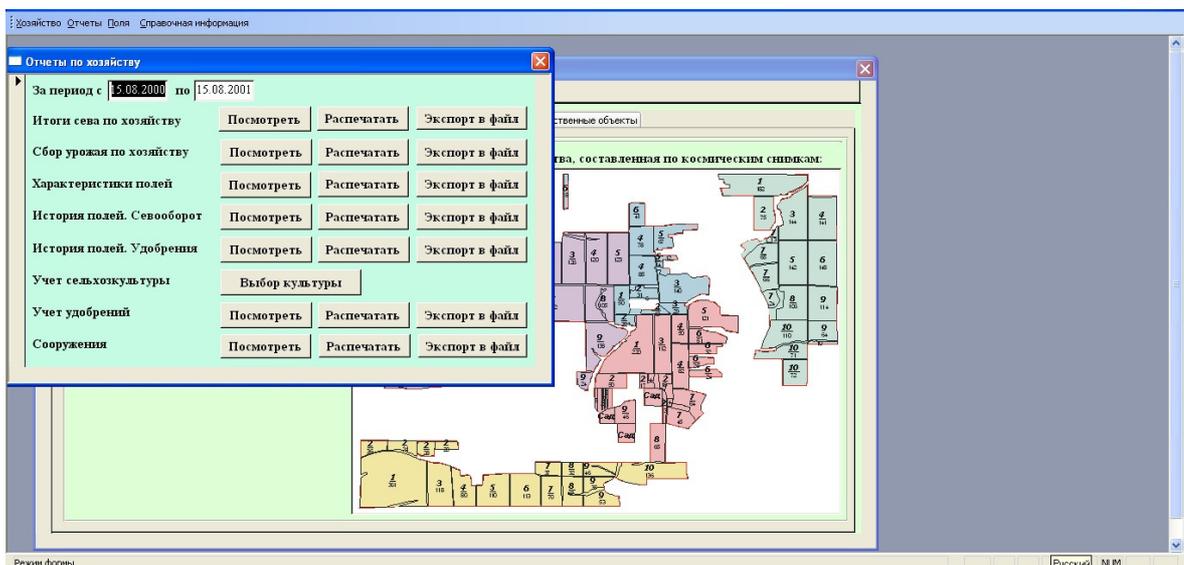


Рисунок 3.16 - «Цифровая геоэкономическая система управления сельхозпроизводством (АИС «Хозяин»»

Указанные программные средства также предназначены для формирования на основе данных ДЗЗ базы знаний по территориям (Рисунок 3.17). В указанную базу знаний могут быть включены и результаты, получаемые с использованием предлагаемой в данной работе методики [67].



Рисунок 3.17 - Схема обработки информации

В качестве основы для реализации подобного подхода является специализированный комплекс технических средств, предназначенных для обработки данных, обеспечивающий автоматизированное формирование и пополнение базы знаний, представляющей собой ориентированную на поиск по различным критериям упорядоченную совокупность информационных массивов. Каждый из этих массивов (блоков задач) является структурированным описанием задачи формирования определенного типа так называемых цифровых план-схем (ЦПС). При этом применяются иерархическая классификация задач анализа, обработки и распознавания изображений, а также тематического картирования объектов земной поверхности [13, 45, 49].

Сочетание таких компонентов, как: материалы дистанционного зондирования, результаты дешифрования этих данных, результаты наземных изысканий, преобразуемая с использованием технологии создания цифровых моделей местности в автоматизированную картографическую систему (ЦММ) информация положено в основу информационных ресурсов, формирующих базу данных для решения задач мониторинга [45]. Иными словами, к полученным в результате применения предлагаемой методики может быть «привязана» дополнительная информация из других источников. Например, историческая информация о горнопромышленном объекте, о текущих параметрах разработки. Или, опять же, цифровые модели местности.

Данный подход, а также имеющиеся современные научные достижения в таком случае становятся основой для создания независимой и открытой информационной системы, реализующей идеологию единого геоинформаци-

онного пространства, которое вмещает в себя информационные срезы средствами технологии цифровых план-схем. При этом повышается точность выделения границ объектов на спутниковых снимках с возможностью их периодического уточнения [45]. Появляется дополнительный инструмент для решения задач, связанных как с быстроразвивающимися аномальными процессами, так и с осуществлением долговременного мониторинга. А тот факт, что эта система является открытой и ее непрерывное пополнение осуществляется из независимых источников, делает её привлекательной для использования [45].

Следует отметить, что была установлена возможность более широкого применения результатов исследования. Например, возможна идентификация таких крупных объектов, как вырубки, водные объекты, объекты сельскохозяйственного назначения [78] (Рисунки 3.9-3.13, 3.18-3.21), .

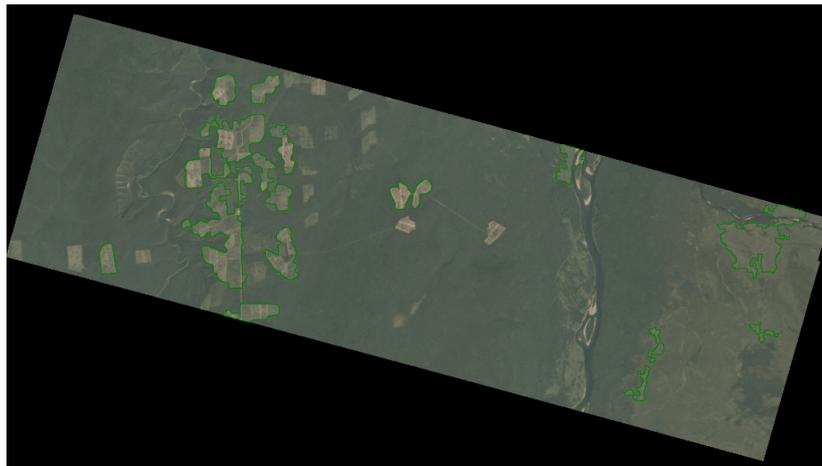


Рисунок 3.18 - Применение методики для отслеживания на снимках границ вырубок

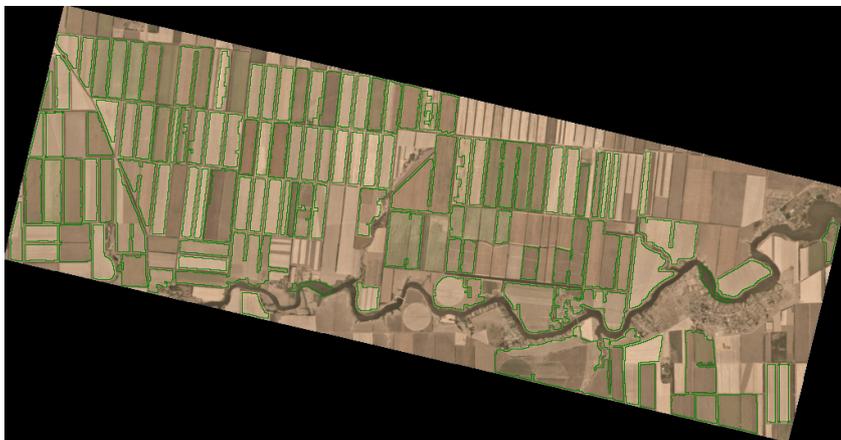


Рисунок 3.19 – Применение методики для отслеживания на снимках границ объектов сельскохозяйственного назначения

ВЫВОДЫ

1. Рассмотрены существующие программные средства, используемые для анализа спутниковых изображений.

2. Описаны требования к разрабатываемому программному средству АИС «САКС», программные средства и библиотеки, использованные в процессе разработки.

3. Подробно описан процесс разработки АИС «САКС», приведены логическая схема работы системы, диаграмма основных классов системы, структура базы данных, с которой АИС «САКС» взаимодействует. Отдельно описан каждый класс, методы и основные переменные для каждого из них. Описан пользовательский интерфейс программной системы и приведены фрагменты исходного кода программного средства, реализующие отслеживание контуров объектов на изображении (как описано в п. 2.2).

4. Произведены тестирование и оценка качества разработанного программного средства, а также проверена точность предлагаемой методики. Предлагаемая методика может применяться как самостоятельно, так и в комплексе с другими.

5. Показаны примеры результатов обработки спутниковых изображений с запечатленными объектами горнопромышленной и других отраслей. Показано, что предложенная область применения результатов, а именно идентификация горнопромышленных объектов, не является единственной.

6. Результаты, описанные в данной главе, уже используются (Приложение Б) и позволяют убедиться в том, что цель диссертационного исследования достигнута.

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.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов, Е.С. Моделирование систем распознавания изображений (На примере печатных текстов) [Текст] : Дис. ... канд. техн. наук : 05.13.01 СПб., 2006 – 140 с.
2. Адамович, Т.А. Применение данных Landsat 8 при изучении природных комплексов [Текст] / Т.А. Адамович, Т.Я. Ашихмина, Г.Я. Кантор, В.П. Савиных // Экология родного края: проблемы и пути их решения: Материалы XII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (г. Киров, 13–14 апреля 2017 г.). – Киров: ВятГУ, 2017. – Книга 1. – С. 19-22.
3. Алексеев, А.А. Теория управления [Текст] / А.А. Алексеев, Д.Х. Имаев, Н.Н. Кузьмин, В.Б. Яковлев. – СПб. : Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 1999. – 435 с.
4. Аналитический центр Минсельхоза России [Электронный ресурс] / Федеральное государственное бюджетное учреждение «Аналитический центр Минсельхоза России». Москва : ФГБУ «АЦ Минсельхоза России», 2018-2020. URL: <http://mcsxas.ru/>. Дата обращения: 14.12.2020.
5. Бакут, П.А. Сегментация изображений. Методы пороговой обработки [Текст] / П.А. Бакут, Г.С. Колмогоров, И.Э. Ворновицкий // Зарубежная радиоэлектроника. – 1987. – № 10. – с. 6–24.
6. Берг, О.Ю. Задачи улучшения качества программных продуктов [Текст] / О.Ю. Берг, С.В. Максютя, В.С. Пилидии // Программные продукты и системы. – 2007. – №4. – с. 16–20.
7. Варыгин, С.О. Методическая база выбора и обоснования оптимальных проектных решений горнодобывающих предприятий [Текст] / С.О. Варыгин, В.В. Агафонов, А.С. Оганесян, Г.А. Карасев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – № S11. – с. 37–41
8. Васильева, К.С. Проблемы обработки изображений [Текст] / К.С. Васильева // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5. – с. 34

9. Визильтер, Ю.В. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения [Текст] / Ю.В. Визильтер, С.Ю. Желтов, А.В. Бондаренко, М.В. Ососков, А.В. Моржин. – М.: Физматкнига, 2010. – 689 с.
10. Географические информационные системы и дистанционное зондирование [Электронный ресурс] / GIS-Lab и авторы. Москва : GIS-Lab, 2002-2018-2020. URL: <http://gis-lab.info/>. Дата обращения: 14.12.2020.
11. Геоматика [Электронный ресурс] / Компания «Совзонд», Москва : СОВЗОНД, 2008-2020. URL: <http://geomatica.ru/>. Дата обращения: 14.12.2020.
12. ГИС INTEGRO Геоинформационные технологии для природопользования [Электронный ресурс] / отделение Геоинформатики ФГБУ «ВНИГНИ». Москва : ВНИГНИ, 2020. URL: <http://www.gis-integro.ru/>. Дата обращения 14.12.2020.
13. ГИС технологии: интеграция геоинформационных систем – Совзонд [Электронный ресурс] / Компания «Совзонд». Москва : СОВЗОНД, 2020. URL: <http://sovzond.ru/>. Дата обращения: 14.12.2020.
14. Голубенко, Е.В. Исследование информативности контурных признаков распознавания естественных объектов земной поверхности [Текст] / Е.В. Голубенко, О.Ю. Митясова // Транспорт: наука, образование, производство: тр. междунар. науч.-практ. конф., апрель 2016 г. : в 5 т. / ФГБОУ ВПО РГУПС. – Ростов-на-Дону, 2016. – Т. 1 Технические науки – С. 115-118. <https://elibrary.ru/item.asp?id=28985786>
15. Голубенко, Е.В. Методика выбора размерности пространства признаков для систем технического зрения средств космического мониторинга [Текст] / Е.В. Голубенко, О.Ю. Митясова // Перспективные телекоммуникационные и информационные системы и технологии : сб. науч. тр. / ФГБОУ ВПО РГУПС. – Ростов-на-Дону, 2015. – С. 128-132.
16. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений [Текст] / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2012. – 1104 с.

17. Горлов, Д.В. Распознавание изображений на основе признаков, инвариантных к сдвигу, вращению, масштабированию [Текст] : Автореф. дис. канд. техн. наук: – Красноярск, 2002. – 20 с.
18. Гроп, Д. Методы идентификации систем [Текст] / Д. Гроп. – М. : Мир, 1979. – 302 с.
19. Гросс, К. С# 2008 [Текст] : [пер. с англ.] / К. Гросс. – СПб. : БХВ-Петербург, 2009. – 576 с.
20. Демин, А.А. Обзор интеллектуальных систем для оценки каллиграфии [Текст] // Инженерный вестник МГТУ имени Н.Э. Баумана. – 2016. – № 9. – с. 73–79
21. Дилигенская, А.Н. Идентификация объектов управления [Текст] : Учебное пособие / А.Н. Дилигенская. – Самара : Самар. гос. техн. ун-т., 2009. – 136 с.
22. Дмитриев, А.А. Ортогональные экспоненциальные функции в гидрометеорологии [Текст] / А.А. Дмитриев. – Ленинград : Гидрометеоздат, 1973. – 118 с.
23. Друки, А.А. Алгоритмы нейросетевого детектирования и распознавания символов на сложном фоне [Текст] : дис. ... канд. тех. наук : 05.13.01 / Алексей Алексеевич Друки ; науч. руководитель В.Г. Спицын. – Томск, 2015. – 216 с.
24. Дуда, Р. Распознавание образов и анализ сцен [Текст] / Р. Дуда, П. Харт ; пер. с англ. – М. : Издательство «МИР», 2006. – 509 с.
25. Елисеева, И.И. Общая теория статистики [Текст] : Учебник / И.И. Елисеева, М.М. Юзбашев; под ред. И.И. Елисеевой. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 656 с : ил.
26. Ергалиев, Д.С. Геометрические искажения и геометрическая коррекция спутниковых снимков [Текст] / Д.С. Ергалиев, А.Д. Тулегулов, Ж.С. Мусагулова, А.Б. Нысанбаева // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». – 2013. – Т.1.

27. Журавель, И.М. Краткий курс теории обработки изображений [Электронный ресурс] // Matlab и Simulink - сообщество пользователей, материалы, книги, форум. URL: <http://matlab.exponenta.ru/imageprocess/book2/>. (дата обращения: 14.12.2020).
28. Закс, Ш. Теория статистических выводов [Текст] / Ш. Закс. – М. : Мир, 1975. – 570 с.
29. Залманзон, Л.А. Преобразования Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях [Текст] / Л.А. Залманзон. – М. : Наука, 1989. – 496 с.
30. Захарова, Л.Н. Совместный анализ данных оптических и радиолокационных сенсоров: возможности, ограничения и перспективы [Текст] / Л.Н. Захарова, А.И. Захаров, М.В. Сорочинский, Г.П. Рябоконь, В.М. Леонов // Радиотехника и электроника. – 2011. – Т.56, №1. – с. 5–19.
31. Земля из космоса [Электронный ресурс] / ООО «ИТЦ «СКАНЭКС». Москва : СКАНЭКС, 2009-2020. URL: <http://zikj.ru/index.php/ru/>. Дата обращения: 14.12.2020.
32. Иванов, Е.С. Некоторые приложения сегментации снимков ДЗЗ [Текст] / Е.С. Иванов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2016. – Т.13, №1. – с. 105–116.
33. Институт космических исследований [Электронный ресурс] / Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН). Москва : ИКИ РАН, 1997-2020. URL: <http://www.iki.rssi.ru/>. Дата обращения: 14.12.2020.
34. Каплунов, Д.Р. Комплексное освоение недр [Текст] / Д.Р. Каплунов, В.В. Мельник, М.В. Рыльникова. – Тула: Тульский государственный университет, 2016. – 333 с.
35. Карьеры и перевалки России [Электронный ресурс] // Портал Самосвал.Инфо – прямые поставщики песка и щебня. URL: <https://samosval.info/karery-i-perevalki/>. (дата обращения: 14.12.2020).

36. Кашкин, В.Б. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений [Текст] / В.Б. Кашкин, А.И. Сухинин. – М. : Логос, 2001. – 264 с.
37. Климов, А.П. С#. Советы программистам [Текст] / А.П. Климов. – СПб. : БХВ-Петербург, 2008. – 544 с.
38. Компьютерная обработка аэрокосмических снимков [Электронный ресурс] // Блог о самостоятельном туризме. URL: http://www.bygeo.ru/materialy/piaty_i_kurs/tds/2898-kompyuternaya-obrabotka-aerokosmicheskikh-snimkov.html. (дата обращения: 14.12.2020).
39. Котович, Н.В. Распознавание скелетных образов [Текст] / Н.В. Котович, О.А. Славин // Информационные технологии и вычислительные системы 2000. – № 4. – с. 204–215.
40. Крамаров, С.О. Методология идентификации состояния и развития инфраструктуры Южного региона средствами космического мониторинга [Текст] / С.О. Крамаров, О.Ю. Митясова, В.В. Храмов // Транспорт: наука, образование, производство: тр. междунар. науч.-практ. конф., апрель 2016 г. : в 5 т. / ФГБОУ ВПО РГУПС. – Ростов-на-Дону, 2016. – Т. 1 Технические науки – С. 154-159. <https://elibrary.ru/item.asp?id=28985796>
41. 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)
42. Крамаров С.О. Отслеживание изменений топологии объектов добычи полезных ископаемых на прямоугольных и гексагональных решетках [Текст] / С.О. Крамаров, О.Ю. Митясова // Горные науки и технологии. – 2020. Т.5. – № 2. – С. 154-161). – DOI: <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2020-2-154-161>
43. Крамаров, С.О. Повышение уровня продовольственной безопасности страны с использованием технологий спутникового мониторинга [Текст] /

- С.О. Крамаров, В.В. Храмов, А.В. Беляев, Ю.В. Прус, О.Ю. Митясова, В.Ю. Романченко // Технологии техносферной безопасности. – 2017. – Вып. 2 (72). – С. 203-208. <https://elibrary.ru/item.asp?id=29871141>
44. 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>
45. Крамаров, С.О. Технологии спутникового мониторинга для генерирования цифровых план-схем экологического состояния территорий [Текст] / С.О. Крамаров, В.В. Храмов, А.Н. Небаба, О.Ю. Митясова, Ю.В. Прус, В.Ю. Романченко // Технологии техносферной безопасности. – 2017. – Вып. 1 (71). – С. 255-258. <https://elibrary.ru/item.asp?id=29871104>
46. Крашенинников, В.Р. Основы теории обработки изображений [Текст] / В.Р. Крашенинников. – Ульяновск : УлГТУ, 2003. – 150 с.
47. Кудж С.А., Цветков В.Я. Геоинформатика. – М: ООО «МАКС Пресс», 2019. – 224 с.
48. Линник, Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы теории обработки наблюдений [Текст] / Ю.В. Линник. – Изд. 2-е, доп. и испр. – М. : Физматиздат, 1962. – 349 с.
49. Лупян Е.А. Технология построения автоматизированных информационных систем сбора, обработки, хранения и распространения спутниковых данных для решения научных и прикладных задач [Текст] / Е.А. Лупян, А.А. Мазуров, Р.Р. Назиров, А.А. Прошин, Е.В. Флитман // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2004. – Т.1, №1. – с. 81–88.
50. Льюнг, Л. Идентификация систем. Теория для пользователя [Текст] / Л. Льюнг. – М.: Наука, 1991. – 432 с.

51. Математическая теория планирования эксперимента / Ермаков С. М., Бродский В. З., Жиглявский А. А. [и др.]; под ред. С. М. Ермакова. – М. : Наука, 1983. – 391 с.
52. Местецкий, Л.М. Непрерывная морфология бинарных изображений: фигуры, скелеты, циркуляры [Текст] / Л.М. Местецкий. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 288 с.
53. Методы компьютерной обработки изображений [Текст] : Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов «Прикладная математика» / Гашников М.В. [и др.]; под ред. В.А. Сойфера. – 2. изд., испр. – М. : Физматлит, 2003 (ППП Тип. Наука). – 780 с. : ил., табл.; 24 см.; ISBN 5-9221-0270-2 (в пер.)
54. Министерство сельского хозяйства РФ [Электронный ресурс] / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. Москва : МСХ РФ, 2017-2020 URL: <http://www.mcx.ru/>. Дата обращения: 14.12.2020.
55. Митясова, О.Ю. Применение открытых данных дистанционного зондирования для оценки состояния объектов горнодобывающей промышленности [Текст] // Интеллектуальные ресурсы – региональному развитию. – 2018. – Т.5. – № 2 – С. 122-127 <https://elibrary.ru/item.asp?id=41353636>
56. Москвитина, И. Добыча песка в России и мире: скрытые экологические потери [Электронный ресурс] // Движение экологической культуры Ecoscosm. URL: <https://eco-cosm.com/articles/globalno/dobyicha-peska-v-mire-skryityie-ekologicheskie-poteri>. (дата обращения: 14.12.2020).
57. Национальный открытый университет ИНТУИТ [Электронный ресурс] / Национальный открытый университет «ИНТУИТ». Москва : ИНТУИТ, 2003-2020. URL: <http://www.intuit.ru/>. Дата обращения: 14.12.2020.
58. Невельсон, М.Б. Стохастическая аппроксимация и рекуррентное оценивание [Текст] / М.Б. Невельсон, Р.З. Хасьминский. – М.: Наука, 1972. – 304 с.

59. Неронский, Л.Б. Перспективы развития методов и систем радиолокационного наблюдения космического базирования [Текст] // Журнал радиоэлектроники. – 2011. – №11.
60. Об утверждении Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201812280093> (дата обращения: 14.12.2020).
61. Огарков, М.А. Методы статистического оценивания параметров случайных процессов [Текст] / М.А. Огарков. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 208 с.
62. Оппенгейм, А. Цифровая обработка сигналов [Текст] / А. Оппенгейм, Р. Шафер. – М: Техносфера, 2006. – 856 с.
63. Остром, К. Системы управления с ЭВМ [Текст] / К. Остром, Б. Виттенмарк. – М. : Мир, 1987. – 480 с.
64. Ответственность за нелегальную добычу песка [Электронный ресурс] // Уголовный эксперт. Комментарии уголовного юриста. URL: <http://ugolovnyi-expert.com/nezakonnaya-dobycha-peska/>. (дата обращения: 14.12.2020).
65. Павлейно, М.А. Спектральные преобразования в MATLAB [Текст]: учебно-методическое пособие / М.А. Павлейно, В.М. Ромаданов; Санкт-Петербургский гос. ун-т, Физ. фак., Науч.-образовательный центр «Электрофизика». – Санкт-Петербург : б.и., 2007. – 160 с.
66. Панов, Р.С. Развитие геологоразведки – залог стабильного экономического развития России [Текст] / Р.С. Панов // Аналитический вестник. – 2014. – № 16 (534). – С. 7-16.
67. 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 образо-

- вания «Южный Университет (ИУБиП)». – № 2015153226/08(082031); заявл. 11.12.2015; опубл. 27.12.2017, Бюл. № 36. – 8 с.: ил.
68. Пестунов, И.А. Алгоритмы кластеризации в задачах сегментации спутниковых изображений [Текст] / И.А. Пестунов, Ю.Н. Синявский // Вестник КемГУ. – 2012. – Т.4, № 4(52). – с. 110–125.
69. Петров, Е.П. Метод выделения контуров объектов на спутниковых снимках минимальными вычислительными ресурсами [Текст] / Е.П. Петров, Н.Л. Харина, К.Н. Чукаев // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2016. – Т.13, №5. – с. 304–311.
70. Портал искусственного интеллекта [Электронный ресурс] / aiportal.ru и авторы. [2009]. URL: <http://www.aiportal.ru/>. Дата обращения: 14.12.2020.
71. Портал искусственного интеллекта [Электронный ресурс] / neuronus.com и авторы. [2001]. URL: <http://neuronus.com/>. Дата обращения: 14.12.2020.
72. Потапов, А.А. Новейшие методы обработки изображений [Текст] / А.А. Потапов [и др.] ; под общ. ред. А.А. Потапова. – М. : Физматлит, 2008. – 496 с., [13] л. ил., цв. ил. : ил., портр., табл.; 24 см.; ISBN 978-5-9221-0841-6
73. Прэтт, У. Цифровая обработка изображений [Текст] : В 2-х кн. / У. Прэтт ; пер. с англ. под ред. Д. С. Лебедева. – М. : Мир, 1982. – 312 с.: ил.
74. Пытьев, Ю.П. Методы морфологического анализа изображений [Текст] / Ю.П. Пытьев, А.И. Чуличков. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 336 с.
75. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования [Текст] / В.С. Верба [и др.] ; под ред. В.С. Вербы. – М: Радиотехника, 2010. – 675 с. : ил., табл.; 25 см. – (Научная серия "Системы мониторинга воздушного, космического пространства и земной поверхности"); ISBN 978-5-88070-263-3
76. Райбман, Н.С. Что такое идентификация? [Текст] / Н.С. Райбман. – М. : Наука, 1970. – 118 с.
77. Рубис, А.Ю. Морфологическая фильтрация изображений на основе взаимного контрастирования [Текст] / А.Ю. Рубис, М.А. Лебедев, Ю.В. Визиль-

- тер, О.В. Выголов // Компьютерная оптика. – 2016. – Т.40, №1. – с. 73–79. – doi: 10.18287/2412-6179-2016-40-1-73-79.
- 78.Савиных, В.П. Системно-категориальный анализ при мониторинге земель по данным дистанционного зондирования / В.П. Савиных, В.В. Ознамец, Н.Н. Сельманова, В.Я. Цветков // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2018. – Т.62, №1. – с. 106-113.
- 79.Сальников, И.И. Методы цифровой обработки изображений [Текст] / И.И. Сальников, Д.С. Мартенс-Атюшев // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 3-2. – с. 276–277.
- 80.Самойлин, Е.А. Оценка эффективности программных методов обработки изображений [Текст] / Е.А. Самойлин // Программные продукты и системы. – 2007. – №4. – С. 34–37.
- 81.Саридис, Дж. Самоорганизующиеся стохастические системы управления [Текст] / Дж. Саридис. – М. : Наука, 1980. – 400 с.
- 82.Сато, Ю. Без паники! Цифровая обработка сигналов [Текст] / Юкио Сато. – М.: Додэка XXI век, 2017. – 176 с.
- 83.Сводный государственный реестр участков недр и лицензий [Электронный ресурс] // Федеральное агентство по недропользованию «Роснедра». Российский федеральный геологический фонд «Росгеолфонд». URL: <https://rosgeolfond.ru/info-resursy/gosudarstvennyj-reestr-uchatkov-nedr>. (дата обращения: 14.12.2020).
- 84.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.
- 85.Свид. 2018614994. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Цифровая геоэкономическая система управления сельхозпроизводством (АИС «Хозяин») / Повх В.И., А.А. Лощинин А.А., Хал-

- турин 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.
86. Свид. 2020615607. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Модуль формирования геосистемы / Крамаров С.О., Митясова О.Ю., Храмов В.В., Темкин И.О., Groшев А.Р.; заявитель и правообладатель Частное профессиональное образовательное учреждение «Егорлыкский Колледж». – № 2020614521; заявл. 12.05.2020; опубл. 27.05.2020, Бюл. № 6. – 1 с.
87. Сейдж, Э.П., Идентификация систем управления [Текст] / Э.П. Сейдж, Дж.Л. Мелса. – М. : Наука, 1974. – 248 с.
88. Сейдж Э.П. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении [Текст] / Э.П. Сейдж, Дж.Л. Мелса. – М. : Связь, 1976. – 496 с.
89. Сергиенко, А.Б. Цифровая обработка сигналов [Текст] / А.Б. Сергиенко. – 3-е изд. – СПб. : БХВ-Петербург, 2011. – 758 с.
90. СКАНЭКС [Электронный ресурс] / Группа компаний «СКАНЭКС». Москва : СКАНЭКС, 2020. URL: <http://www.scanex.ru/>. Дата обращения: 14.12.2020.
91. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса [Электронный ресурс] / Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН). Москва : ИКИ РАН, 2014-2020. URL: <http://jr.rse.cosmos.ru/>. Дата обращения: 14.12.2020.
92. Суетин, П.К. Классические ортогональные многочлены [Текст] / П.К. Суетин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 480 с.
93. Сутырина Е.Н. Дистанционное зондирование земли [Текст] : учеб. пособие / Е.Н. Сутырина. – Иркутск : Изд-во ИГУ, 2013. – 165 с.
94. Темкин, И.О. Принципы и модели интеллектуального управления роботизированными объектами горнотранспортного комплекса карьера [Текст] /

- И.О. Темкин, Д.А. Клебанов, А.Л. Куляница, В.К. Мезенцев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. – № S1. – С. 233-243.
95. Темкин, И.О. Проблемы моделирования взаимодействия интеллектуальных агентов на горнопромышленном предприятии [Текст] / И.О. Темкин, А.Н. Гончаренко // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2014. – № 4-2 (183). – С. 252-259.
96. Троелсен, Э. Язык программирования С# 2010 и платформа .NET 4 [Текст] / Э. Троелсен; пер. с англ. – 5-е изд. – М. : ООО «И.Д. Вильямс», 2011. – 1344 с.
97. Фаворская, М.Н. Морфологическая обработка контурных изображений в системах распознавания текстовых символов [Текст] / М.Н. Фаворская, А.С. Зотин, А.Н. Горошкин // Вестник СибГАУ. – 2007. – Т.1(14). – с. 70–75
98. Фисенко, В.Т. Компьютерная обработка и распознавание изображений [Текст] / В.Т. Фисенко, Т.Ю. Фисенко. – СПб : СПбГУ ИТМО, 2008. – 192 с.
99. Форсайт, Д. Компьютерное зрение. Современный подход [Текст] / Д. Форсайт, Ж. Понс. – М. : «Вильямс», 2004. – 928 с.
100. Фурман, Я.А. Введение в контурный анализ: Приложения к обработке изображений и сигналов [Текст] / Я.А. Фурман [и др.] ; под ред. Я.А. Фурмана. – 2-е изд., испр. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 592 с.
101. Фурман, Я.А. Цифровые методы обработки и распознавания бинарных изображений [Текст] / Я.А. Фурман, А.Н. Юрьев, В.В. Яншин. – Красноярск : Изд-во Краснояр. ун-та, 1992. – 248 с.
102. Хикс Ч.Р. Основные принципы планирования эксперимента [Текст] / Ч.Р. Хикс. – М. : Мир, 1967. – 406 с.
103. Храмов, В.В. Интеллектуальные информационные системы [Текст] : учебное пособие. В 2 ч. Ч.2: Интеллектуальный анализ данных /

- В.В.Храмов, Д.С. Гвоздев ; Рост. гос. ун-т путей сообщения. – Ростов н/Д, 2012. – 134 с. : ил. – Библиогр. : 9 назв.
104. Храмов, В.В. Методы и модели обнаружения и распознавания протяженных объектов на земной поверхности [Текст] / В.В. Храмов // Системные проблемы надёжности, качества, математического моделирования и информационных технологий в инновационных проектах: коллективная монография. – М. : изд-во НИИВШЭ, 2013. – с. 11–23.
105. Храмов, В.В. Особенности агрегирования качественных признаков опорных ориентиров в системах технического зрения [Текст] / В.В. Храмов, Ю.О. Чернышов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2001. – Т. 21, № 3. – с. 54–55.
106. Храмов, В.В. Формирование базы знаний для 3D-модели сети железных дорог России [Текст] / В.В. Храмов // Транспорт-2015 : тр. междунар. науч.-практ. конф., апрель 2015 г. : в 4 ч. / ФГБОУ ВПО РГУПС. – Ростов-на-Дону, 2015. – Ч. 2: Технические науки. – С. 131-134. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25090678>
107. Хуанг, Т.С. Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений. Преобразования и медианные Фильтры. [Текст] / Т.С. Хуанг, Дж.-О. Эклунд, Г. Дж. Нуссбаумер [и др.] ; под ред. Т.С. Хуанга; пер. с англ. – М. : Радио и связь, 1984. – 224 с.
108. Цифровая обработка сигналов [Текст] / Р. Лайонс ; пер. с англ. под ред. А. А. Бритова. – 2-е изд. – Москва : БИНОМ : БИНОМ-Пресс, 2006. – 652 с. : ил. ; 25. – Предм. указ.: с. 641-652. – Пер. изд. : Understanding digital signal processing / Richard G. Lyons. – ISBN 5-9518-0149-4 : Б. ц.
109. Цымбал, В.П. Математическое моделирование сложных систем в металлургии [Текст] : учеб. для вузов / В.П. Цымбал. – Кемерово : Кузбассвуиздат; М. : АСТШ, 2006. – 431 с.
110. Цыпкин, Я.З. Основы информационной теории идентификации [Текст] / Я.З. Цыпкин. – М. : Наука, 1984. – 320 с.

111. Чабан, Л.Н. Теория и алгоритмы распознавания образов [Текст] / Л.Н. Чабан. – М. : МИИГАиК. 2004. – 70 с.
112. Шапиро, Л. Компьютерное зрение [Текст] / Л. Шапиро, Дж. Стокман; пер. с англ. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 752 с.
113. Шикин, Е.В. Компьютерная графика. Динамика, реалистические изображения [Текст] / Е.В. Шикин, А.В. Боресков. – М. : ДИАЛОГ-МИФИ, 1996. – 288 с.
114. Шитова, О.В. Анализ методов сегментации текстурных областей изображений в системах обработки изображений [Текст] / О.В. Шитова, Д.Н. Пухляк, Е.М. Дроб // Научные ведомости БелГУ. Серия: История, Политология, Экономика, Информатика. – 2014. – №8 (179). – выпуск 30/1. – с. 182–188
115. Шовенгердт, Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений [Текст] / Р.А. Шовенгердт. – М.: Техносфера, 2010. – 560 с.
116. Штейнберг, Ш.Е. Идентификация в системах управления [Текст] / Ш.Е. Штейнберг. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 80 с.
117. Эйкхофф, П. Основы идентификации систем управления [Текст] / П. Эйкхофф. – М.: Мир, 1975. – 686 с.
118. Электронный журнал «Молодежный научно-технический вестник» [Электронный ресурс] / Молодежный научно-технический вестник. Москва : Академия инженерных наук им. А.М. Прохорова, 2003-2020. URL: <http://ainsnt.ru/>. Дата обращения: 14.12.2020.
119. Электронный научный журнал «Международный студенческий научный вестник» [Электронный ресурс] / ООО «Информационно-технический отдел Академии Естествознания». Москва : Российская академия естествознания, 2014-2020. URL: <https://eduherald.ru/ru>. Дата обращения: 14.12.2020.
120. Яне, Б. Цифровая обработка изображений [Текст] / Б. Яне. – М.: Техносфера, 2007. – 584 с.

121. 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>
122. ArcGIS Online [Электронный ресурс] / Environmental Systems Research Institute. USA : ESRI, 2004-2020. URL: <http://www.arcgis.com/index.html>. Дата обращения: 14.12.2020.
123. Cyganek, B. Object detection and recognition in digital images: theory and practice [Text] / B. Cyganek. – New Jersey: John Wiley & Sons, 2013. – 548 p.
124. Esri: программное обеспечение для картографирования ГИС, анализа пространственных данных и геолокации [Электронный ресурс] / Environmental Systems Research Institute. USA : ESRI, 1996-2020. URL: <https://www.esri.com/ru-ru/home>. Дата обращения: 14.12.2020.
125. Excellibrary [Electronic resource] // Google code. URL: <https://code.google.com/archive/p/excellibrary/>. (access date: 14.12.2020).
126. MachineLearning.Ru – профессиональный русскоязычный информационно-аналитический ресурс по машинному обучению, распознаванию образов и интеллектуальному анализу данных [Электронный ресурс] / ООО «Форексис». Москва : ФОРЕКСИС, 2008-2020. URL: http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=%D0%97%D0%B0%D0%B3%D0%BB%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%86%D0%B0. Дата обращения: 14.12.2020.
127. Otsu, N. A threshold selection method from gray-level histogram [Text] / N. Otsu // *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.* – 1979 – vol 9 – p. 62–66
128. Riesen, K. Structural Pattern Recognition with Graph Edit Distance. Approximation Algorithms and Applications [Text] / K. Riesen. – Springer, 2015. – 164 p.
129. Shih, F.Y. Image processing and pattern recognition fundamentals and techniques [Text] / F.Y. Shih. – New Jersey: John Wiley & Sons, 2010. – 552 p.

130. The web site of the leading digital image processing books and other educational resources [Electronic resource] / R.C. Gonzalez, R.E. Woods, S.L. Eddins. USA : Pearson-Prentice Hall, 2004-2020. URL: <http://www.imageprocessingplace.com/index.htm>. Access date: 14.12.2020.
131. ZedGraph [Electronic resource] // The Complete Open-Source and Business Software Platform. URL: <https://sourceforge.net/projects/zedgraph/>. (access date: 14.12.2020).

ПРИЛОЖЕНИЕ А РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ «АИС САКС»

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования**

**«Национальный исследовательский технологический университет
«МИСиС»**

Автоматизированная Информационная система
«САКС (Система Анализа Космических Снимков)»

версия 5.140.50.854.22

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

г. Москва

2020 г.

1. ВВЕДЕНИЕ
 - 1.1. Область применения
 - 1.2. Краткое описание возможностей
 - 1.3. Уровень подготовки пользователя
 - 1.4. Перечень эксплуатационной документации
2. НАЗНАЧЕНИЕ И УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ
 - 2.1. Виды деятельности, функции
 - 2.2. Программные и аппаратные требования к системе
3. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ
 - 3.1. Состав дистрибутива
 - 3.2. Запуск системы
 - 3.3. Проверка работоспособности системы
4. ОПИСАНИЕ ОПЕРАЦИЙ
 - 4.1. Выбор и загрузка снимка в систему
 - 4.1.1. Наименование операции
 - 4.1.2. Условия выполнения операции
 - 4.1.3. Подготовительные действия
 - 4.1.4. Основные действия
 - 4.1.5. Заключительные действия
 - 4.1.6. Ресурсы, расходуемые на операцию
 - 4.2. Настройка яркости, контрастности и цветового баланса загруженного снимка
 - 4.2.1. Наименование операции
 - 4.2.2. Условия выполнения операции
 - 4.2.3. Подготовительные действия
 - 4.2.4. Основные действия
 - 4.2.5. Заключительные действия
 - 4.2.6. Ресурсы, расходуемые на операцию
 - 4.3. Выбор параметров анализа снимка
 - 4.3.1. Наименование операции
 - 4.3.2. Условия выполнения операции
 - 4.3.3. Подготовительные действия
 - 4.3.4. Основные действия
 - 4.3.5. Заключительные действия
 - 4.3.6. Ресурсы, расходуемые на операцию
 - 4.4. Выделение контура

- 4.4.1. Наименование операции
- 4.4.2. Условия выполнения операции
- 4.4.3. Подготовительные действия
- 4.4.4. Основные действия
- 4.4.5. Заключительные действия
- 4.4.6. Ресурсы, расходуемые на операцию
- 4.5. Обработка изображения как эталонного
 - 4.5.1. Наименование операции
 - 4.5.2. Условия выполнения операции
 - 4.5.3. Подготовительные действия
 - 4.5.4. Основные действия
 - 4.5.5. Заключительные действия
 - 4.5.6. Ресурсы, расходуемые на операцию
- 4.6. Вычисление контурных признаков и распознавание объектов при помощи нейронной сети Кохонена
 - 4.6.1. Наименование операции
 - 4.6.2. Условия выполнения операции
 - 4.6.3. Подготовительные действия
 - 4.6.4. Основные действия
 - 4.6.5. Заключительные действия
 - 4.6.6. Ресурсы, расходуемые на операцию
- 4.7. Работа в полноэкранном режиме
 - 4.7.1. Наименование операции
 - 4.7.2. Условия выполнения операции
 - 4.7.3. Подготовительные действия
 - 4.7.4. Основные действия
 - 4.7.5. Заключительные действия
 - 4.7.6. Ресурсы, расходуемые на операцию
- 4.8. Работа в оконном режиме
 - 4.8.1. Наименование операции
 - 4.8.2. Условия выполнения операции
 - 4.8.3. Подготовительные действия
 - 4.8.4. Основные действия
 - 4.8.5. Заключительные действия
 - 4.8.6. Ресурсы, расходуемые на операцию

4.9. Использование гексагональной (шестиугольной) решетки

4.9.1. Наименование операции

4.9.2. Условия выполнения операции

4.9.3. Подготовительные действия

4.9.4. Основные действия

4.9.5. Заключительные действия

4.9.6. Ресурсы, расходуемые на операцию

4.10. Завершение работы приложения

4.10.1. Наименование операции

4.10.2. Условия выполнения операции

4.10.3. Подготовительные действия

4.10.4. Основные действия

4.10.5. Заключительные действия

4.10.6. Ресурсы, расходуемые на операцию

5. АВАРИЙНЫЕ СИТУАЦИИ

6. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОСВОЕНИЮ

1. Введение

1.1. Область применения

АИС «Система анализа космических снимков» предназначена для информационно-аналитического обеспечения процессов обработки и анализа космических снимков, в части исполнения следующих процессов:

- предварительная фильтрация и морфологическая обработка изображения;
- выделение контура объекта на изображении;
- вычисление метрических параметров контура объекта;
- построение параметрических функций, описывающих контур объекта;
- анализ параметрических функций путем разложения их в тригонометрический ряд Фурье;
- анализ параметрической функции путем разложения ее в обобщенный ряд Фурье с использованием ортогональных полиномов;
- осуществление процесса триангуляции по вычисленным центрам тяжести отслеженных границ объектов.

АИС «Анализ космических снимков» рекомендуется для использования в организациях, задействованных в исполнении вышеперечисленных процессов.

1.2. Краткое описание возможностей

Перечень автоматизированных функций:

- выделение объектов на космических снимках;
- анализ космических снимков.

1.3. Уровень подготовки пользователя

Пользователи системы должны иметь опыт работы с персональным компьютером на базе операционных систем Microsoft Windows на уровне квалифицированного пользователя и свободно осуществлять базовые операции в стандартных Windows-приложениях.

1.4. Перечень эксплуатационной документации

Перечень эксплуатационных документов, с которым необходимо ознакомиться:

- «АС «Система анализа космических снимков». Руководство пользователя»

2. НАЗНАЧЕНИЕ И УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ

2.1. Виды деятельности, функции

АС «Система анализа космических снимков» предназначена для автоматизации следующих видов деятельности:

- выделение объектов на космических снимках;
- анализ космических снимков.

2.2. Программные и аппаратные требования к системе

- ОС Windows XP SP 3 и выше;
- 1024 MB RAM;
- Intel Celeron CPU B820 1,70 GHz;
- MS Net Framework 3.5;
- MySQL сервер.

3. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

3.1. Состав дистрибутива

- Windows приложение;
- Файл запроса (*.sql) для импорта структуры базы данных satelliteimanalysis на вновь установленный MySQL сервер (или portable MySQL сервер с импортированной структурой базы satelliteimanalysis вместе с *.bat сценарием для запуска сервера).

3.2. Запуск системы

Установка системы не требуется. Если Вы используете Portable версию сервера MySQL с уже импортированной структурой базы satelliteimanalysis, удостоверьтесь, что папка с сервером базы данных MySQL находится в «корне» диска C или же скопируйте ее туда (Рис. 1).

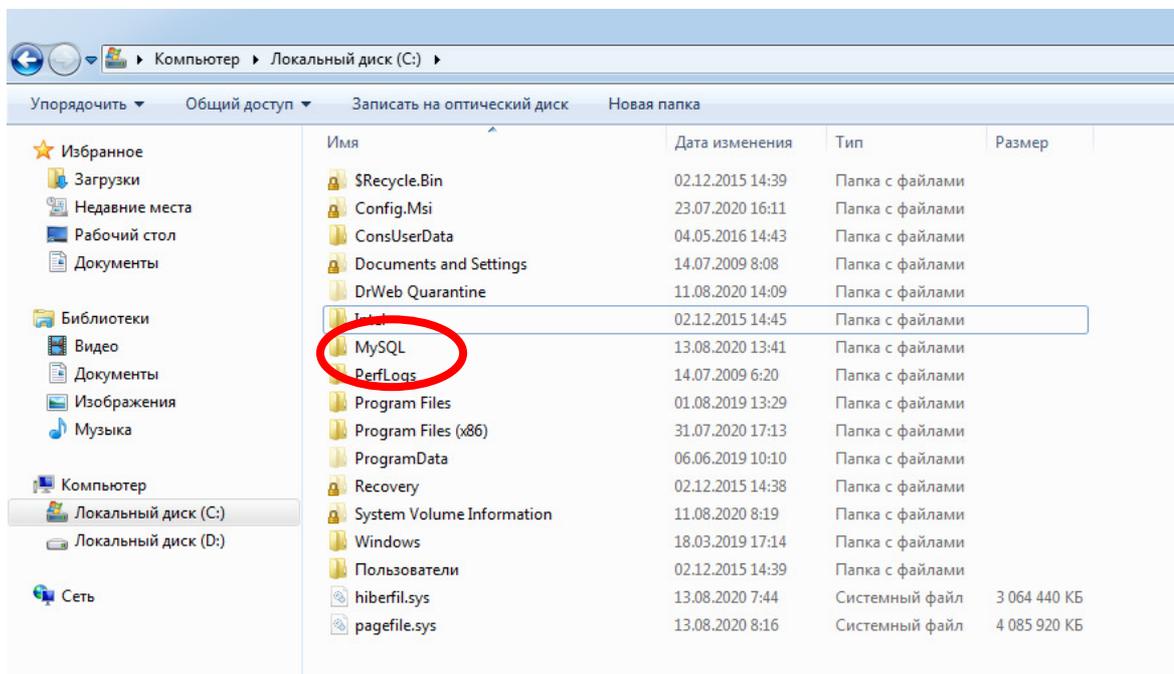


Рис. 1.

Если Вы используете Portable версию сервера MySQL с уже импортированной структурой базы satelliteimanalysis, найдите файл «Запуск сервера.bat» (Рис. 2), сбросьте его на диск C и откройте.

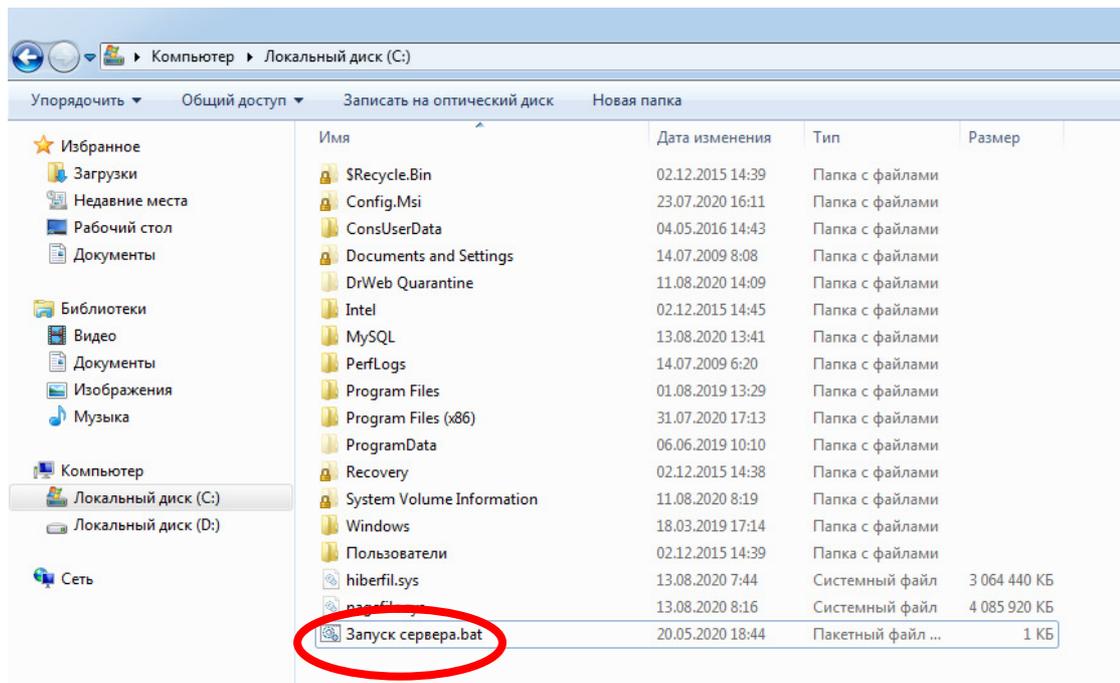


Рис. 2.

Когда увидите фразу «Ready for connections» (Рис. 3), можете свернуть появившееся оно и запускать АИС «САКС».

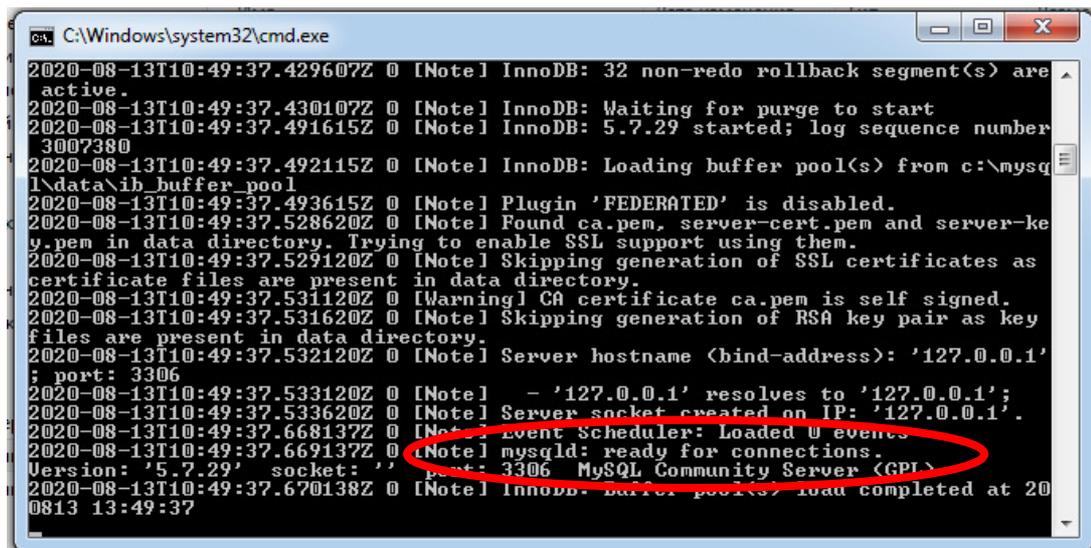


Рис. 3.

Для того, чтобы запустить АС «Система анализа космических снимков», откройте папку, в которой находится программа, и запустите файл SatelliteImgAnalysis.exe.

3.3. Проверка работоспособности системы

Программное обеспечение работоспособно, если в результате действий пользователя, изложенных в п.п.3.2, на экране монитора отобразилось главное окно приложения (Рис. 4) без выдачи пользователю сообщений о сбое в работе.

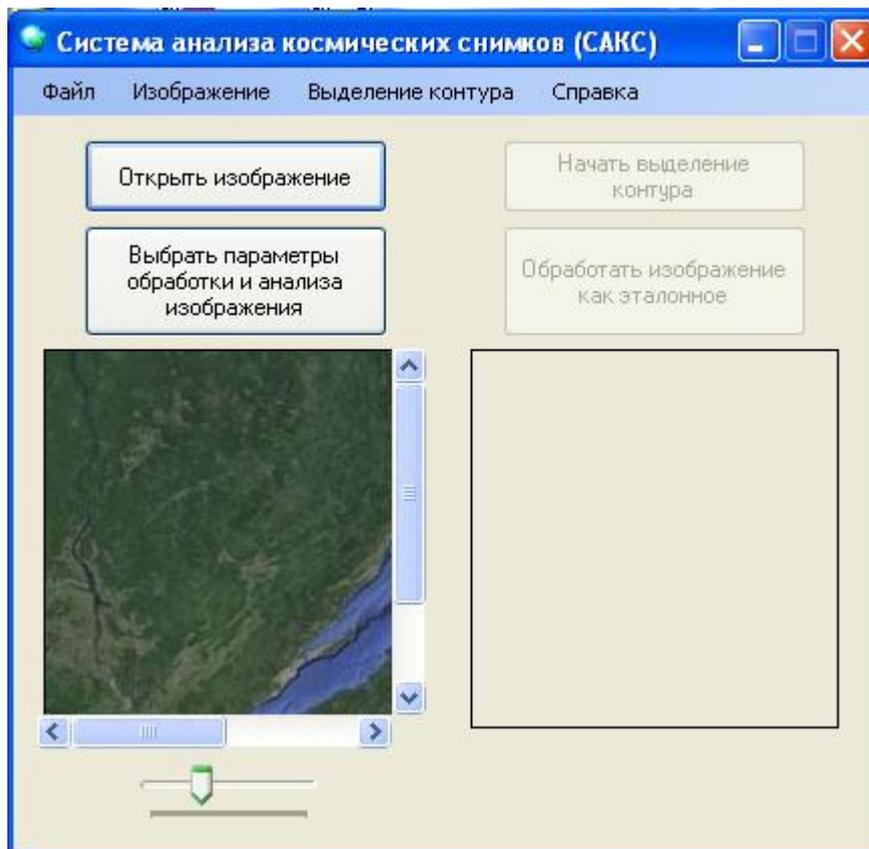


Рис. 4. Главное окно приложения

4. ОПИСАНИЕ ОПЕРАЦИЙ

4.1. Выбор и загрузка снимка в систему

4.1.1. Наименование операции

Выбор и загрузка снимка в систему.

4.1.2. Условия выполнения операции

Приложение запущено, успешно функционирует, не выполняет никаких операций, блокирующих доступ к пунктам меню.

4.1.3. Подготовительные действия

Отсутствуют.

4.1.4. Основные действия

Открыть меню «Файл», выбрать пункт «Открыть изображение» (Рис. 5). Также можно использовать кнопку в окне приложения «Открыть изображение» (Рис. 6). Появится стандартное диалоговое окно выбора файла. Имеется возможность загрузки файлов изображений в форматах *.jpg, *.bmp, *.png, *.tif.

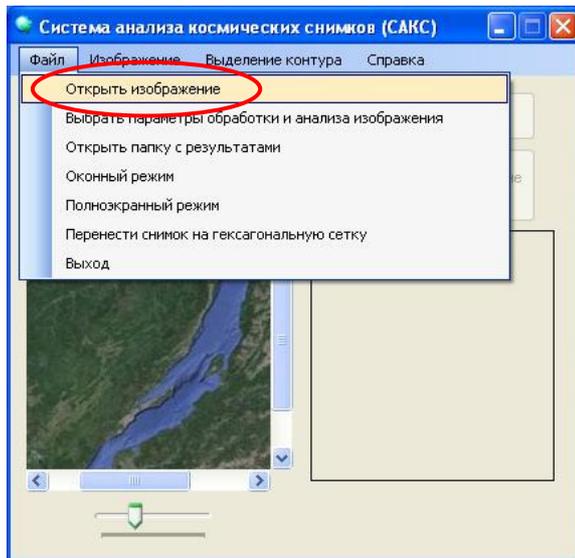


Рис. 5.

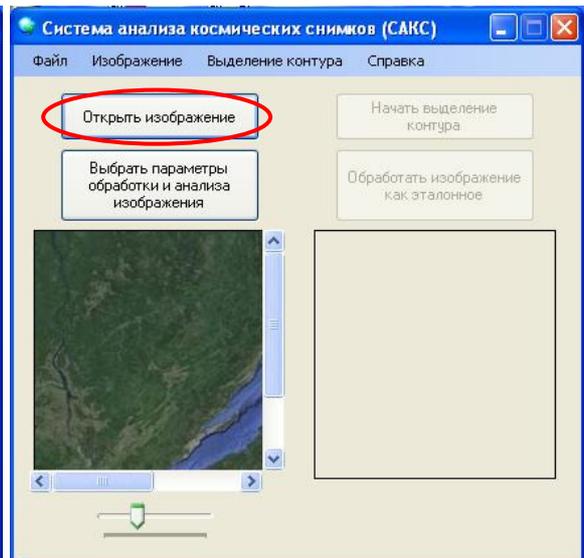


Рис. 6.

4.1.5. Заключительные действия

После завершения работы с диалоговым окном необходимо закрыть его и убедиться, что изображение успешно загружено. Загруженное изображение можно увеличивать или уменьшать при помощи ползунка под полем с изображением (Рис. 7).

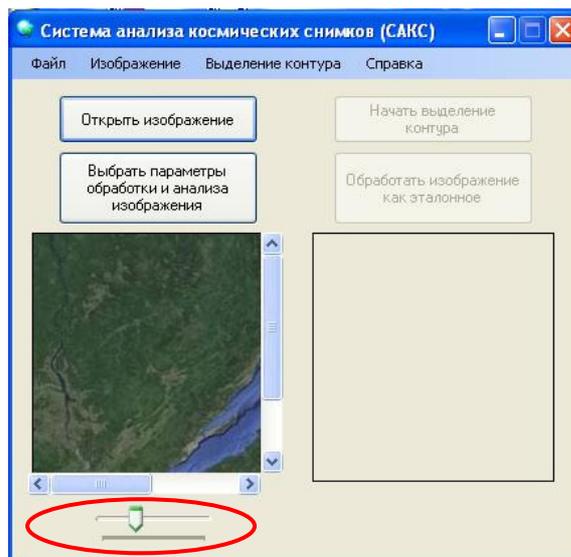


Рис. 7.

4.1.6. Ресурсы, расходуемые на операцию

Отсутствуют.

4.2. Настройка яркости, контрастности и цветового баланса загруженного снимка

4.2.1. Наименование операции

Настройка яркости, контрастности и цветового баланса загруженного снимка

4.2.2. Условия выполнения операции

Приложение запущено, успешно функционирует, не выполняет никаких операций, блокирующих доступ к пунктам меню.

4.2.3. Подготовительные действия

Необходимо произвести загрузку изображения в систему (п. 4.1).

4.2.4. Основные действия

Открыть меню «Изображение», выбрать пункт «Яркость/Контрастность/Цветовой баланс» (Рис. 8). Появится окно настройки (Рис. 9).

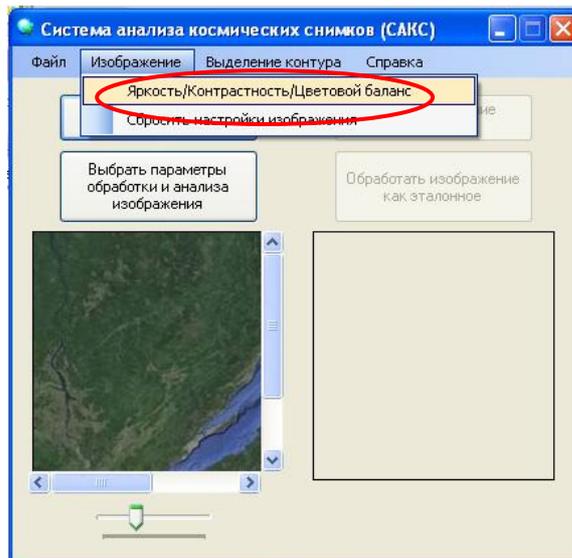


Рис. 8.

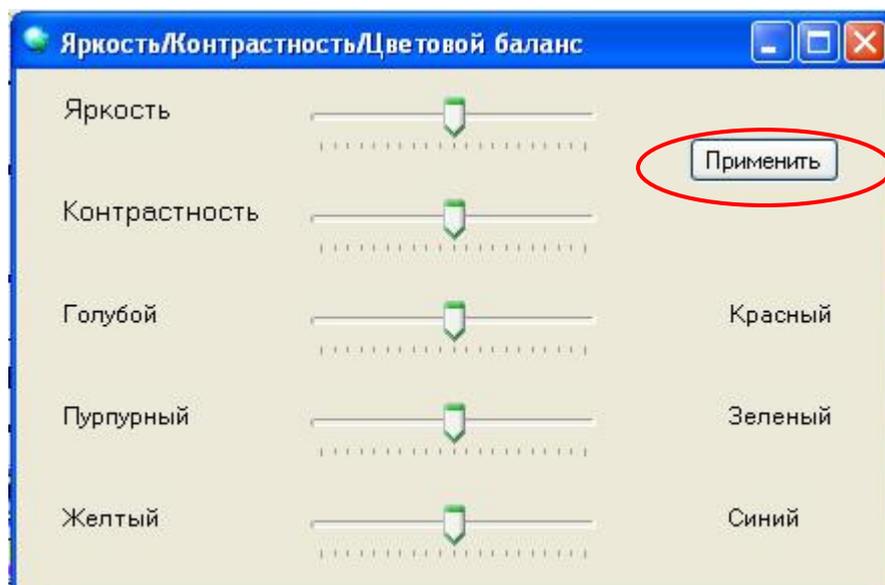


Рис. 9.

4.2.5. Заключительные действия

После завершения работы с диалоговым окном необходимо закрыть его, нажав кнопку «Применить» (Рис. 9) и убедиться, что к изображению применены изменения. Также полученное изображение можно сохранить в любое удобное место в форматах *.jpg, *.bmp, *.png, выбрав пункт контекстного меню (Рис. 10).

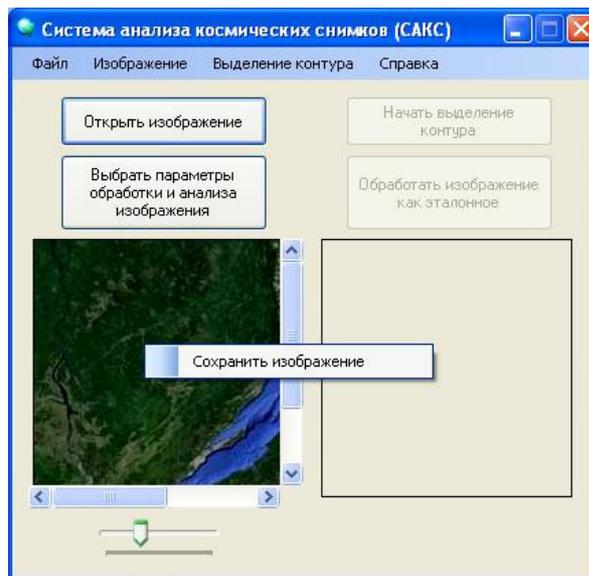


Рис. 10.

4.2.6. Ресурсы, расходуемые на операцию

Отсутствуют.

4.3. Выбор параметров анализа снимка

4.3.1. Наименование операции

Выбор параметров анализа снимка.

4.3.2. Условия выполнения операции

Приложение запущено, успешно функционирует, не выполняет никаких операций, блокирующих доступ к пунктам меню.

4.3.3. Подготовительные действия

Отсутствуют.

4.3.4. Основные действия

Открыть пункт меню «Файл», выбрать раздел «Выбрать параметры анализа изображения». Также можно использовать кнопку в окне приложения «Выбрать параметры анализа изображения» (Рис. 11 – Рис. 12).

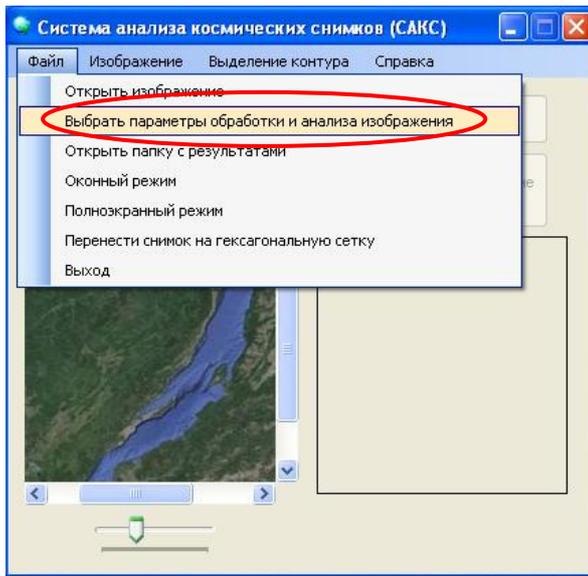


Рис. 11.

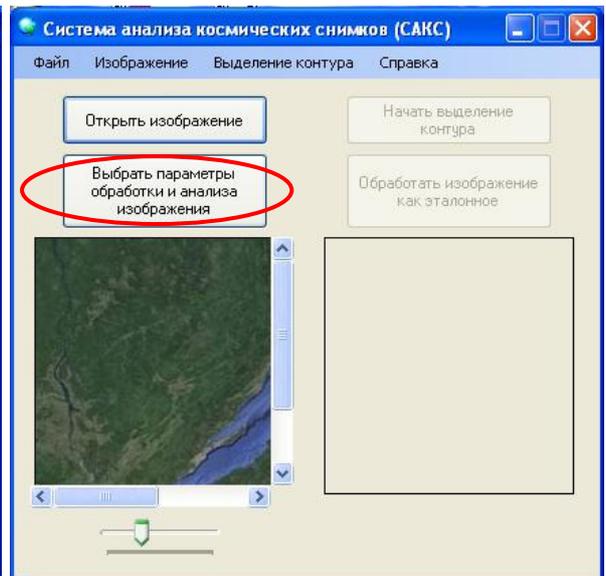


Рис. 12.

Появится всплывающее окно, содержащее перечень параметров (Рис. 13).

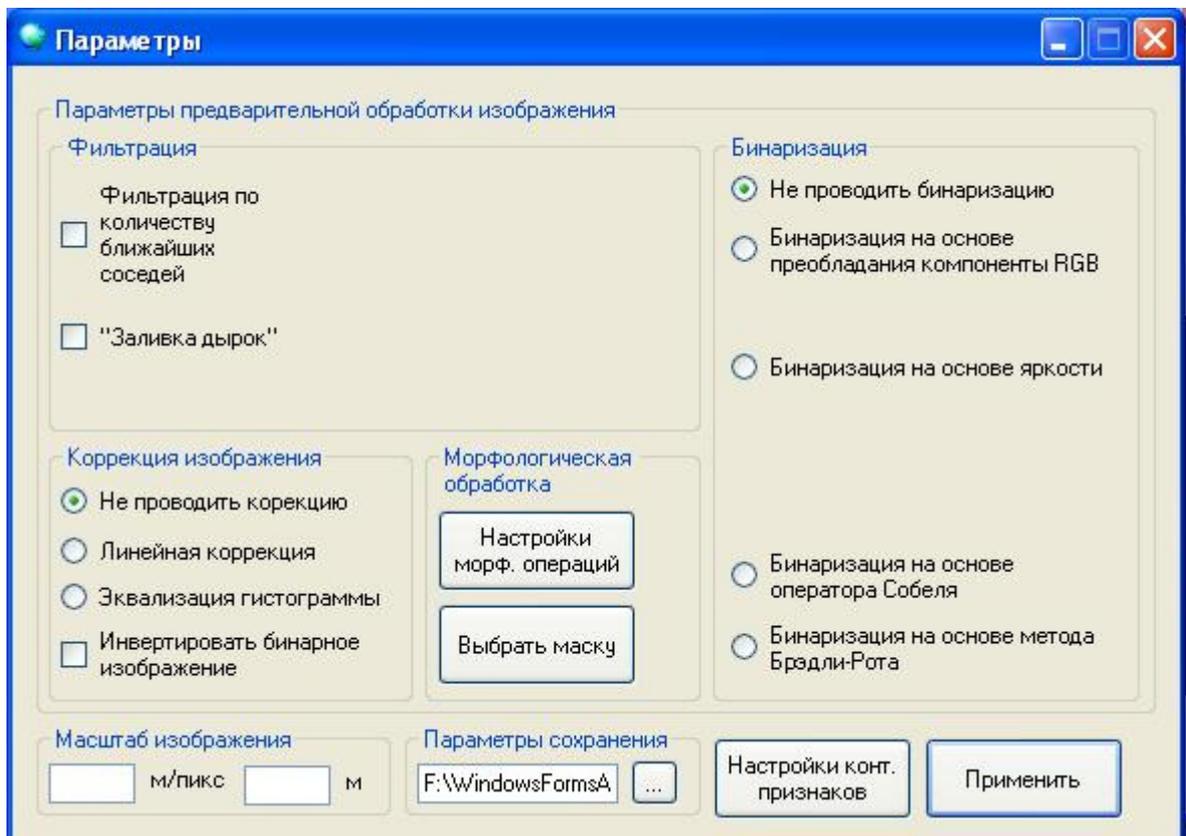


Рис. 13. Окно параметров

В окне параметров можно задать параметры преобразования исходного цветного изображения в бинарное. Существуют несколько вариантов. Первый вариант отключает преобразование изображения в бинарное (когда изображение уже таковым является). Второй вариант позволяет произвести преобразование изображения к бинарному виду на основе одной из компонент цвета (R, G или B) (Рис. 14).

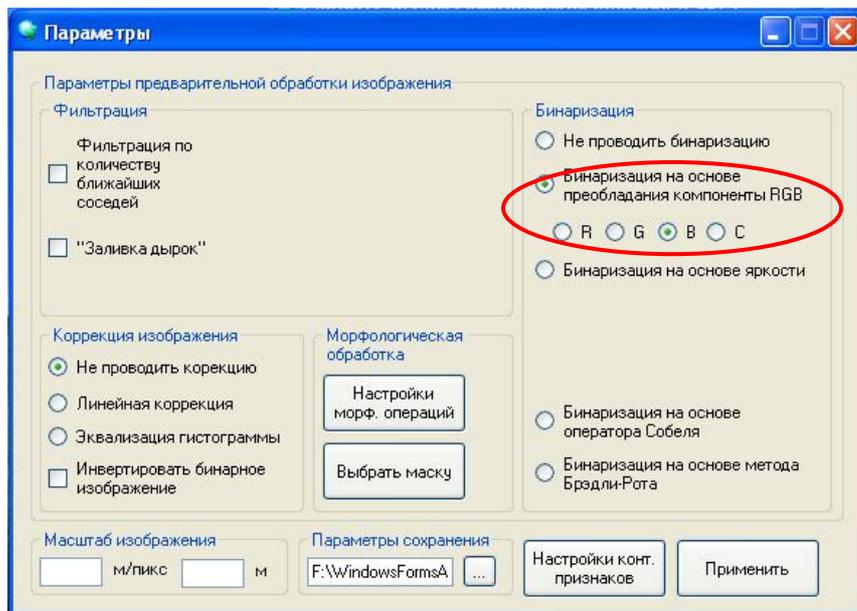


Рис. 14.

При выборе стандартного преобразования по яркости необходимо выбрать дополнительные параметры (Рис. 15).

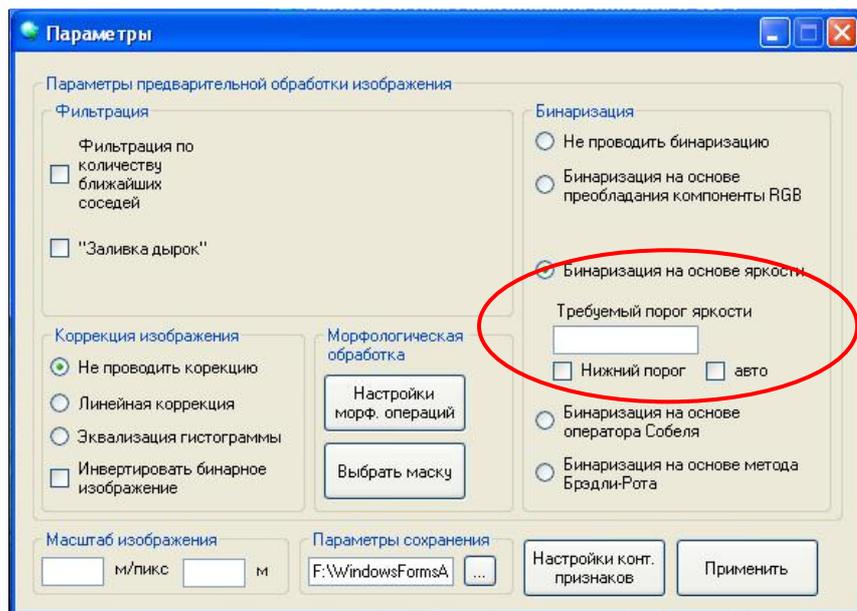


Рис. 15.

Для работы метода преобразования по яркости необходимо указать порог яркости. При этом есть возможность указать данный параметр вручную, либо автоматически (галочка «определять автоматически»). Во втором случае программа самостоятельно вычислит оптимальный порог для преобразования на основе метода Отсу. Если установлен переключатель «Бинаризация на основе яркости», но поле «Требуемый порог яркости» не заполнено, то при сохранении параметров будет выдано сообщение (Рис. 16).

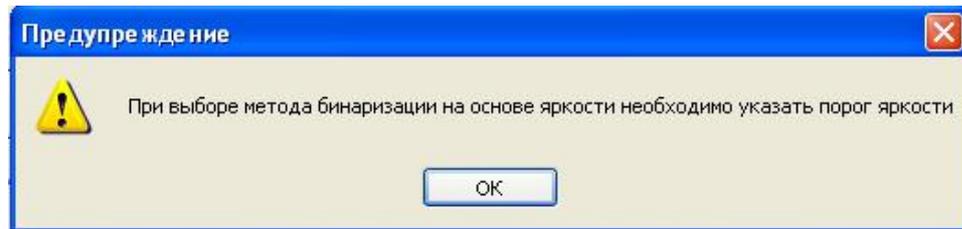


Рис. 16.

В окне параметров можно задать параметры предварительной обработки уже бинарного изображения. Требуется задать дополнительные параметры (Рис. 17 и Рис. 18).

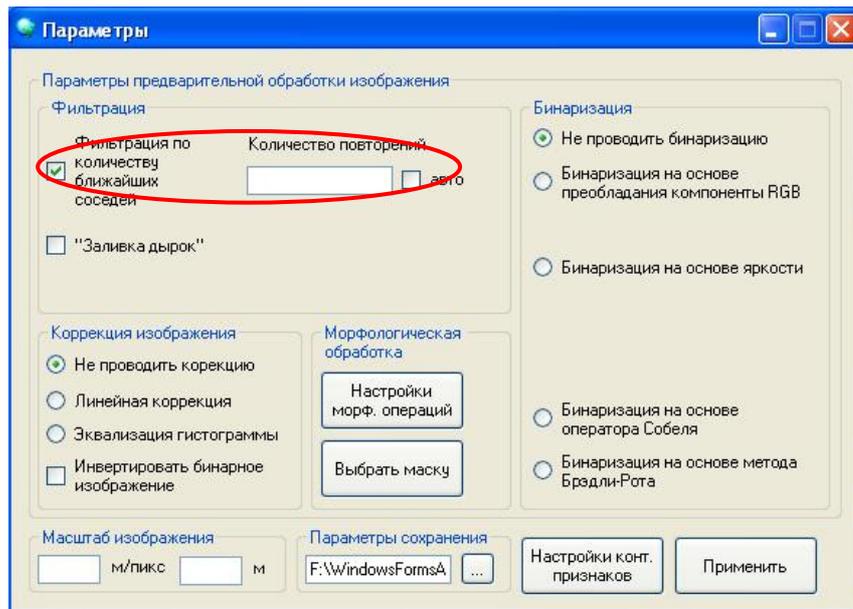


Рис. 17.

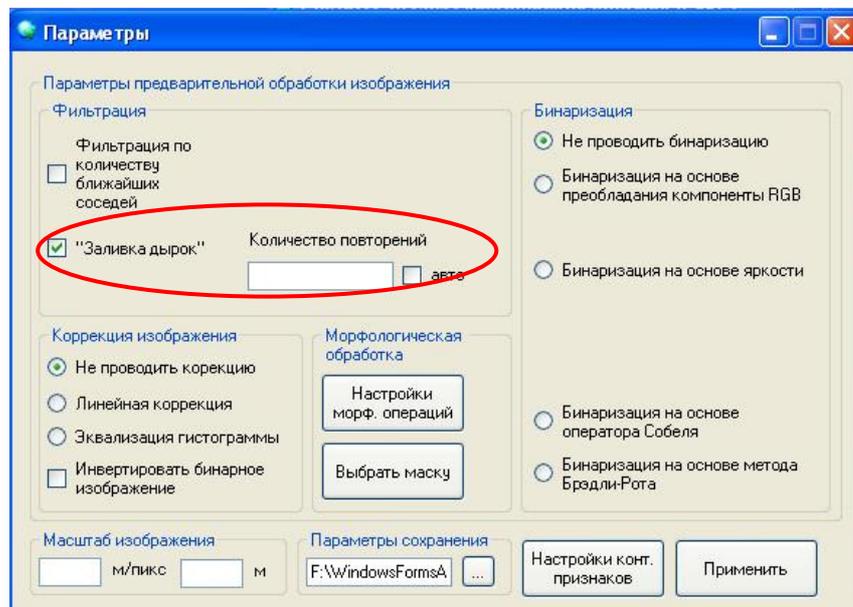


Рис. 18.

Для работы методов фильтрации требуется указать количество повторений. В противном случае программа выдаст сообщения (Рис. 19 – Рис. 20).

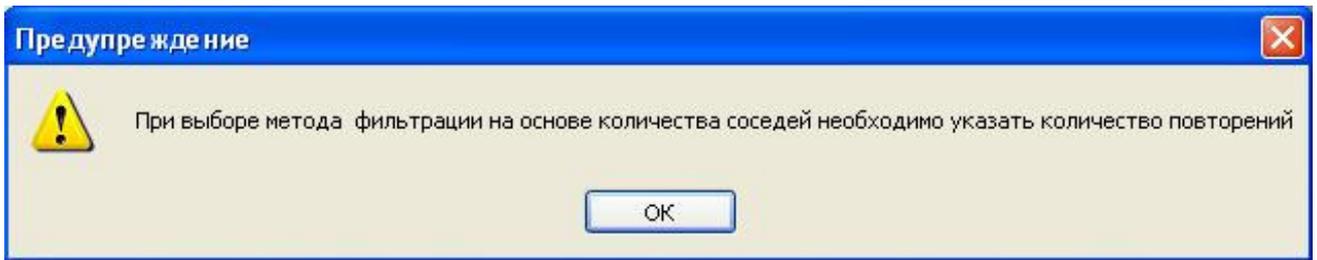


Рис. 19.

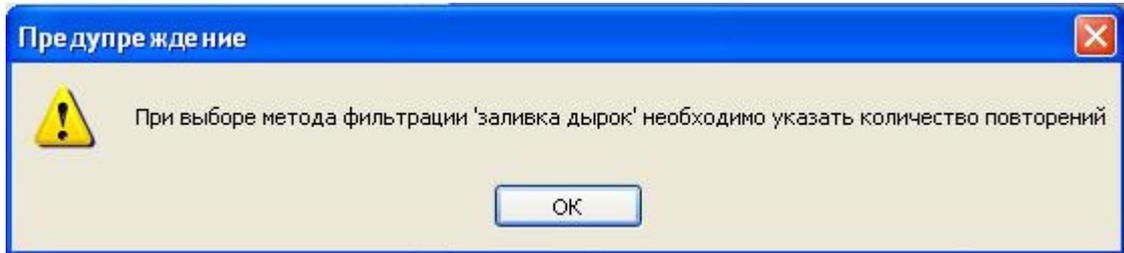


Рис. 20.

Чтобы выбрать дополнительные параметры морфологической обработки, необходимо нажать кнопку «Настройки морф. операций». После этого откроется окно (Рис. 21).

Если установлен переключатель напротив любой из сложных морфологических операций и заполнено только одно текстовое поле, появится сообщение (Рис. 22).

Если заполнены оба текстовых поля и установлен переключатель «Не использовать сложные морфологические операции», появится сообщение (Рис. 23).

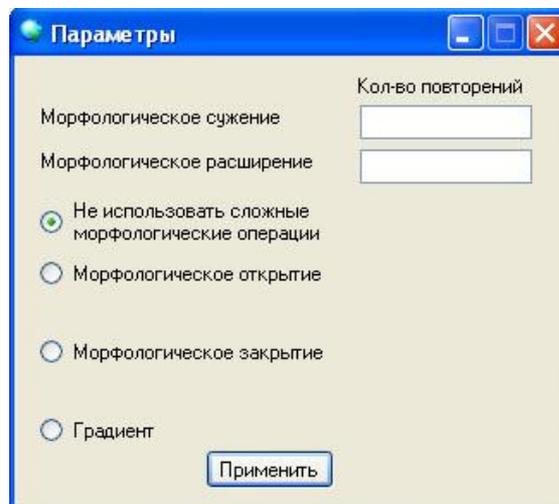


Рис. 21.

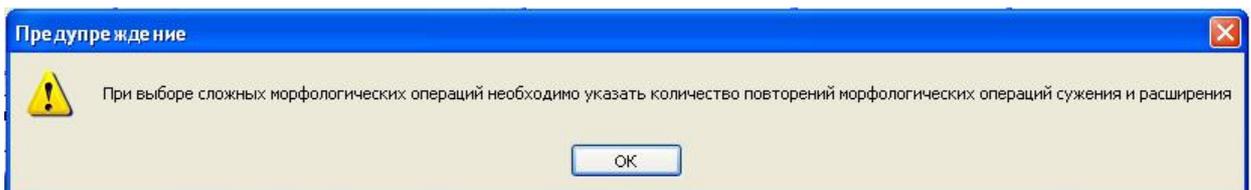


Рис. 22.

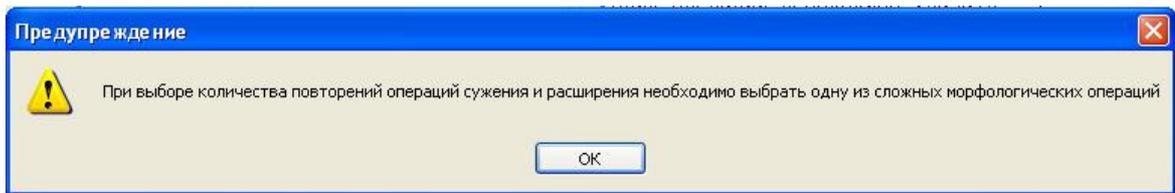


Рис. 23.

Также при выборе параметров морфологической обработки можно настроить структурные элементы для операций сужения и расширения. Для этого необходимо нажать кнопку «Выбрать маску». После этого откроется окно (Рис. 24).

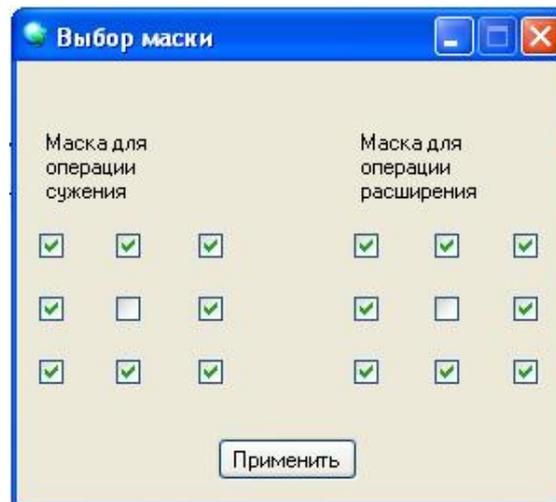


Рис. 24.

Существует возможность выбрать из нескольких методов предварительной коррекции изображения (Рис. 25). В этом же разделе параметров также можно установить галочку «Инvertировать бинарное изображение». В этом случае после процедур бинаризации и фильтрации будет произведена замена всех черных пикселей на белые и наоборот.

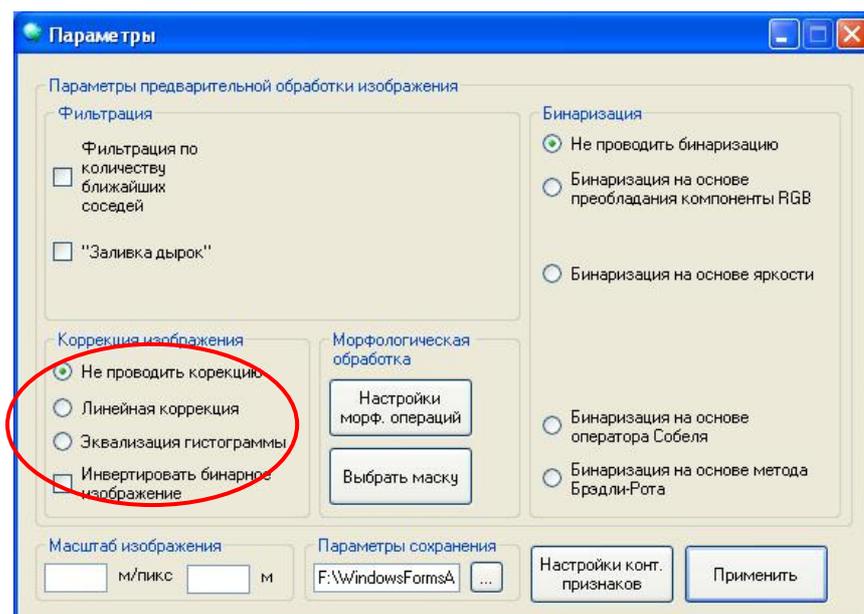


Рис. 25.

Если в разделе «Масштаб изображения» (Рис. 26) в одном из полей установить значение, например уже вычисленный масштаб в м/пикс (или просто ширину покрываемой снимком территории), то в базу будет занесено значение площади, ограниченной контуром в квадратных метрах.

Существует возможность настроить параметры сохранения выходных изображений и графиков. В соответствующем поле указан путь по умолчанию, определяемый программой в зависимости от пути к ее исполняемому файлу. При нажатии кнопки справа от текстового поля с параметрами сохранения (Рис. 26) открывается стандартное окно выбора директории. После закрытия диалога выбранный путь записывается в соответствующее поле и используется в дальнейшей работе программы.

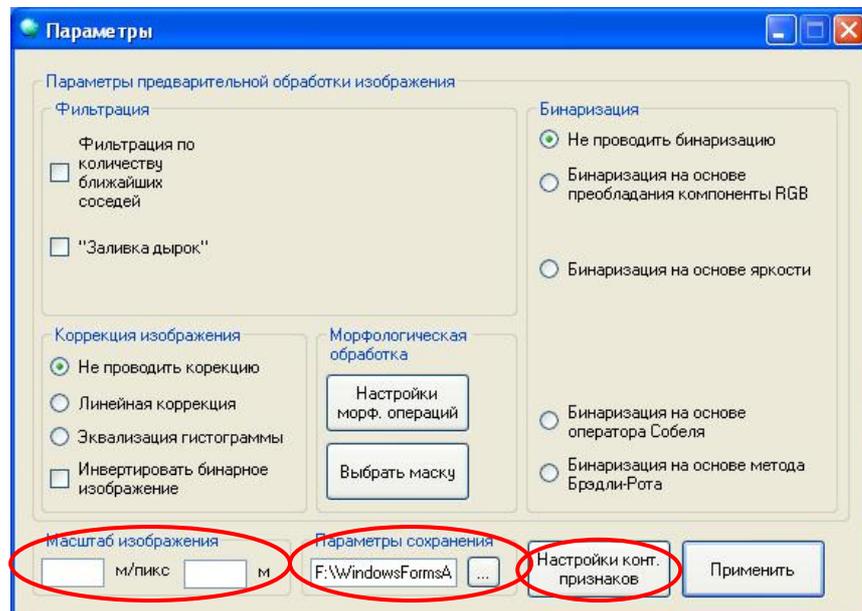


Рис. 26.

Есть возможность настроить параметры анализа изображения. Для их настройки нужно нажать кнопку «Настройки конт. признаков» (Рис. 26). Появится форма с дополнительными настройками (Рис. 27).

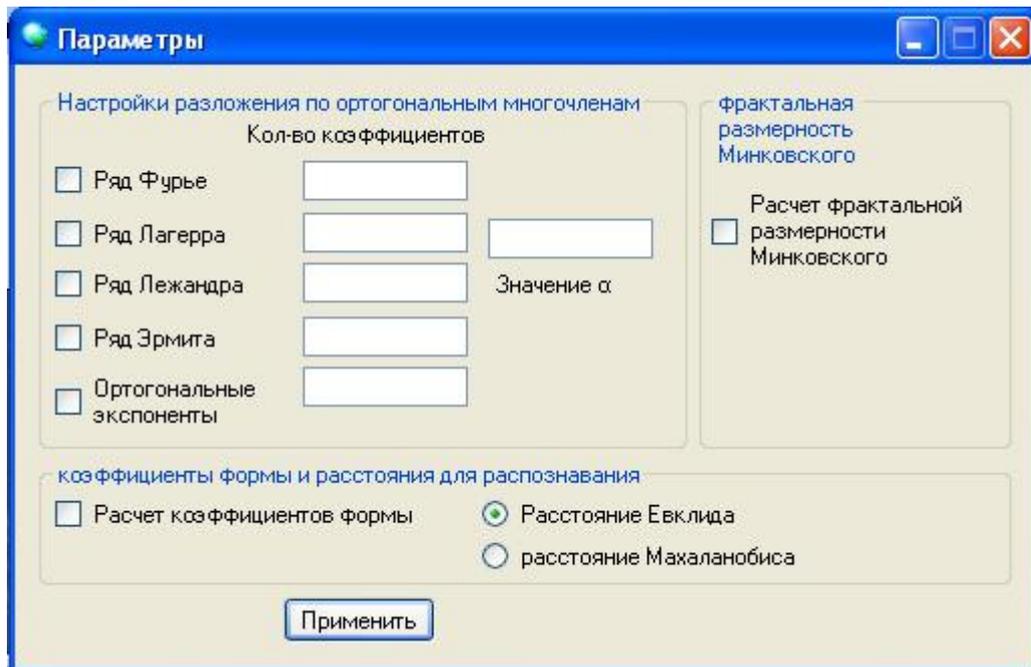


Рис. 27.

Можно отметить параметр «Расчет фрактальной размерности Минковского». Тогда программа выдаст результативные изображения и сохранит в файл расчетное значение размерности.

Также можно задать используемые типы разложений функции, описывающей контур, которые будут использоваться при анализе контура объекта(ов) на загруженном снимке, а также количество коэффициентов, используемых в расчетах). Необходимо обязательно указать количество коэффициентов в текстовом поле, если отмечен «галочкой» хотя бы один тип разложения.

Для типа разложения «Ряд Лагерра» можно также задать дополнительный параметр α . Если указанное поле пустое, то данный параметр приравнивается 1.

Если отмечен «галочкой» хотя бы тип разложения и напротив него в текстовом поле пользователем не указано количество коэффициентов для расчетов, появится предупреждающее окно (Рис. 28).

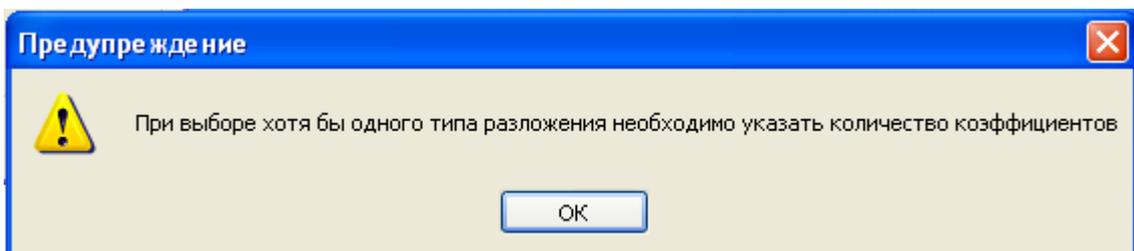


Рис. 28.

4.3.5. Заключительные действия

После завершения работы с окном выбора параметров нажать на кнопку «Применить». Убедиться, что кнопка «Выбрать параметры анализа изображения» и соответствующий

пункт меню «Файл» изменили свое название на «Изменить параметры анализа изображения». Также убедиться, что кнопки «Начать выделение контура», «Обработать изображение как эталонное» и соответствующие разделы меню «Выделение контура» стали доступны (Рис. 29 – Рис. 31).

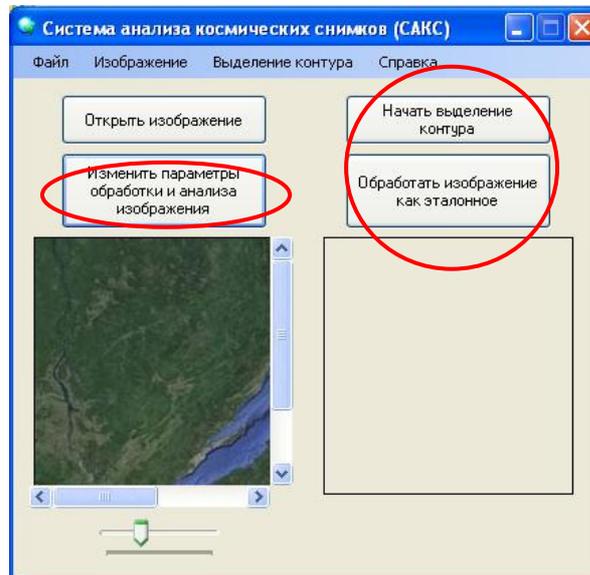


Рис. 29.

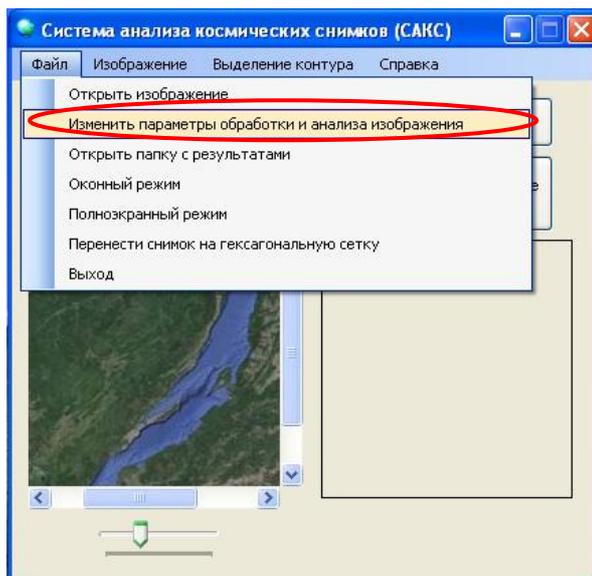


Рис. 30.

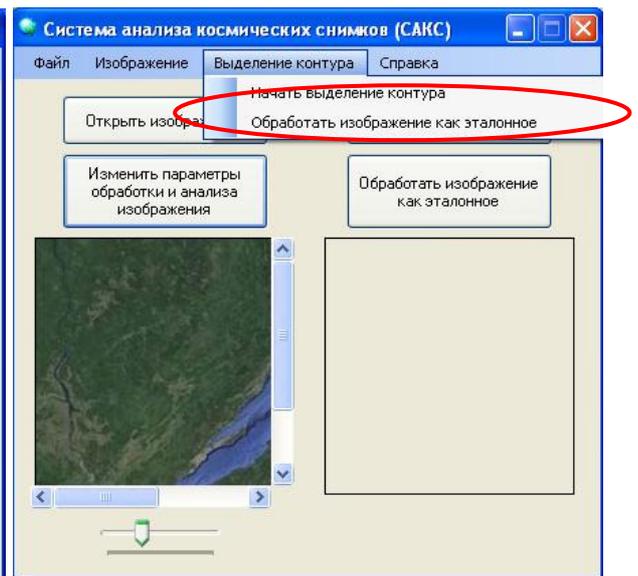


Рис. 31.

4.3.6. Ресурсы, расходуемые на операцию

Отсутствуют.

4.4. Выделение контура

4.4.1. Наименование операции

Выделение контура.

4.4.2. Условия выполнения операции

Приложение запущено, успешно функционирует, не выполняет никаких операций, блокирующих доступ к пунктам меню.

4.4.3. Подготовительные действия

Чтобы успешно начать выполнение операции выделения контура, необходимо загрузить изображение для анализа (операция 4.1) и выбрать параметры обработки и анализа изображения (операция 4.2).

4.4.4. Основные действия

После того, как параметры выбраны и сохранены, можно запустить процесс анализа изображения и выделения контура, вызвав пункт меню «Выделение контура» «Начать выделение контура» или нажав соответствующую кнопку на форме. При этом файлы будут сохраняться в директорию [путь к исполняемому файлу программы (по умолчанию) или путь, заданный пользователем]\SatelliteImgAnalysis\temp. При повторном вызове операции «Начать выделение контура» папка очищается.

Первой осуществляется операция преобразования изображения в бинарное. Вне зависимости от выбранного способа преобразования, после завершения операции появится сообщение (Рис. 32).

Далее автоматически начинается процесс фильтрации или морфологической обработки изображения, если в настройках указаны данные параметры. После завершения каждой операции программа выдает сообщения (Рис. 33 – Рис. 39).

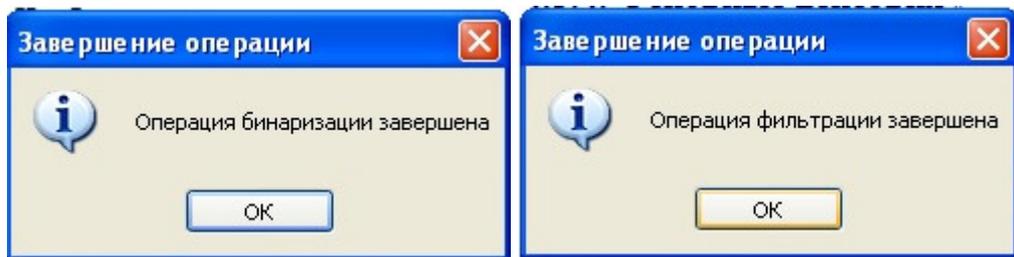


Рис. 32.

Рис. 33.

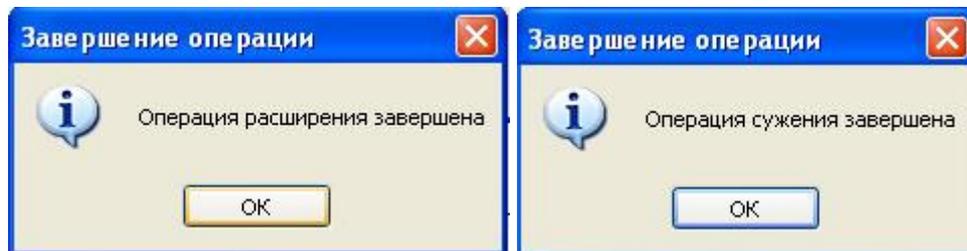


Рис. 34.

Рис. 35.

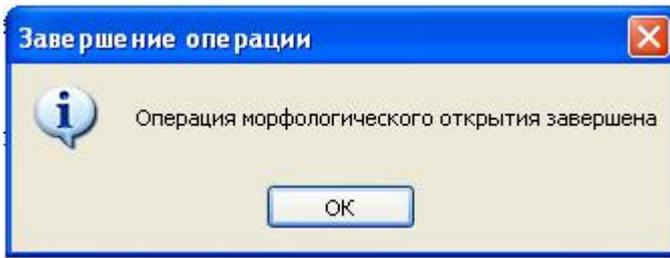


Рис. 36.

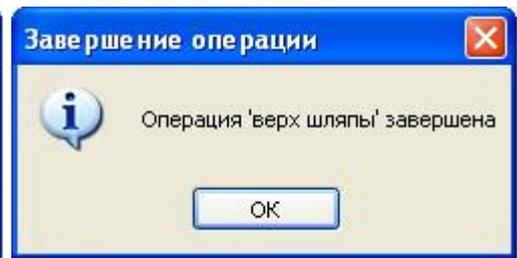


Рис. 37.

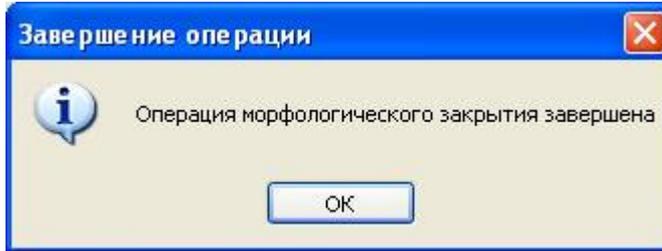


Рис. 38.

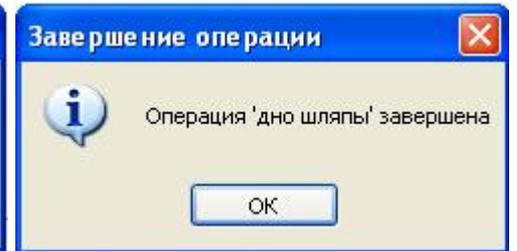


Рис. 39.

После того, как изображение готово к анализу, автоматически начнется операция выделения контура. В процессе выделения контуров появляется окно (Рис. 40). Нажав на кнопку отмена, можно прервать операцию (появится диалог с вопросом, показанный на Рис. 41). Если ответ утвердительный, появится сообщение (Рис. 42).

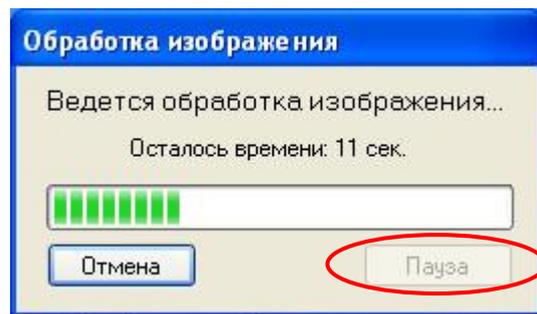


Рис. 40.

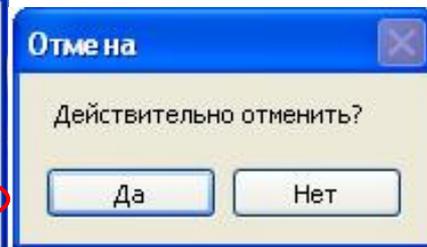


Рис. 41.

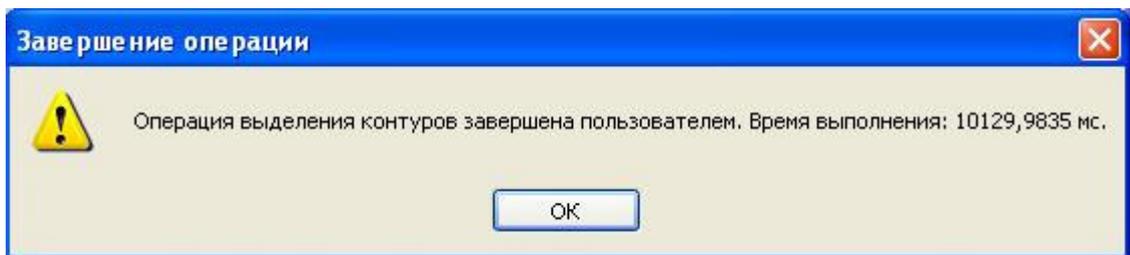


Рис. 42.

Процесс предварительной обработки изображения поставить на паузу нельзя (Рис. 40). Это можно сделать, когда начнется основная стадия отслеживания границ. Тогда кнопка «Пауза» станет активной (Рис. 43). После нажатия на нее появится окно (Рис. 44), и будут зафиксированы текущая обрабатываемая точка изображения и найденные на данный момент границы (Рис. 45).

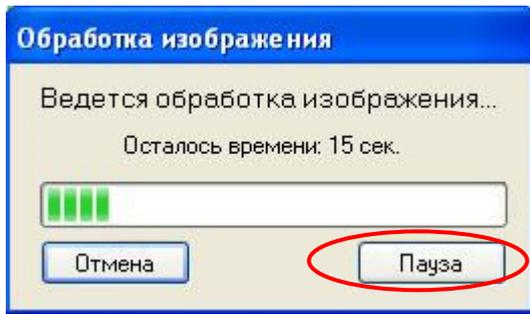


Рис. 43.

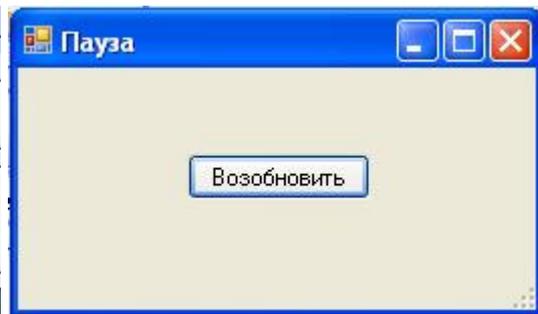


Рис. 44.

После нажатия на кнопку «Возобновить» первые стадии обработки изображения пройдут заново, а основная стадия начнется с той же точки, на которой была прервана. При этом информация о точке, с которой следует начинать процесс отслеживания границ, и информация о найденных границах будет считана из временных текстовых файлов «currpoint.txt», «PauseX.txt», «PauseX4.txt», «PauseY.txt», «PauseY4.txt» (Рис. 45).

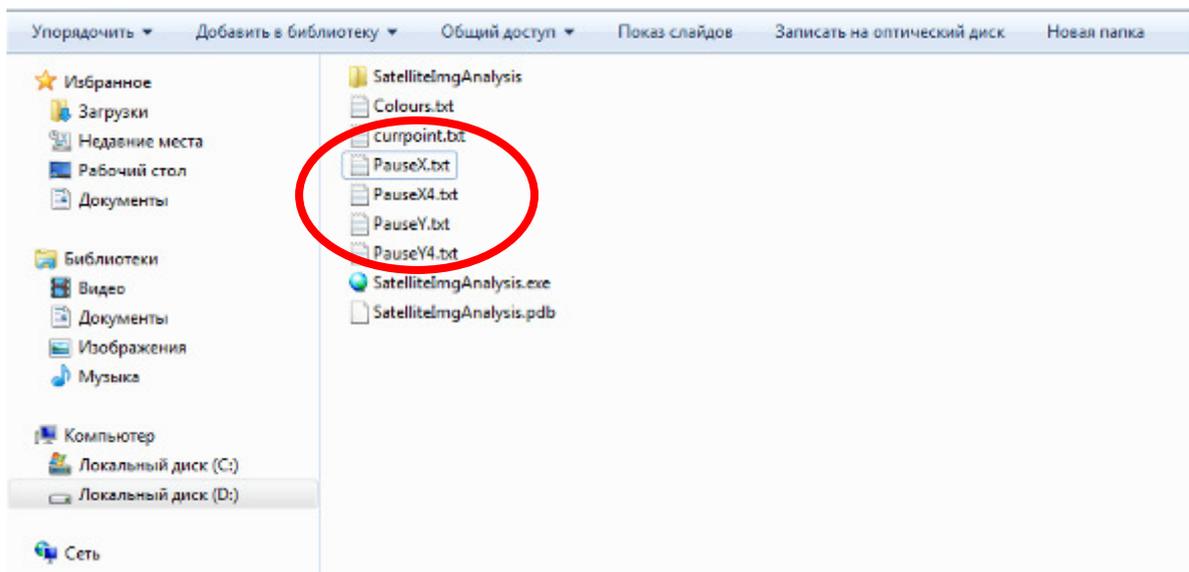


Рис. 45.

В случае успешного завершения операции выделения контуров появится окно (Рис. 46) с информацией о найденных границах. После закрытия этого окна появится сообщение о завершении процесса обработки и анализа изображения (Рис. 47).

Номер	Точки X	Точки Y	Центр тяжести контура	Центр тяжести территории	Коэффициенты формы
1	72 71 71 70 69 6...	226 226 227 227...	146 137	151 132	

Рис. 46.

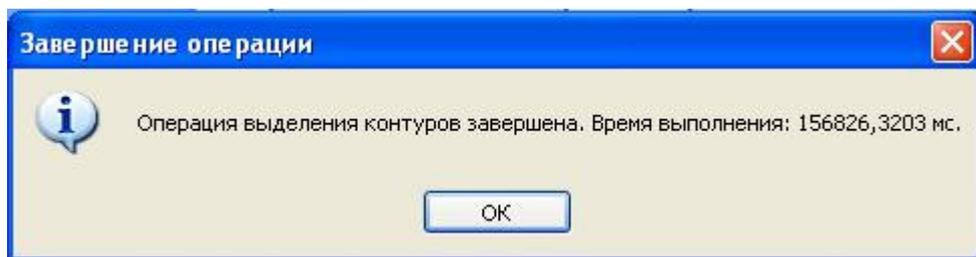


Рис. 47.

В процессе отслеживания границ могут возникать ошибки. В данном случае, появляется сообщение (Рис. 48). А также появляется сообщение с расшифровкой, что за ошибка возникла. Пример частой ошибки – запуск процесса отслеживания границ без запуска MySQL сервера, как показано в пункте 3.2 (Рис. 49).

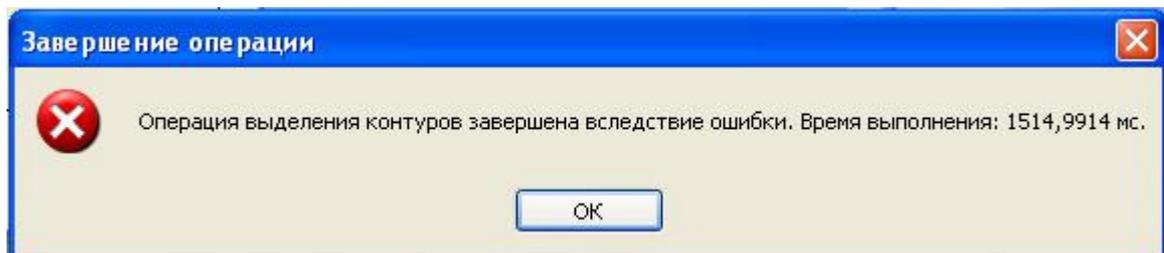


Рис. 48.

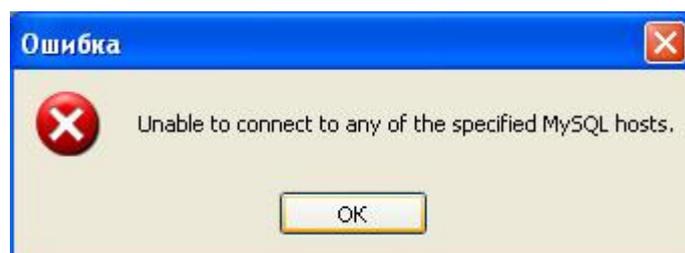


Рис. 49.

4.4.5. Заключительные действия

После сообщения о завершении операции выделения контура можно открыть папку с результатами предварительной обработки изображения, выделения контуров и анализа результатов (Рис. 50).

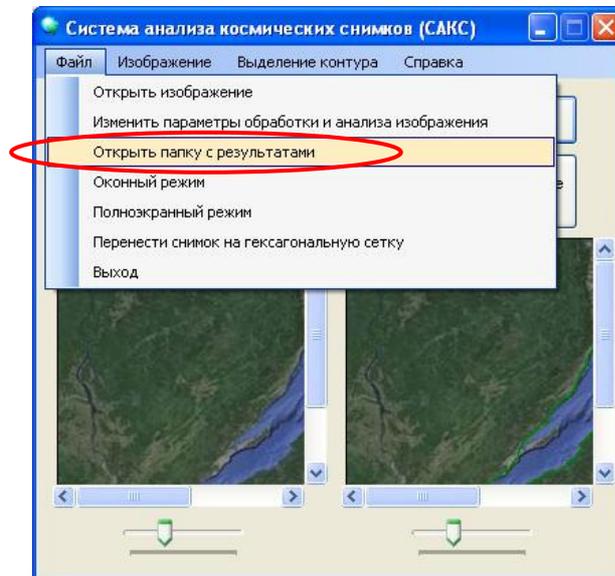


Рис. 50.

Все изображения и графики сохраняются в формате *.bmp. При повторном нажатии кнопки или вызова пункта меню «Начать выделение контура» папка с результатами очищается. Файлы, относящиеся к изображению, получают префикс «image_».

В папке с результатами сохраняются следующие файлы:

- image_counturs.bmp (изображение с границами всех выделенных объектов);
- image_greychrom_p.bmp (изображение отражающее яркость обрабатываемого изображения в красном, зеленом и синем каналах в виде изображения в оттенках серого; p указывает на канал (r, g или b));
- image_lineCorrect.bmp (изображение после применения операции «Линейная коррекция»);
- image_equalize.bmp (изображение после применения операции «Эквализация гистограммы»);
- image_lineCorrect.bmp (изображение после применения операции «Линейная коррекция»);
- image_histogram_p_orig.bmp (изображение отражающее яркость обрабатываемого изображения в красном, зеленом и синем каналах в виде гистограмм яркости; p указывает на канал (r, g или b));
- image_histogram_r_equlize.bmp (изображение отражающее яркость обрабатываемого изображения после применения операции «Эквализация гистограммы» в крас-

ном, зеленом и синем каналах в виде гистограмм яркости; p указывает на канал (r , g или b));

- `image_histogram_p_lineCorrect.bmp` (изображение отражающее яркость обрабатываемого изображения после применения операции «Линейная коррекция» в красном, зеленом и синем каналах в виде гистограмм яркости; p указывает на канал (r , g или b));
- `image_NOmonochrom.bmp` (исходное необработанное изображение);
- `image_NOmonochromSuper.bmp` (исходное изображение после применения суперразрешения);
- `image_monochromSuper.bmp` (файл с преобразованным в бинарное исходным изображением после применения суперразрешения);
- `image_monochromRGB.bmp` (файл с преобразованным в бинарное исходным изображением, если в настройках указан способ преобразования на основе преобладания R , G или B компоненты RGB);
- `image_monochrom.bmp` (файл с преобразованным в бинарное исходным изображением, если в настройках указан способ преобразования на основе яркости);
- `image_sobel.bmp` (файл с преобразованным в бинарное исходным изображением, если в настройках выбран оператор Собеля);
- `image_monochromBradley.bmp` (файл с преобразованным в бинарное исходным изображением, если в настройках выбран метод Брэдли-Рота);
- `image_filter_n.bmp` (файл с преобразованным в бинарное исходным изображением после завершения операции фильтрации, где n – номер прохода по изображению);
- `image_erosion_n.bmp` (файл с преобразованным в бинарное исходным изображением после завершения операции сужения, где n – номер прохода по изображению);
- `image_dilatation_n.bmp` (файл с преобразованным в бинарное исходным изображением после завершения операции расширения, где n – номер прохода по изображению);
- `image_open.bmp` (файл с преобразованным в бинарное исходным изображением после завершения операции морфологического открытия);
- `image_close.bmp` (файл с преобразованным в бинарное исходным изображением после завершения операции морфологического закрытия);
- `image_tophat.bmp` (файл с преобразованным в бинарное исходным изображением после завершения операции «верх шляпы»);

- `image_blackhat.bmp` (файл с преобразованным в бинарное исходным изображением после завершения операции «дно шляпы»);
- `ctrmath_n_m.bmp` (файл с изображением выделенного контура (связность 8), где n – координата x первой найденной точки контура, а m – координата y первой найденной точки контура);
- `ctrmath4_n_m.bmp` (файл с изображением выделенного контура (связность 4), где n – координата x первой найденной точки контура, а m – координата y первой найденной точки контура);
- `ctrmath_n_m_param_p.bmp` (файл с графиком параметрически заданной функции (связность 8), где n – координата x первой найденной точки контура, а m – координата y первой найденной точки контура; p указывает на координату, на основе которой строилась функция (x или y));
- `ctrmath4_n_m_param_p.bmp` (файл с графиком параметрически заданной функции контура (связность 4), где n – координата x первой найденной точки контура, а m – координата y первой найденной точки контура; p указывает на координату, на основе которой строилась функция (x или y));
- `ctrmath4_n_m_fourier_p_q.bmp` (файл с графиком разложения контура (связность 4) в тригонометрический ряд Фурье, где n – координата x первой найденной точки контура, а m – координата y первой найденной точки контура; p указывает на координату, на основе которой строилась функция (x или y); q – количество заданных коэффициентов);
- `ctrmath4_n_m_lagerr_p_q_r.bmp` (файл с графиком разложения контура (связность 4) в обобщенный ряд Фурье-Лагерра, где n – координата x первой найденной точки контура, а m – координата y первой найденной точки контура; p указывает на координату, на основе которой строилась функция (x или y); q – количество заданных коэффициентов, r – заданный в настройках коэффициент α);
- `ctrmath4_n_m_legendre_p_q.bmp` (файл с графиком разложения контура (связность 4) в обобщенный ряд Фурье-Лежандра, где n – координата x первой найденной точки контура, а m – координата y первой найденной точки контура; p указывает на координату, на основе которой строилась функция (x или y); q – количество заданных коэффициентов);
- `ctrmath4_n_m_hermite_p_q.bmp` (файл с графиком разложения контура (связность 4) в обобщенный ряд Фурье-Эрмита, где n – координата x первой найденной точки контура, а m – координата y первой найденной точки контура; p указывает на коор-

динату, на основе которой строилась функция (x или y); q – количество заданных коэффициентов);

- `ctrmath4_n_m_exp_r_q.bmp` (файл с графиком разложения контура (связность 4) в ряд при помощи ортогональных экспоненциальных функций, где n – координата x первой найденной точки контура, а m – координата y первой найденной точки контура; r указывает на координату, на основе которой строилась функция (x или y); q – количество заданных коэффициентов);
- `ctrmath_n_m_fractal.csv` (файл с набором данных, на основе которых рассчитывается размерность Минковского контура (связность 8), где n – координата x первой найденной точки контура, а m – координата y первой найденной точки контура);
- `ctrmath4_n_m_fractal.csv` (файл с набором данных, на основе которых рассчитывается размерность Минковского контура (связность 4), где n – координата x первой найденной точки контура, а m – координата y первой найденной точки контура);
- `image_triangles.bmp` (визуализация результатов триангуляции Делоне);
- `image_Triangulation c#.pnt` (файл с точками для триангуляции Делоне);
- `image_Triangulation c#.dtt` (файл с результатами триангуляции Делоне).

Кроме того, в дополнительное поле на форме приложения загружается исходный снимок с наложенными на него выделенными ярким зеленым цветом контурами. Полученное изображение можно увеличивать или уменьшать. Также можно сохранить в любое удобное место в форматах *.jpg, *.bmp, *.png, выбрав пункт контекстного меню (Рис. 51).

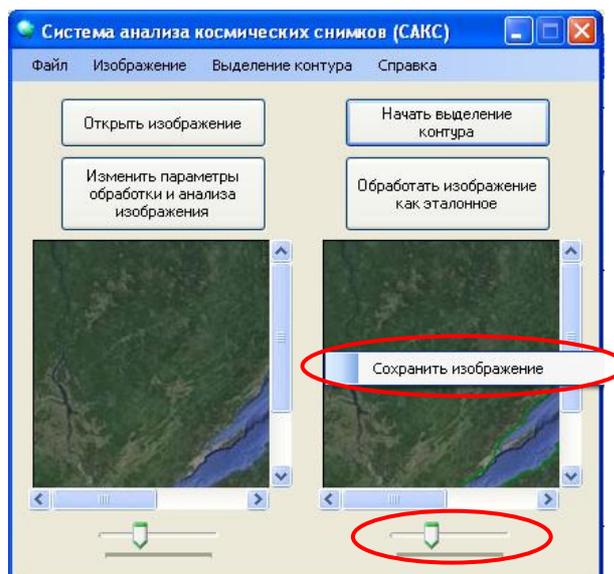


Рис. 51.

4.4.6. Ресурсы, расходуемые на операцию

Оперативная память компьютера и ресурсы центрального процессора используются тем активнее, чем большее количество точек имеет изображение.

4.5. Обработка изображения как эталонного

4.5.1. Наименование операции

Обработка изображения как эталонного

4.5.2. Условия выполнения операции

Приложение запущено, успешно функционирует, не выполняет никаких операций, блокирующих доступ к пунктам меню.

4.5.3. Подготовительные действия

Аналогичны п. 4.4.3.

4.5.4. Основные действия

Аналогичны п. 4.4.4., за исключением того, что файлы будут сохраняться в директорию [путь к исполняемому файлу программы (по умолчанию) или путь, заданный пользователем]\SatelliteImgAnalysis\etalon. При повторном вызове операции «Обработать изображение как эталон» папка не очищается. Файлы, относящиеся к эталонному контуру, получают префикс «etalonN_», где N – порядковый номер эталонного контура. Файлы, относящиеся к изображению, получают префикс «imageN_», где N – порядковый номер изображения, загруженного и обработанного системой.

4.5.5. Заключительные действия

Заключительные действия аналогичны п. 4.4.5., за исключением того, что папка с результатами не очищается при повторном вызове операции 4.5.

4.5.6. Ресурсы, расходуемые на операцию

Аналогичны п. 4.4.6.

4.6. Вычисление контурных признаков и распознавание объектов при помощи нейронной сети Кохонена

4.6.1. Наименование операции

Вычисление контурных признаков и распознавание объектов при помощи нейронной сети Кохонена

4.6.2. Условия выполнения операции

Приложение запущено, успешно функционирует, не выполняет никаких операций, блокирующих доступ к пунктам меню.

4.6.3. Подготовительные действия

Аналогичны п. 4.4.3. При этом предварительно необходимо обязательно убедиться, что для каждой из уже сохраненных эталонных границ рассчитаны коэффициенты формы и что в настройках программы отмечен параметр «Расчет коэффициентов формы» и выбран

необходимый тип расстояния (по умолчанию выбрано расстояние Евклида) для использования в работе нейронной сети Кохонена (Рис. 52).

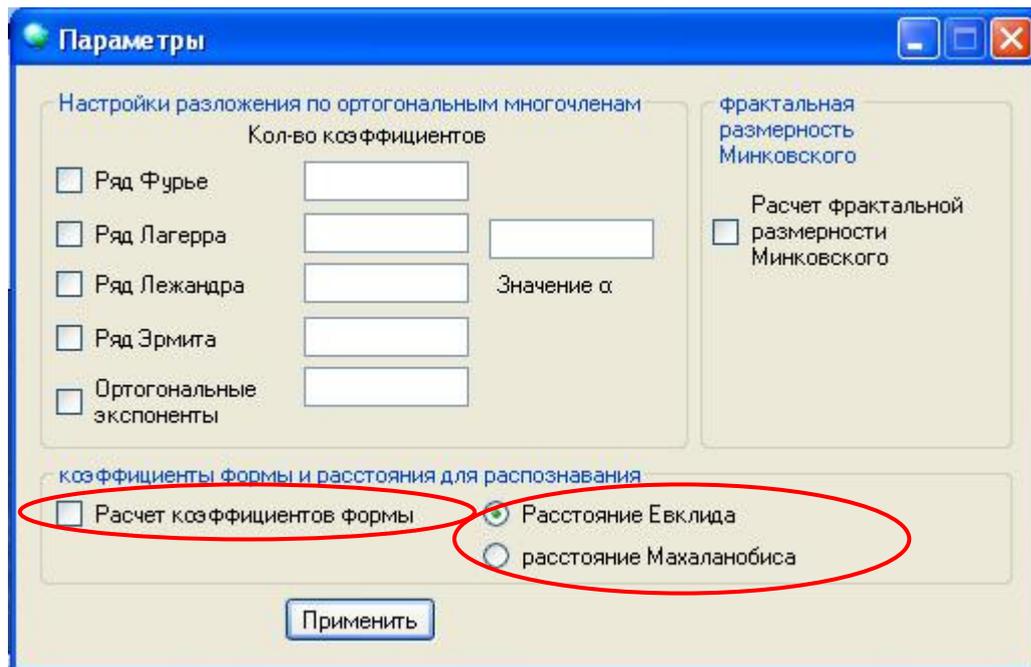


Рис. 52.

Если указанные требования выполнены, то можно перейти к операции 4.4. Если же нет, то нужно последовательно загрузить необходимые эталонные изображения и проделать с ними операцию 4.5, а затем вернуться к операции 4.4.

4.6.4. Основные действия

Аналогичны п. 4.4.4. При этом программой будет произведена инициализация нейронной сети Кохонена и ее обучение на основе признаков границ, информация о которых хранится в папке с эталонами. Затем программой производится предъявление границ текущего изображения. Нейронная сеть после этого даст ответ, содержащий номер границы-эталона (Рис. 53):

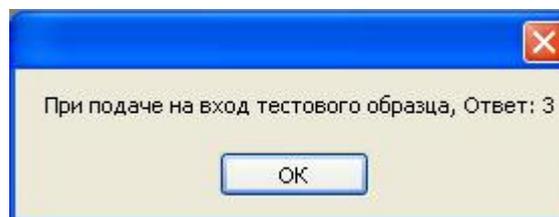


Рис. 53.

4.6.5. Заключительные действия

Аналогичны п. 4.4.5.

4.6.6. Ресурсы, расходуемые на операцию

Аналогичны п. 4.4.6.

4.7. Работа в полноэкранном режиме

4.7.1. Наименование операции

Работа в полноэкранном режиме

4.7.2. Условия выполнения операции

Приложение запущено, успешно функционирует, не выполняет никаких операций, блокирующих доступ к пунктам меню.

4.7.3. Подготовительные действия

Завершить все процессы обработки изображений.

4.7.4. Основные действия

Перейти в полноэкранный режим можно, выбрав соответствующий пункт меню «Файл» (Рис. 54).

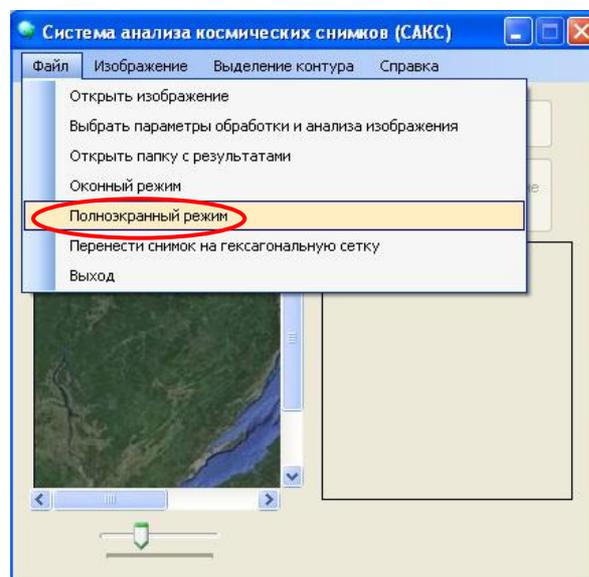


Рис. 54.

Главное окно приложения «подстроится» под разрешение экрана и примет вид (Рис. 55).

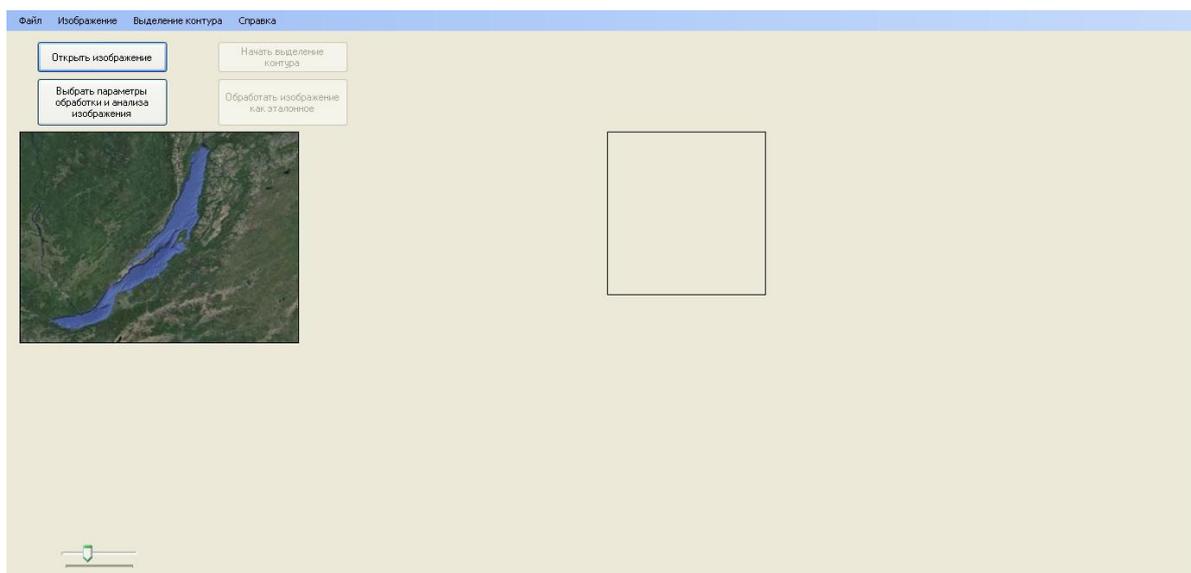


Рис. 55.

4.7.5. Заключительные действия

Чтобы выйти из полноэкранного режима нужно выбрать соответствующий пункт меню «Файл» (Рис. 56).

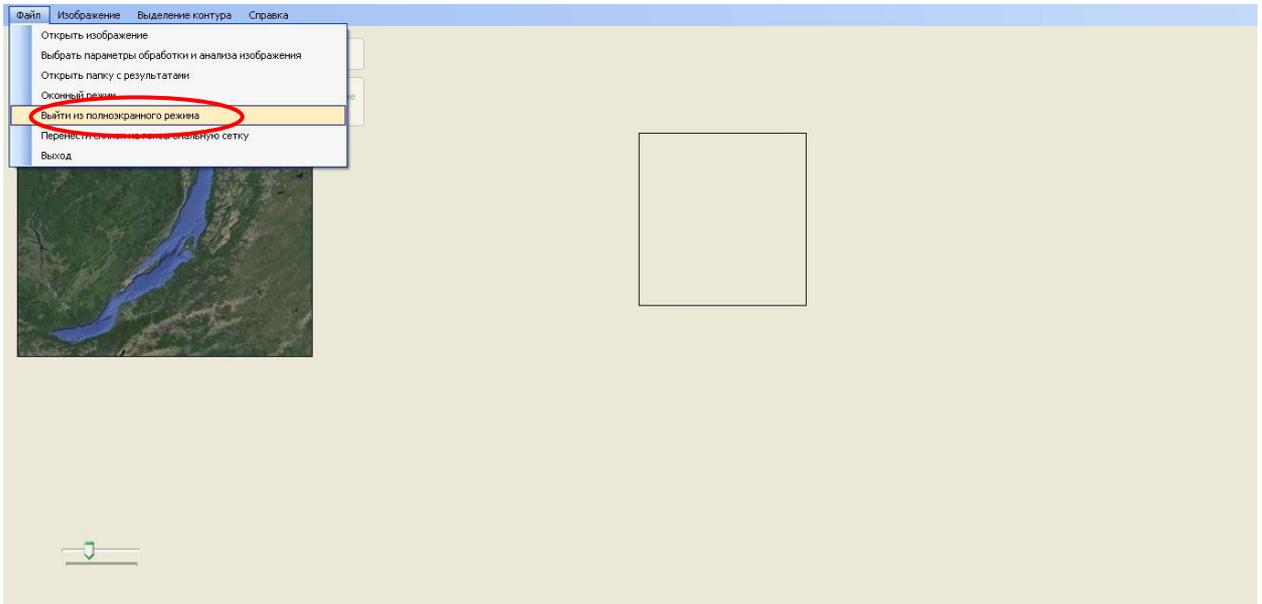


Рис. 56.

4.7.6. Ресурсы, расходуемые на операцию

Отсутствуют

4.8. Работа в оконном режиме

4.8.1. Наименование операции

Работа в оконном режиме

4.8.2. Условия выполнения операции

Приложение запущено, успешно функционирует, не выполняет никаких операций, блокирующих доступ к пунктам меню.

4.8.3. Подготовительные действия

Завершить все процессы обработки изображений.

4.8.4. Основные действия

Перейти в нный режим можно, выбрав соответствующий пункт меню «Файл» (Рис. 57).

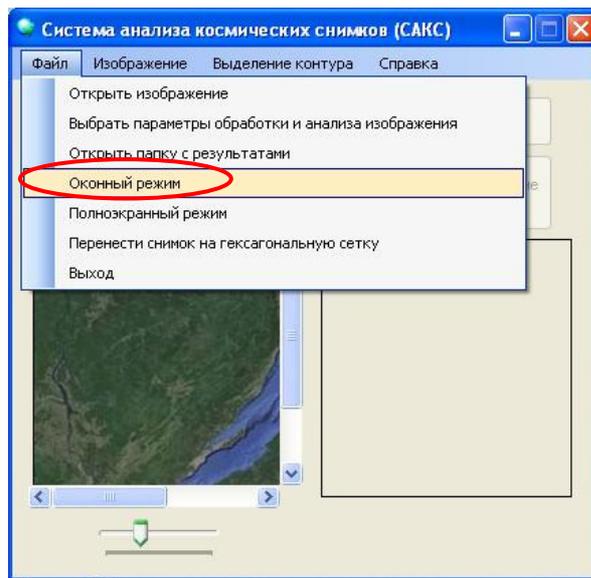


Рис. 57.

Главное окно приложения можно «растянуть» до необходимых размеров (Рис. 58)

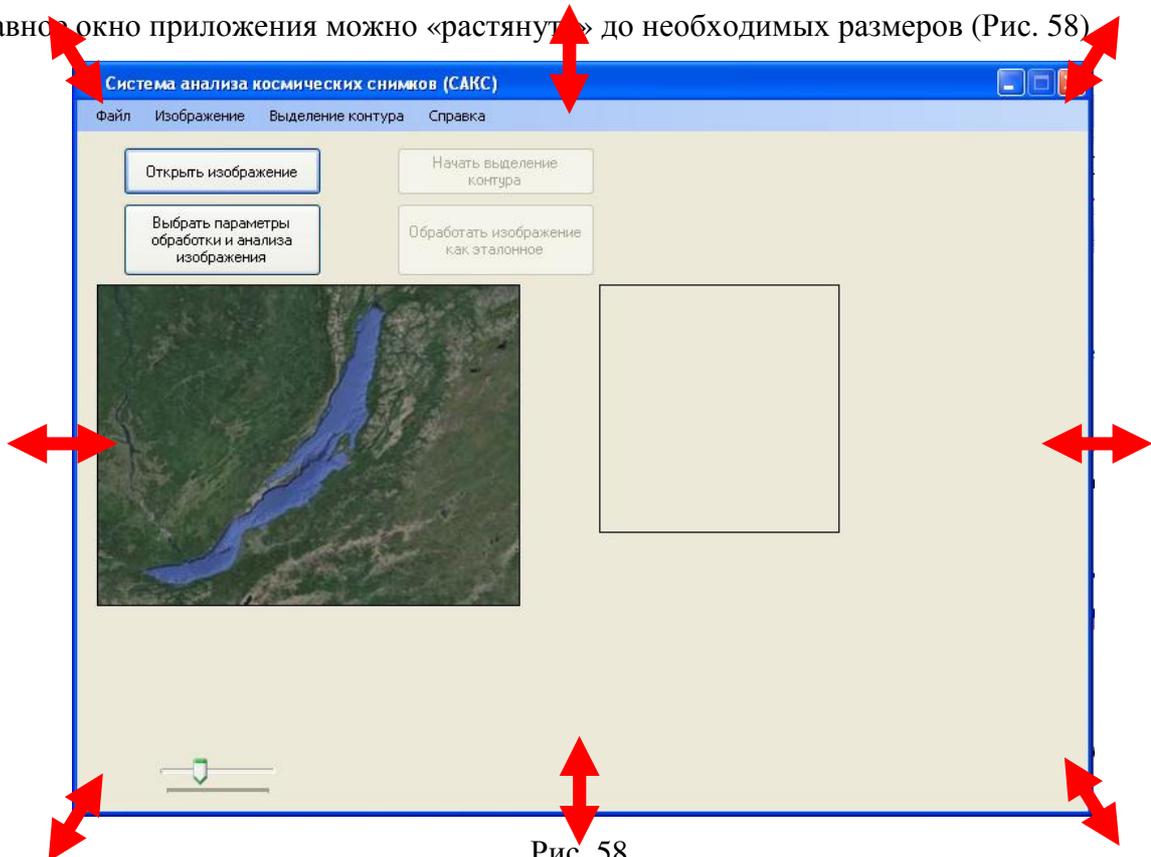


Рис. 58.

4.8.5. Заключительные действия

Чтобы выйти из оконного режима нужно выбрать соответствующий пункт меню «Файл» (Рис. 59).

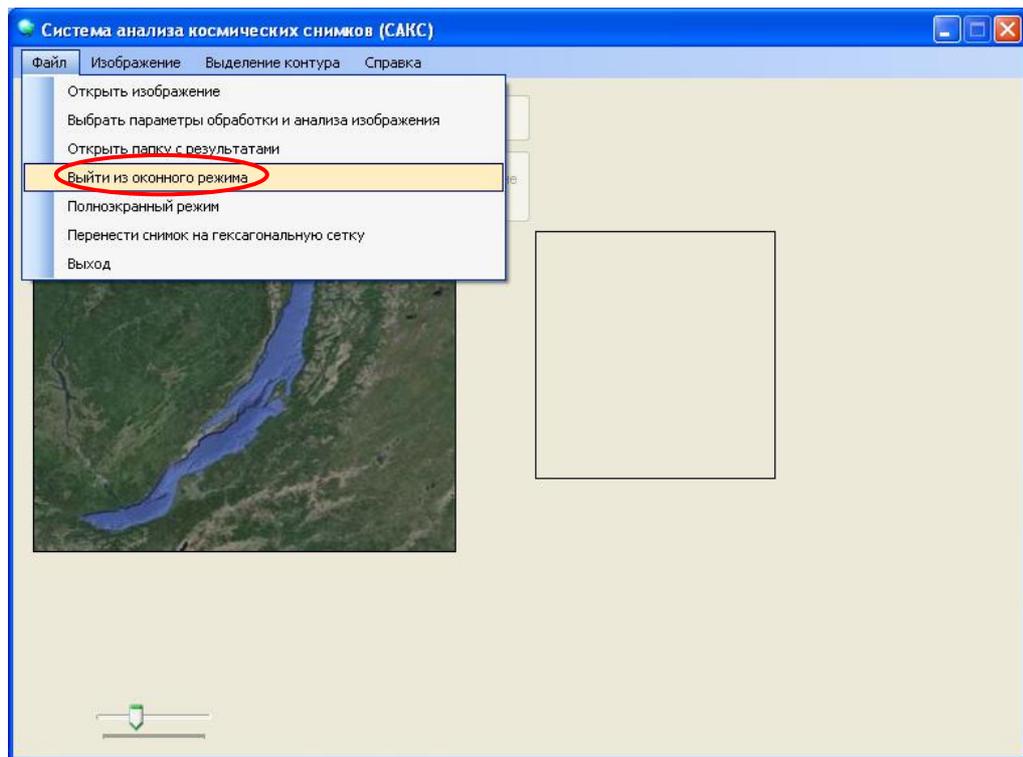


Рис. 59.

4.8.6. Ресурсы, расходуемые на операцию

Отсутствуют

4.9. Использование гексагональной (шестиугольной) решетки

4.9.1. Наименование операции

Использование гексагональной (шестиугольной) решетки

4.9.2. Условия выполнения операции

Приложение запущено, успешно функционирует, не выполняет никаких операций, блокирующих доступ к пунктам меню.

4.9.3. Подготовительные действия

Аналогичны п. 4.4.3.

4.9.4. Основные действия

Запустить данную операцию можно, выбрав соответствующий пункт меню «Файл» (Рис. 60).

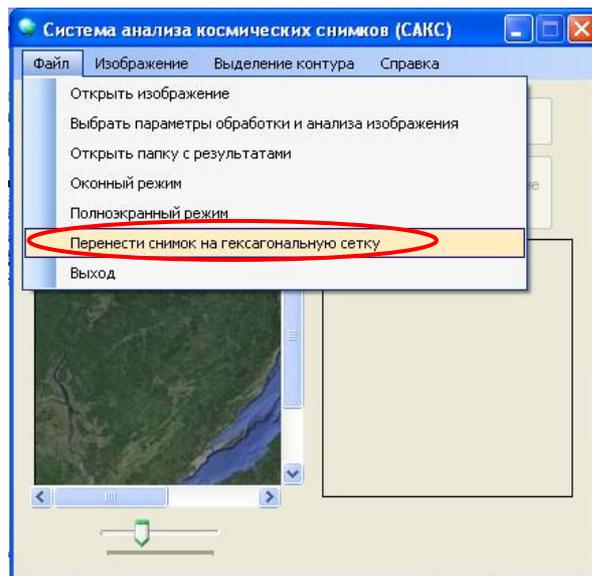


Рис. 60.

После вызова данного пункта меню будет осуществлена предварительная обработка изображения в соответствии с выбранными пользователем параметрами (см. п. 4.3). После этого появится основное окно, в котором на бинаризованный исходный снимок наложена шестиугольная сетка (Рис. 61).

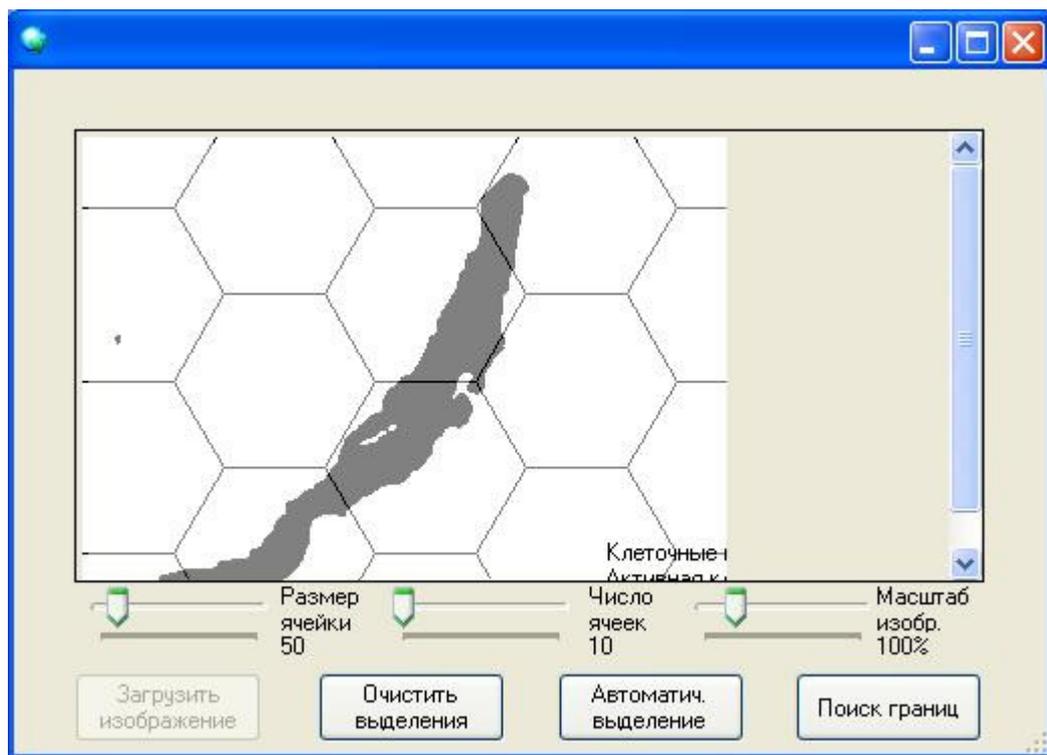


Рис. 61.

Ползунками можно регулировать число ячеек сетки (Рис. 62) и размер ячеек сетки (Рис. 63).

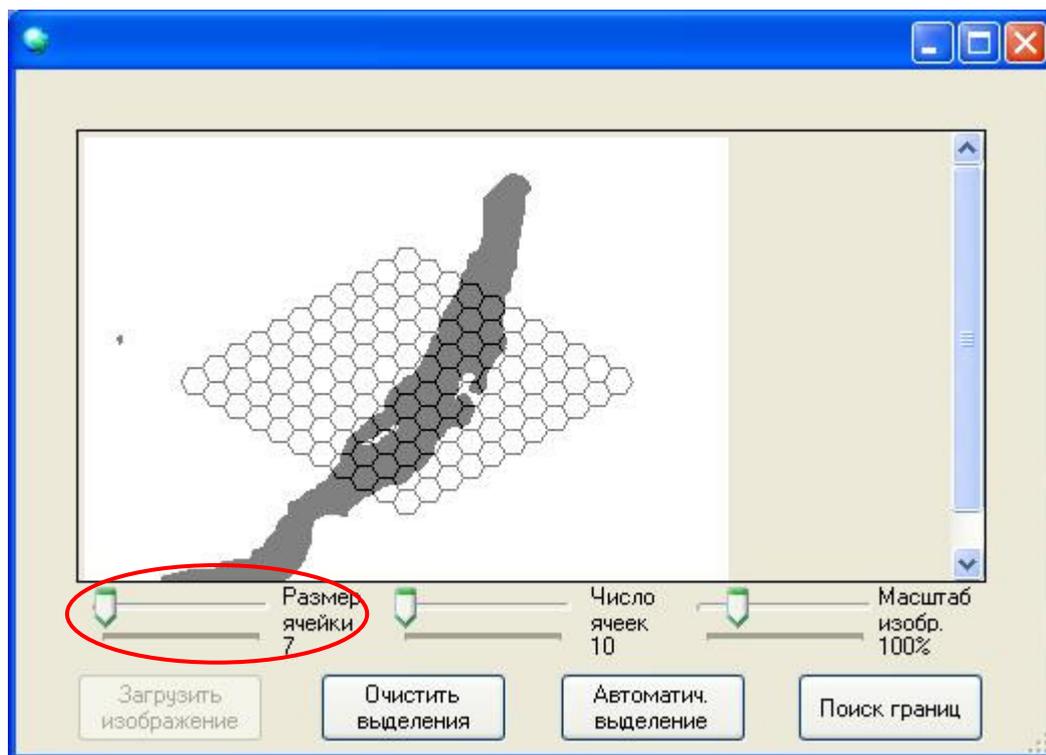


Рис. 62.

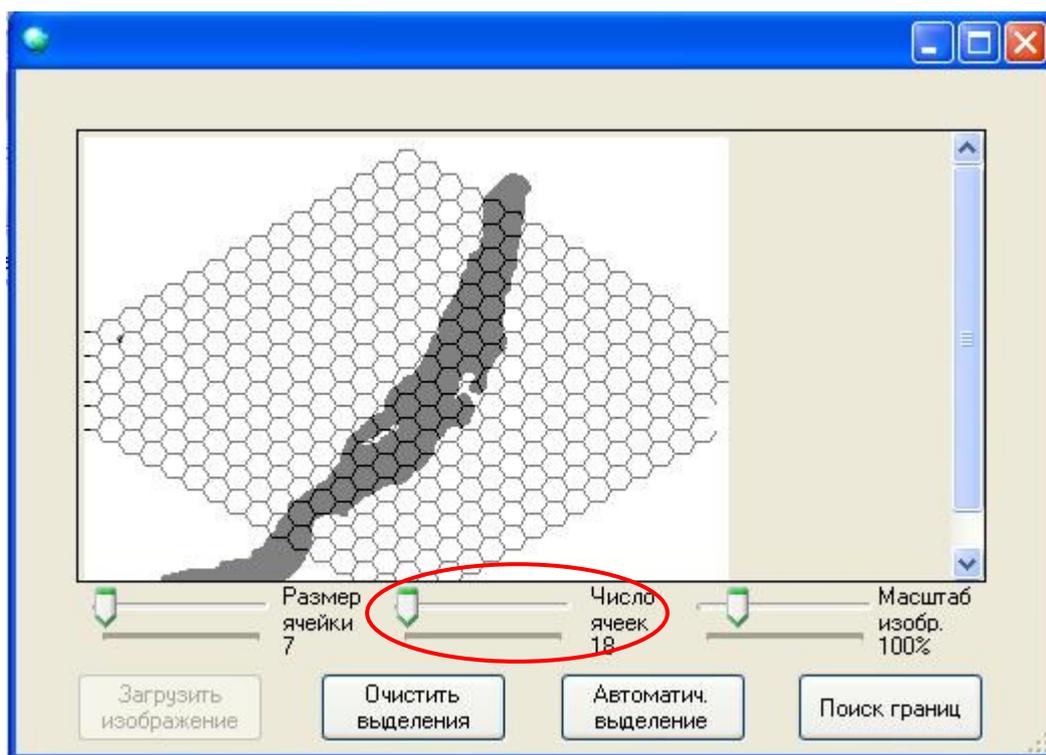


Рис. 63.

Можно также менять масштаб изображения, на которое наложена сетка (Рис. 64).

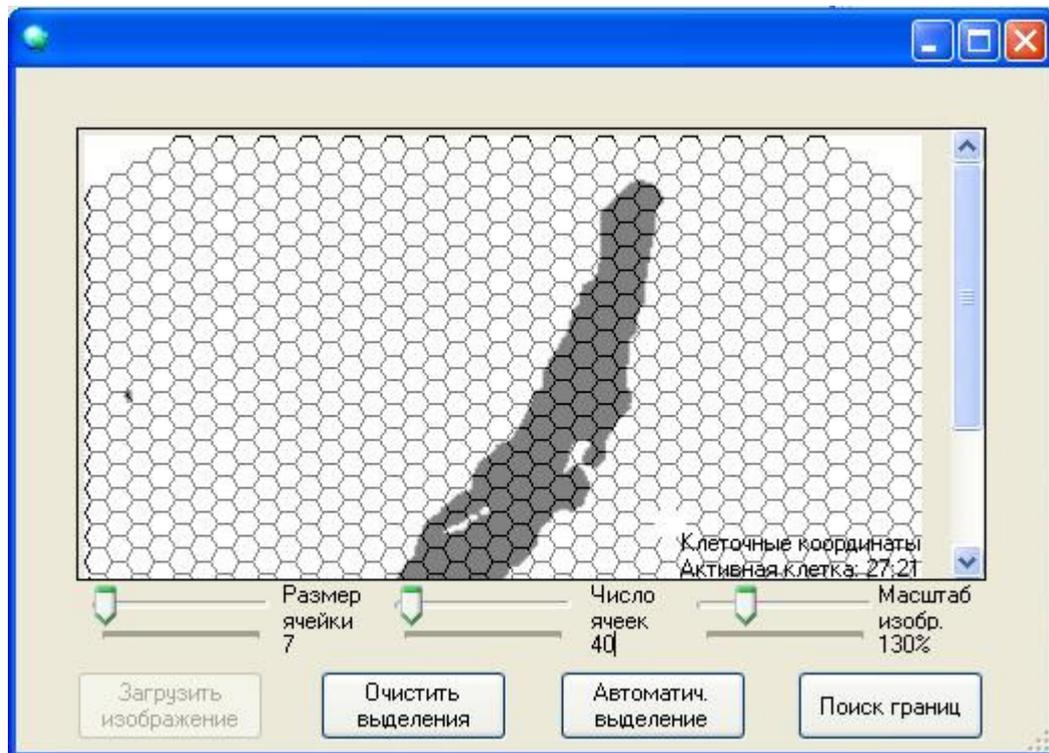


Рис. 64.

Кнопка «Автоматич. выделение» позволяет «залить» ячейки шестиугольной сетки, в которые попадает хотя бы один «черный» пиксель исходного бинаризованного изображения (Рис. 65). В результате успешного выполнения операции появится сообщение (Рис. 66). Кнопка «Очистить выделения» позволяет очистить результаты операции «заливки» (Рис. 65).

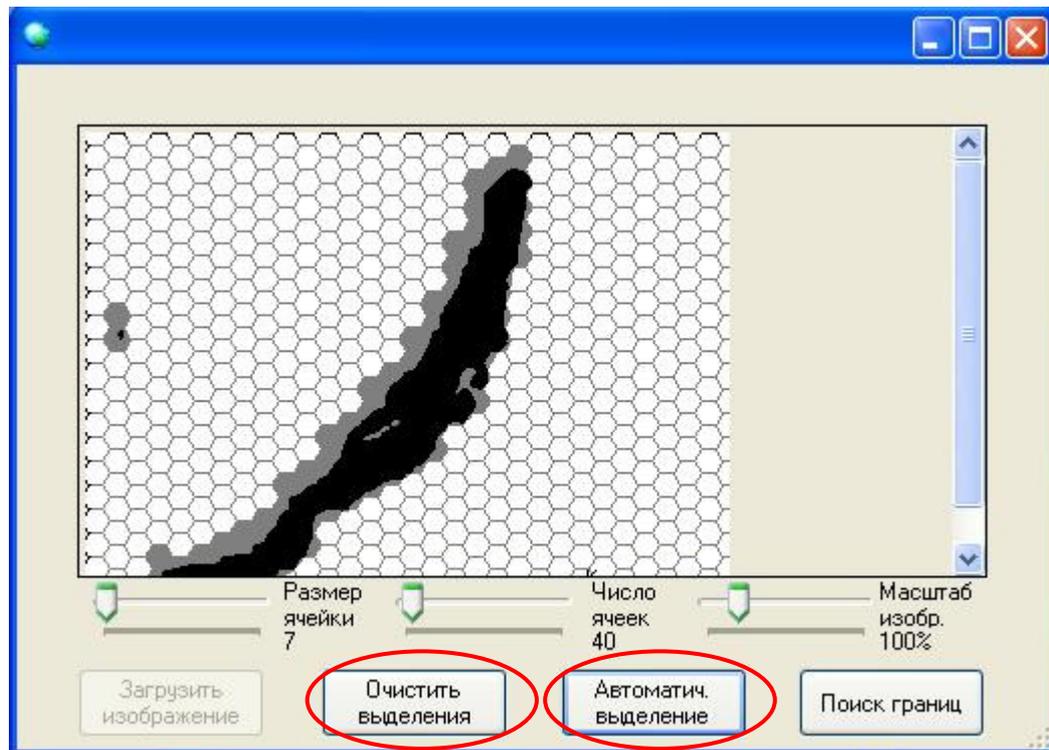


Рис. 65.

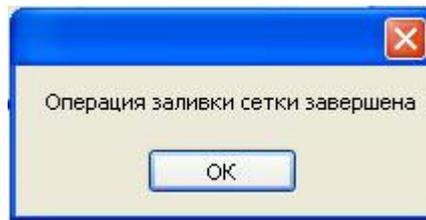


Рис. 66.

Кнопка «Поиск границ» запускает поиск границ, аналогичный п. 4.4, только на шестиугольной решетке (Рис. 67). Так же по завершении процесса появляется окно (Рис. 46).

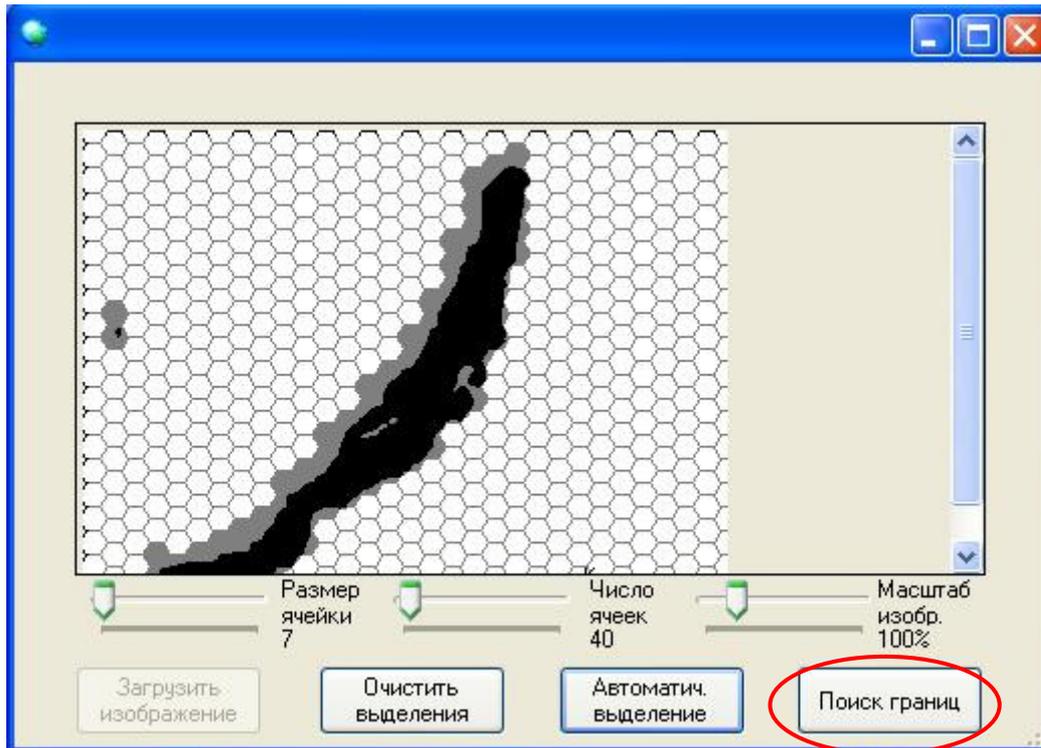


Рис. 67.

Файлы результатов отслеживания границ на шестиугольной решетке будут сохраняться в директорию [путь к исполняемому файлу программы (по умолчанию) или путь, заданный пользователем]\SatelliteImgAnalysis\temp_hex (файлы с отдельными контурами) и в директорию [путь к исполняемому файлу программы (по умолчанию) или путь, заданный пользователем]\SatelliteImgAnalysis\temp (файлы, касающиеся предварительной обработки изображения).

4.9.5. Заключительные действия

Аналогичны п. 4.4.4., за исключением того, что результирующее изображение с наложенным контуром не сохраняется в соответствующем поле главного окна АИС «САКС».

4.9.6. Ресурсы, расходуемые на операцию

Оперативная память компьютера и ресурсы центрального процессора используются тем активнее, чем большее число ячеек в наложенной на изображение шестиугольной сетке.

4.10. Завершение работы приложения

4.10.1. Наименование операции

Завершение работы приложения

4.10.2. Условия выполнения операции

Приложение запущено, успешно функционирует, не выполняет никаких операций, блокирующих доступ к пунктам меню.

4.10.3. Подготовительные действия

Завершить все процессы обработки изображений.

4.10.4. Основные действия

Завершить работу приложения можно, нажав кнопку «Закреть» в правом верхнем углу окна приложения, или выбрав соответствующий пункт меню «Файл» (Рис. 60).

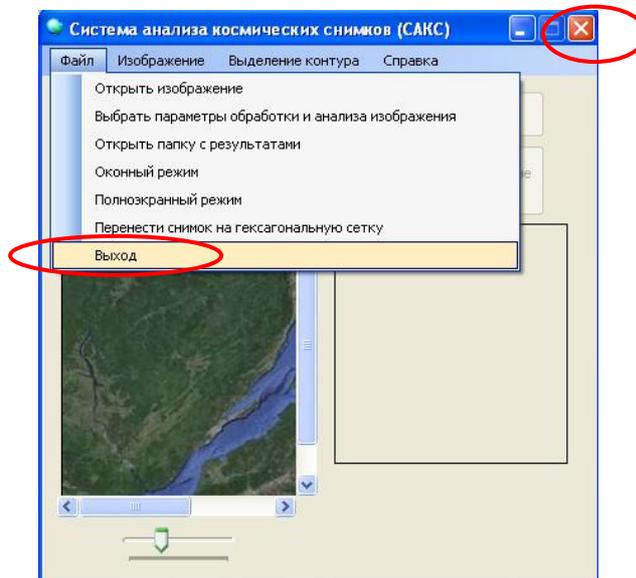


Рис. 60.

Появится диалоговое окно (Рис. 61).

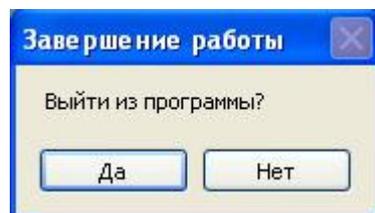


Рис. 61.

В случае утвердительного ответа приложение завершит свою работу. В противном случае, программа продолжит функционирование.

4.10.5. Заключительные действия

Убедиться, что приложение завершило свою работу корректно.

4.10.6. Ресурсы, расходуемые на операцию

Отсутствуют

5. АВАРИЙНЫЕ СИТУАЦИИ

При сбое в работе аппаратуры восстановление нормальной работы системы должно производиться после:

- перезагрузки операционной системы;
- запуска исполняемого файла системы.

При ошибках в работе аппаратных средств (кроме носителей данных и программ) восстановление функции системы возлагается на ОС.

При ошибках, связанных с программным обеспечением (ОС и драйверы устройств), восстановление работоспособности возлагается на ОС.

При неверных действиях пользователей, неверных форматах или недопустимых значениях входных данных, система выдает пользователю соответствующие сообщения, после чего возвращается в рабочее состояние, предшествовавшее неверной (недопустимой) команде или некорректному вводу данных.

6. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОСВОЕНИЮ

Для успешного освоения приложения АС «Система анализа космических снимков» необходимо иметь навыки работы с ПК и изучить следующее:

- настоящее «Руководство пользователя».

Контрольный пример работы с системой

Ниже рассмотрен пример работы с системой, начиная с ее запуска:

1. Запустите систему (п. 3.2);
2. Загрузите изображение, нажав кнопку «Открыть изображение» или выбрав соответствующий раздел меню, и убедитесь, что изображение загружено корректно;
3. Выберите параметры анализа изображения, нажав на кнопку «Выбрать параметры анализа изображения» или выбрав соответствующий раздел меню;
4. Убедитесь, что кнопка «Выбрать параметры анализа изображения» и соответствующий пункт меню изменили свое название на «Изменить параметры анализа изображения», а кнопки «Начать выделение контура» и «Обработать изображение как эталонное» и соответствующие пункты меню стали доступны;
5. Запустите процесс выделения контура объекта на изображении и дождитесь уведомления о завершении всех операций;
6. По завершении по завершении процессов обработки изображения на правой половине главного окна приложения должны отобразиться результаты выделения границ.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ЮРИА-Центра

В.И. Повх

» 2019



АКТ внедрения результатов кандидатской диссертационной работы Митясовой Ольги Юрьевны

Комиссия в составе:

Председатель: к.ф.-м.н. ШЛЯХОВА Людмила Алексеевна – заместитель директора по науке,

члены комиссии: НЕСТЕРОВ Никита Юрьевич – начальник отдела,
БОЕВА Ирина Николаевна – главный специалист

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы «Разработка методики оценки изменения топологии объектов добычи полезных ископаемых», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, использованы в деятельности ООО «Южный региональный информационно-аналитический центр» в виде:

1. Методики обработки данных дистанционного зондирования Земли.
2. Рекомендаций по заполнению базы знаний, содержащей обработанные спутниковые данные о хозяйствующих и промышленных субъектах.

По результатам совместных разработок получены 1 патент и 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

Использование указанных результатов позволяет: повысить эффективность обработки открытых данных дистанционного зондирования Земли; сократить затраты на проведение натурных исследований.

Председатель комиссии:

Л.А. Шляхова

Члены комиссии:

Н.Ю. Нестеров

И.Н. Боева



**Администрация
Егорлыкского района**
ул. Мира, д.90, ст. Егорлыкская,
Егорлыкский район, Ростовская область,
347660, тел/факс (8-270) 2-15-69
ОКПО 04039648, ОГРН 1026100870696
ИНН 6109001268

УТВЕРЖДАЮ
Глава Администрации
Егорлыкского района



П.А. Павлов
« 20 » г.

№ _____
На № _____ от _____

**Справка
о практическом применении результатов диссертационного исследования
Митясовой О.Ю. на тему «Разработка методики оценки изменения топологии
объектов добычи полезных ископаемых»**

Результаты диссертационного исследования Митясовой О.Ю. на тему «Разработка методики оценки изменения топологии объектов добычи полезных ископаемых» обладают актуальностью, представляют практический интерес. Использование результатов исследования позволило повысить эффективность обработки открытых данных дистанционного зондирования Земли и точность определения границ объектов сельскохозяйственного назначения и недропользования для последующего учета. Был апробирован инструмент адресного учета и контроля налогоплательщиков.

Заместитель главы Администрации
Егорлыкского района - начальник отдела
сельского хозяйства и охраны
окружающей среды

Абрамов А.А.



«УТВЕРЖДАЮ»
директор СКФ МТУСИ

А.А.Манин

« 18 » 11 2019 г.

АКТ
внедрения результатов
диссертационной работы на соискание ученой степени
кандидата технических наук
Митясовой Ольги Юрьевны

Настоящий акт составлен в том, что результаты диссертационной работы Митясовой О.Ю. в части исследования информативности признаков и распознавания объектов на изображении используются в учебном процессе Северо-Кавказского филиала ордена Трудового Красного знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» в рамках учебной дисциплины «Интеллектуальные информационные системы» направления подготовки 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника» (профильная направленность «Информационно-управляющие системы»). Программное средство АИС «Система анализа космических снимков» разработано согласно предложенных в диссертации методик и используется на практических занятиях в работе с данными дистанционного зондирования, в ходе которой установлено его устойчивое функционирование и соответствие предъявляемым требованиям.

Заведующий кафедрой «Информатика и вычислительная техника» Северо-Кавказского филиала ордена Трудового Красного знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»

Соколов С. В.

« 18 » 11 2019 г.