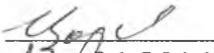


Министерство образования и науки Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(РГГМУ)

Допущена к защите  
Зав. кафедрой д.ф.-м.н., профессор

Кафедра океанологии

 В. А. Царев

17.06.2016

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ)

Изучение динамики береговой линии  
Каспийского моря по данным  
дистанционного зондирования Земли

Выполнил

Ю.Д. Карелин,  
гр. О-651

Руководитель

ассистент  
Н.С. Фролова

Министерство образования и науки Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(РГГМУ)

Допущена к защите  
Зав. кафедрой д.ф.-м.н., профессор  
\_\_\_\_\_ В. А. Царев  
\_\_\_\_\_.06.2016

Кафедра океанологии

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ  
РАБОТА  
(ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ)**

**Изучение динамики береговой линии  
Каспийского моря по данным  
дистанционного зондирования Земли**

|              |                            |
|--------------|----------------------------|
| Выполнил     | Ю.Д. Карелин,<br>гр. О–651 |
| Руководитель | ассистент<br>Н.С. Фролова  |

Санкт-Петербург  
2016

## Оглавление

|  |     |
|--|-----|
| Введение.....  | 3   |
| 1 Физико-географические особенности исследуемого района.....   | 7   |
| 2 Инструменты изучения динамики береговой линии.....   | 13  |
| 2.1 Спутник Landsat 5.....   | 13  |
| 2.1.1 История Landsat 5.....   | 13  |
| 2.1.2 Приборы спутника Landsat 5.....  | 14  |
| 2.1.3 Основные научные задачи Landsat 5.....   | 16  |
| 2.2 Сервисы и программы для работы со снимками спутника.....   | 16  |
| 2.2.1 Онлайн-сервис Earthexplorer. Логистика хранения снимков.....   | 16  |
| 2.2.2 Основные опции программного пакета UNESCO Bilko. Особенности составления композитных снимков.....        | 20  |
| 2.2.3 Программный пакет Photo Studio. Получение четкого контура.....   | 26  |
| 2.2.4 Графический редактор Adobe Photoshop. Наложение изображений...27   |     |
| 3 Анализ динамики береговой линии Каспийского моря с помощью методов обработки снимков спутника Landsat 5..... | 32  |
| 3.1 Исходные данные для исследования береговой линии Каспийского моря  | 32  |
| 3.2 Анализ полученных результатов.....   | 33  |
| 3.2.1 Анализ композитных изображений.....  | 33  |
| 3.2.2 Анализ динамики береговой линии Каспийского моря по совмещенным изображениям за разные годы.....         | 40  |
| 3.2.3 Анализ результатов классификации без обучения.....   | 42  |
| Заключение.....  | 46  |
| б  |     |
| Список использованных источников.....  | 488 |
| Приложение 1.....  | 50  |

## Введение

Одной из важных частей любого программного пакета современного профессионального мониторинга экологического состояния поверхности земли или океана и морей будет являться спутниковый мониторинг, обладающий огромными возможностями и неоспоримыми преимуществами в сравнении с наземными приборами и средствами. К положительным качествам можно отнести:

- масштабный охват всего земного шара;
- максимально быстрая съемка огромных акваторий;
- большие оперативность и способность в получении необходимых данных;
- постоянная возможность ежедневного повторения наблюдений;
- высочайшее пространственное разрешение (от 1 километра до 50 сантиметров);
- способность получать комплексные данные;
- возможность организовывать оперативный мониторинг совершенно в любой точке земного океана;
- использование данных, получаемых спутником, для решения достаточно большого круга всевозможных задач, таких как мониторинг суши (опасные пожары и наводнения, опустынивание новых территорий, вегетация новых культур, водные различные ресурсы и др.) [1];
- стоимость спутникового мониторинга намного ниже, чем морские наблюдения.

В результате выполнения ряда российских, а также международных исследований Институт космических исследований РАН, Институт океанологии им. П. П. Ширшова и Геофизический центр РАН вместе МГИ НАНУ накопили очень ценный опыт в работе со спутниковой информацией, касающейся состояния океанов, а также морей. Эти институты создали и протестировали новые методы исследований. Эти исследования применяют для мониторинга эко состояния морей Российской Федерации. Спутниковые методы, как и анализ гидрологических научных данных, позволяют постоянно принимать важные оптические, термогидродинамические, а также метеорологические параметры в

одно и тоже время на всей площади моря. Преимущество заключается в том, что нет ограничений в виде границ государства.

Был разработан уникальный комплексный (междисциплинарный) метод к оперативному мониторингу спутниками нефтяного загрязнения государственных морей [2].

В первый раз данный метод был задействован на практике для области юго-востока Балтики. Подобный комплексный метод был применен к Азово-Черноморскому бассейну. Результаты, которые были получены с 2004 года по 2011 год, показали невероятную эффективность данного вида мониторинга экологической составляющей Черного, Азовского, Балтийского, а также Каспийского морей.

Спутниковый мониторинг прибрежных районов океана и внутренних морей — важнейший метод контроля их экологического состояния. Он основан на приеме цифровых данных с различных радиометров, сканеров, спектрометров, радаров, альтиметров, скаттерометров, установленных на зарубежных и российских спутниках (NOAA, Terra, Aqua, TOPEX/Poseidon, Jason 1/2, GFO, Envisat, RADARSAT 1/2, TerraSAR-X, ERS-2, QuikSCAT, Landsat, IRS, KOMPSAT-2, EROS A, IKONOS, SPOT, QuickBird, FORMOSAT-2, «Метеор-М» № 1 и многих других) и позволяющих получать информацию о поле температуры поверхности моря (ТПМ), взвеси, концентрации хлорофилла, других оптических характеристиках водной поверхности и суши, нефтяном загрязнении, а также об аномалиях уровня моря, ледовом покрытии, изменчивости течений, скорости ветра и высоты волн с высоким пространственным и временным разрешением.

Благодаря прогрессу в технологиях дистанционного зондирования океана из космоса стало возможным исследование различных типов мезомасштабных и мелкомасштабных вихрей и струй, представляющих собой не только механизм переноса загрязнений, но и эффективный процесс «самоочищения» прибрежных вод от загрязнений различной природы, а также механизма переноса вод, нитратов и планктона из прибрежных зон в сторону открытого океана (моря), значительно влияющий на биопродуктивность удаленных от берега районов.

В последние годы с появлением доступных банков глобальной регулярной спутниковой информации и данных реанализа о поле температуры поверхности моря, уровне моря, концентрации хлорофилла, ледовом покрытии, атмосферном давлении, ветре, осадках, влажности, потоках тепла и других гидрометеорологических характеристиках (PODAAC JPL, AVISO, UT/CSR, NCEP, GSFC DAAC и др.), появилась возможность изучения не только сезонной, но и межгодовой изменчивости состояния акваторий морей России. Это особенно важно, как для изучения изменчивости регионального климата, так и эволюции термогидродинамического и экологического состояния морей.

Космическая радиолокация является всепогодным средством наблюдения поверхности Земли [3]. За счет применения бокового обзора и синтеза апертуры при космической радиолокации достигается такое же пространственное разрешение, как в оптическом диапазоне.

При наблюдении Земли из космоса используют дистанционные методы: исследователь получает возможность на расстоянии (дистанционно) получать информацию об изучаемом объекте. Дистанционные методы, как правило, являются косвенными, т. е. измеряются не интересующие параметры объектов, а некоторые связанные с ними величины. Например, нас может интересовать состояние сельхозпосевов. Но аппаратура спутника регистрирует лишь интенсивность светового потока от этих объектов в нескольких участках оптического диапазона. Для того, чтобы «расшифровать» такие данные, требуются предварительные исследования, включающие в себя различные подспутниковые эксперименты: по изучению состояния растений контактными методами; по изучению отражательной способности листьев в различных участках спектра и при различном взаимном расположении источника света (Солнца), листьев и измерительного прибора. Далее необходимо определить, как выглядят те же объекты с самолета и лишь после этого судить о состоянии посевов по спутниковым данным. Необходимо прокалибровать спутниковую аппаратуру перед запуском и в космосе, сравнивать спутниковые данные с наземными [4].

Подспутниковые исследования трудоемки, но проводятся на небольшой площади. В то же время они дают возможность интерпретировать данные, относящиеся к огромным пространствам и даже ко всему земному шару.

Широта охвата является характерной чертой спутниковых методов исследования Земли. К тому же эти методы, как правило, позволяют получить результат за сравнительно короткий интервал времени [5].

Основные области применения спутниковых данных дистанционного зондирования – получение объективной оперативной информации о состоянии окружающей среды и о природопользовании, мониторинг природных и техногенных опасных ситуаций и катастроф. Информация о Земле поступает со спутников, как правило, в виде цифровых изображений. Это также характерная черта дистанционных методов. Наземная обработка изображений проводится на ЭВМ; в настоящее время цифровая обработка изображений относится к числу наиболее динамично развивающихся информационных технологий и находит применение в робототехнике, полиграфии, медицине, физическом материаловедении и т. д.

Современные спутниковые методы позволяют получать не только изображение Земли. Используя приборы, чувствительные к полосам поглощения атмосферных газов, удастся измерять концентрацию, в том числе для газов, вызывающих парниковый эффект, вредных газов природного и антропогенного происхождения, несмотря на их относительно малое количество.

## 1 Физико-географические особенности исследуемого района

В данной дипломной работе рассматривается район северо-западной части Каспийского моря и прилегающей к ней дельты реки Волги. Выбор данной области был сделан весьма неслучайно. В отличие от множества других морей уровень водного столба в Каспийском море достаточно часто изменяется. Причиной являются:

- сухой климат, вызывающий испарение;
- тектоническое опускание в южной области моря;
- сооружения крупных водохранилищ на реках (в том числе на реке Волга), впадающих в море. Замкнутость береговой линии рассматриваемого водоема, также играет не последнюю роль в изменении контура Каспия.

Исходя из этих фактов, можно заключить, что расположение береговой линии Каспийского моря не будет являться постоянной. Из года в год она будет менять свое очертание.

Если взглянуть на карту с данным водоемом, то прежде всего можно увидеть, что все крупные реки образуют наносные выступы суши, далеко выдвинутые в море. Это дельты рек Волги, Терека, Куры. Дельта возникает потому, что скорость течения реки, там где она впадает в море, резко понижается и огромная масса речных наносов осаждается. Чем крупнее река, тем она больше несет наносов, тем больше ее дельта и тем быстрее суша наступает на море. В некоторых местах суша за год перемещается в сторону моря на 100 — 200 метров.

Волга в среднем ежегодно выносит в море 25,5 млн. т наносов. Для того чтобы вывезти наносы, отлагаемые Волгой только за одни сутки, потребовалось бы 2 800 грузовых автомашин грузоподъемностью каждая в 25 тонн.

С изменением уровня Каспийского моря меняются очертания береговой линии, глубины, появляются и исчезают острова.

Дельты рек особенно энергично растут при понижении уровня моря. Например, с падением уровня Каспия на 30 см дельта Волги продвигается в море примерно на три-четыре километра. Понижение уровня моря увеличивает уклон реки и скорость ее течения, увеличивается также размыв русла [6]. Река

стремится течь одним руслом, правые и левые притоки отмирают, дельта сужается (Рисунок 1).

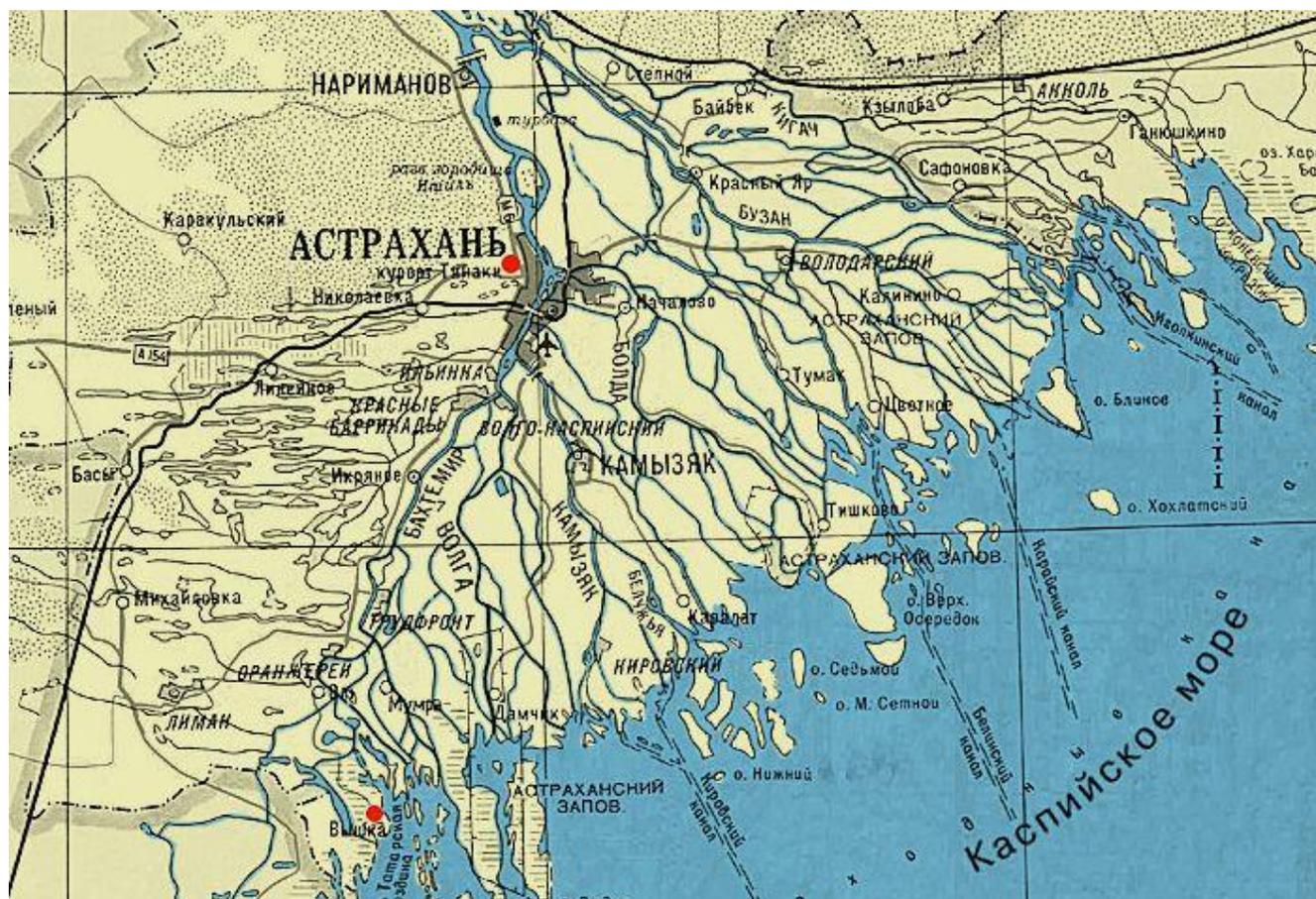


Рисунок 1 – Карта исследуемого района.

Волга впадает в Каспийское море огромным количеством рукавов (более 500), отделенных друг от друга большими и малыми островами. Все это пространство, занятое сетью протоков великой русской реки, и называется ее дельтой, самой сложной из всех дельт мира по рельефу и наиболее разветвленной. Она начинается выше Астрахани на 50 км, у села Верхне-Лебяжьего.

Современная дельта Волги имеет площадь 13 900 км<sup>2</sup>, из которых 8 800 км<sup>2</sup> приходится на собственно дельту, расположенную между расходящимися крайними её рукавами, а остальная часть – на два прилегающих к ней озёрных района: Западные Подстепные Ильмени площадью 4200 км<sup>2</sup> и Восточные Подстепные Ильмени площадью 900 км<sup>2</sup>. К дельте примыкает обширное устьевое взморье Волги площадью около 28 тыс. км<sup>2</sup>, из которых 10 тыс. км<sup>2</sup> – это

придельтовая мелководная зона. Длина морского берега дельты (её морского края) около 175 км.

Протяженность дельты от её вершины, которая находится в 54 км выше Астрахани, до морского края дельты составляет на западе дельты – 150 км, в центральной части – 135 км, на востоке – 125 км. Поэтому форма дельты Волги – это неравнобедренный треугольник.

Дельта Волги принадлежит к самым большим речным дельтам мира [7]. Это крупнейшая дельта Европы (по размеру она превосходит крупные дельты европейских рек Терека, Кубани, Дуная, Рейна с Маасом). В России дельта Волги уступает по площади только дельте Лены (её площадь около 32 тыс. км<sup>2</sup>).

Дельта Волги находится в основном в пределах Астраханской области; лишь её небольшие приморские участки принадлежат Республике Калмыкии РФ (на западе дельты) и Казахстану (на востоке). Государственная граница между Россией и Казахстаном проходит по рукавам Кигач и Иголкинский банк и Иголкинскому рыбоходному каналу.

Для дельты Волги и прилегающих с запада и востока районов характерны так называемые бэровские бугры, впервые отмеченные русским академиком К. Бэром в 1856 году. Их лучше называть грядами. Они следуют параллельно друг другу и имеют в длину от 0.5 до 10 км, в ширину около 200 м и в высоту шесть-восемь метров. Расположены они в основном параллельно береговой линии Северного Каспия, на пространстве от Кумы до Эмбы, огибая море дугой небольшой кривизны. Это остатки древних береговых валов, подводных кос, баров, созданных волнами моря при различных его уровнях (Впоследствии размеры этих гряд могли изменяться под воздействием господствующих ветров, создающих аналогичные гряды из песков пустыни) [7].

Такие же бугры обнаружены на дне моря на расстоянии около 40 км от дельты. Это означает, что некогда уровень Каспия был на 20-25 м ниже современного, так как последняя подводная гряда бэровских бугров располагается именно на этой глубине. На самых больших располагаются поселениями, другие обнажены или покрыты отдельными деревьями. Значение

бэровских бугров для человека исключительно велико, ибо благодаря им оказалось возможным заселение дельты. Без бугров дельта почти сплошь заливалась бы водой во время половодья. Эта особенность дельты Волги отличает ее от всех других дельт мира, обыкновенно необитаемых на своих окраинах.

Морской край дельты непрерывно растет за счет наносов реки, причем очертания береговой линии изменяются здесь не только от наносов, но и от колебаний уровня воды в связи со сменой ветров.

Южный ветер – моряна – вызывает нагон воды [6]. При этом уровень поднимается иногда на два-три метра, вода затопляет обширные пространства, исчезают многие песчаные островки, глухие протоки делаются сквозными, ильмени превращаются в заливы, фарватеры углубляются, и суда, прочно севшие на мель, легко освобождаются из плена. Северный ветер вызывает сгон, то есть действует в обратном направлении.

Дно в дельте настолько полого, что понижение уровня всего на десять сантиметров заставляет море отступить на несколько сот метров. На расстоянии 40-50 км от края дельты со стороны моря вода является почти что пресной.

В данной работе важно указать на особенности самого моря.

Каспийское море – известное во всем мире бессточное озеро и считается самым крупным на планете Земля. Оно располагается на границе между Европой и Азией – на материковой депрессии. Название морем получило за свою площадь (371 тыс. км<sup>2</sup>). Соленость достигает всего 14 промилле.

Волны Каспийского моря во время мощных штормов могут достигать 10 - 12 метров. В северной части моря вода практически пресная (1-2‰). Это объясняется тем, что на пресность оказывает впадающая в море река Волги. На юго-восточной акватории находится вода с самым большим содержанием соли (14‰). Объем всей воды в Каспийском море – около 75 тысяч километров кубических. Данное море получает питание водами различных по размеру рек таких как: Волги, Куры, Урала, Терека, Аракса, Сулака, Самура, и пр. На долю реки Волги приходится 82% все поступающей пресной воды в море.

Каспий имеет протяженность с севера на юг 1200 километров, при этом ширина составляет 300 километров. Средняя глубина рассматриваемого моря составляет 180 метров. Самая большая – 1020 метров (Ленкоранская впадина). Наименьшая же глубина находится на севере моря и составляет всего 5 метров.

Береговая линия всего Каспийского моря по длине равна 6000 километрам - от Самура и до Апшеронского полуострова. На таких берегах как берега Апшерона, Красноводска (Туркмен Баши) и Мангышлака располагаются бухты и тихие заливы. А южнее располагаются Кызылагачский залив, Бакинская Бухта, Куринская коса и Шихово.

Большая часть островов и некоторых полуостровов располагаются вдоль берега и образуют таким образом два архипелага: Апшеронский и Бакинский. Апшеронскому архипелагу принадлежит остров Жилой и некоторые др. Остров Артем соединяется с берегом автомобильной и железнодорожной дамбой. Бакинский Архипелаг состоит из острова Песчаный, Наргин (Даш Зира), Бёюк Зира, Гиль, Хара Зира, Сенги-Мугань, Карасу, Лось, Дуванный, Булла и др. Большинство островов образовалось благодаря извержению подводных вулканов. На многих из перечисленных островов идет добыча нефти и газа.

Уровень Каспия ниже уровня мирового океана приблизительно на 28 метров. В результате данной особенности в Каспийском море сохранились особые представители фауны Северного и Средиземного морей. Например, из рыб попадает белуга и даже лосось, из млекопитающих в основном - тюлени. Температура верхней толщи воды меняется по типу север-юг. В северной части температура водной поверхности зимой может достигать 0С., а на самом побережье Азербайджана около 5-8 градусов по Цельсию. Поэтому в зимний период северная область моря зарастает ледяной коркой, и может быть так, что куски льда могут дрейфовать до Апшеронского полуострова, неся с собой опасность повредить морские нефтепроводы.

В летний период температура поверхностной воды у береговой линии Азербайджана составляет около 24 -25 градусов по Цельсию.

Каспий влияет на образование климата на востоке республики, где зимой климат умеренный, тогда как летом климат достаточно прохладный.

У Каспия особенный режим ветров. Средняя скорость ветра за год меняется в диапазоне 2-5 м/сек. Ветер ураганного типа имеет юго-западное направление. Если ветер активный, то в море появляются циркулирующие течения.

Фауна Каспия достаточно разнообразна. Например, в заливах на побережьях зимует множество видов птиц. Из млекопитающих здесь обитают тюлени. Водные микроорганизмы являются основной пищей для большинства птиц, а также рыб. К ним относятся: моллюски и ракообразные.

Вода моря является сырьем для химической промышленности и других технических потребностей. Благодаря географическому расположению Каспийского моря существуют торговые связи между Россией, Туркменистаном, Ираном, Казахстаном и некоторыми другими странами через Волго-Балтийский и Волго-Донский каналы.

На дне в некоторых районах Каспия обнаружены достаточно богатые залежи сырой нефти и газа. На восточной окраине – Шолларской равнине до Каспия располагаются густые леса.

Полоса, проходящая между Ленкоранской низменностью и Набанью, обладают климатом полупустынь. Здесь расположены солончаки и мелкими солянковыми кустарниками.

## **2 Инструменты изучения динамики береговой линии**

### **2.1 Спутник Landsat 5**

#### **2.1.1 История Landsat 5**

Landsat 5 – американский спутник дистанционного зондирования Земли, пятый в рамках программы Landsat. Создан совместно NASA и USGS [8].

Данный спутник представляет полную копию спутника Landsat 4 и использует такие же инструменты – Thematic Mapper (TM) и Multi-Spectral Scanner (MSS) (Рисунок 2).

Landsat-5 был изготовлен в качестве резервного варианта на случай, если спутник Landsat-4 выйдет из строя. Опасения были не напрасны. Запущенный Landsat-5 был уже модернизирован с учетом возникших неисправностей на борту предыдущего спутника.

Высота орбиты 705 км, а орбита – приполярная, солнечно-синхронная. Наклонение 98,2 градуса. Обзор всей поверхности планеты Земля занимал 16 полных суток.



Рисунок 2 – Спутник Landsat 5.

Спутник Landsat 5 выведен ракетой-носителем Delta-3910 на орбиту 1 марта 1984 года. Эксплуатация спутника Landsat 5 была приостановлена лишь в 2007 г., так как была испорчена батарея питания. В 2008 году в начале марта спутник снова функционировал, но с некоторыми ограничениями. Спутник находился на орбите целых 24 года, что являлось на то время уже рекордом. 21 декабря в 2012 году эксплуатирование спутника прекратилось. За время работы спутник Landsat 5 несколько раз получал повреждения, но после ремонта был снова задействован. В декабре 2012 года аппарат получил повреждение, из-за которого перестал функционировать один из гироскопов [9]. Гироскоп восстановлению не подлежал. Хотя спутник был оборудован тремя гироскопами, для правильной работы требовалось два, всего же в рабочем состоянии остался лишь один.

### 2.1.2 Приборы спутника Landsat 5

Как уже было отмечено, на спутнике Landsat 5 используется два прибора Thematic Mapper (TM) и Multi-Spectral Scanner (MSS).

TM (Thematic Mapper) – это многоспектральный оптико-механический сканирующий радиометр. Служит для многоцелевых съемок общего назначения всей поверхности Земли.

Сканирует Землю при вертикальном направлении оптической оси, с такой же, как у MSS, шириной захвата на местности (185 км), в семи спектральных зонах, мкм. (Таблица 1).

Таблица 1 – Основные технические характеристики сканера TM.

| Номера каналов        | Спектральный диапазон, мкм | Ширина полосы обзора, км | Период съёмки, сут. | Радиометрическое разрешение (бит) | Пространственное разрешение, м |
|-----------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| 1                     | 0.45-0.515                 | 185                      | 16                  | 8                                 | 30                             |
| 2                     | 0.525-0.605                | 185                      | 16                  | 8                                 | 30                             |
| Продолжение таблицы 1 |                            |                          |                     |                                   |                                |

| Номера каналов | Спектральный диапазон, мкм | Ширина полосы обзора, км | Период съёмки, сут. | Радиометрическое разрешение (бит) | Пространственное разрешение, м |
|----------------|----------------------------|--------------------------|---------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| 3              | 0.63-0.690                 | 185                      | 16                  | 8                                 | 30                             |
| 4              | 0.75-0.90                  | 185                      | 16                  | 8                                 | 30                             |
| 5              | 1.55-1.75                  | 185                      | 16                  | 8                                 | 30                             |
| 6              | 10.40-12.5                 | 185                      | 16                  | 8                                 | 120                            |
| 7              | 2.09-2.35                  | 185                      | 16                  | 8                                 | 30                             |

Разрешение на местности при этом составляет 30 м для первых пяти и седьмого каналов и 120 м для шестого. Масштаб изображения (приведенный) – 1:150000 (для шестого канала – 1:600).

MSS (Multispectral Scanner) – мультиспектральный оптико-механический сканирующий радиометр. Служит для многоцелевых съемок общего назначения всей поверхности Земли.

Сканирует Землю вертикально, строго в надир, поперек направления полета спутника. На поверхности Земли захватывается полоса шириной 185 км. Съёмка проводится в четырех спектральных зонах, мкм:

1. 0,50-0,60 (зеленый);
2. 0,60- 0,70 (красный);
3. 0,70-0,80 (ближний инфракрасный);
4. 0,80-1,10 (ближний инфракрасный).

Разрешение на местности при этом составляет 80 м для оптического диапазона и 240 м для теплового, масштаб изображения (приведенный) – 1:400 000.

### **2.1.3 Основные научные задачи Landsat 5**

Несмотря на то, что аппаратура спутников Landsat предназначена в первую очередь для изучения природных ресурсов Земли, в частности, для решения вопросов сельского и лесного хозяйства, геологического картирования, поисков и разведки месторождений полезных ископаемых, пространственного планирования территорий, данные этих спутников успешно применяются и для изучения процессов в океане. С этой целью в основном используются композиты трех каналов — R: 0,630–0,690 мкм (3-й канал); G: 0,525–0,605 мкм (2-й канал); B: 0,450–0,515 мкм (1-й канал).

В зависимости от поставленных задач составляются изображения разными интерпретациями комбинаций спектральных каналов.

Многие из спутниковых приборов высокого пространственного разрешения видимого диапазона спектра с успехом могут использоваться для морских исследований, в первую очередь в прибрежной зоне, где высокое пространственное разрешение необходимо из-за сильной пространственной изменчивости.

Спутники Landsat-3, -4, -5 были оснащены двумя типами сканеров, обеспечивающими съемку земной поверхности с различным пространственным и спектральным разрешением — MSS (Multispectral Scanner) и TM (Thematic Mapper). Данные MSS (пространственное разрешение 80 м) доступны с 1972 г., данные TM (пространственное разрешение 30 м в видимом, ближнем и среднем инфракрасных диапазонах, 120 м в тепловом диапазоне) [10].

## **2.2 Сервисы и программы для работы со снимками спутника**

### **2.2.1 Онлайн-сервис Earthexplorer. Логистика хранения снимков**

Большая часть графической спутниковой информации хранится на специальных серверах. Чтобы попасть в такое хранилище, снимки подвергаются архивации, а затем заливаются на сервер под сгруппированным именем названия

спутника и даты съемки. Для того чтобы получить спутниковые изображения, нужно зайти на специализированный сайт, который предоставляет эти данные.

Например, такие данные как снимки Landsat-5 распространяются через интернет-архив USGS [11] в формате GeoTIFF (Geographic tagged image file format) (Рисунок 3). Это открытый формат метаданных, который позволяет включать в файлы TIFF (формат хранения растровых графических изображений) информацию о географической привязке, необходимой для точного пространственного ориентирования космического снимка.

Это веб приложение создано Геологической службой США (USGS). Его цель – предоставить доступ к геоданным Landsat 5, и данным других спутников. Гражданин любой страны может получить полный доступ ко всем данным при условии их некоммерческого использования.

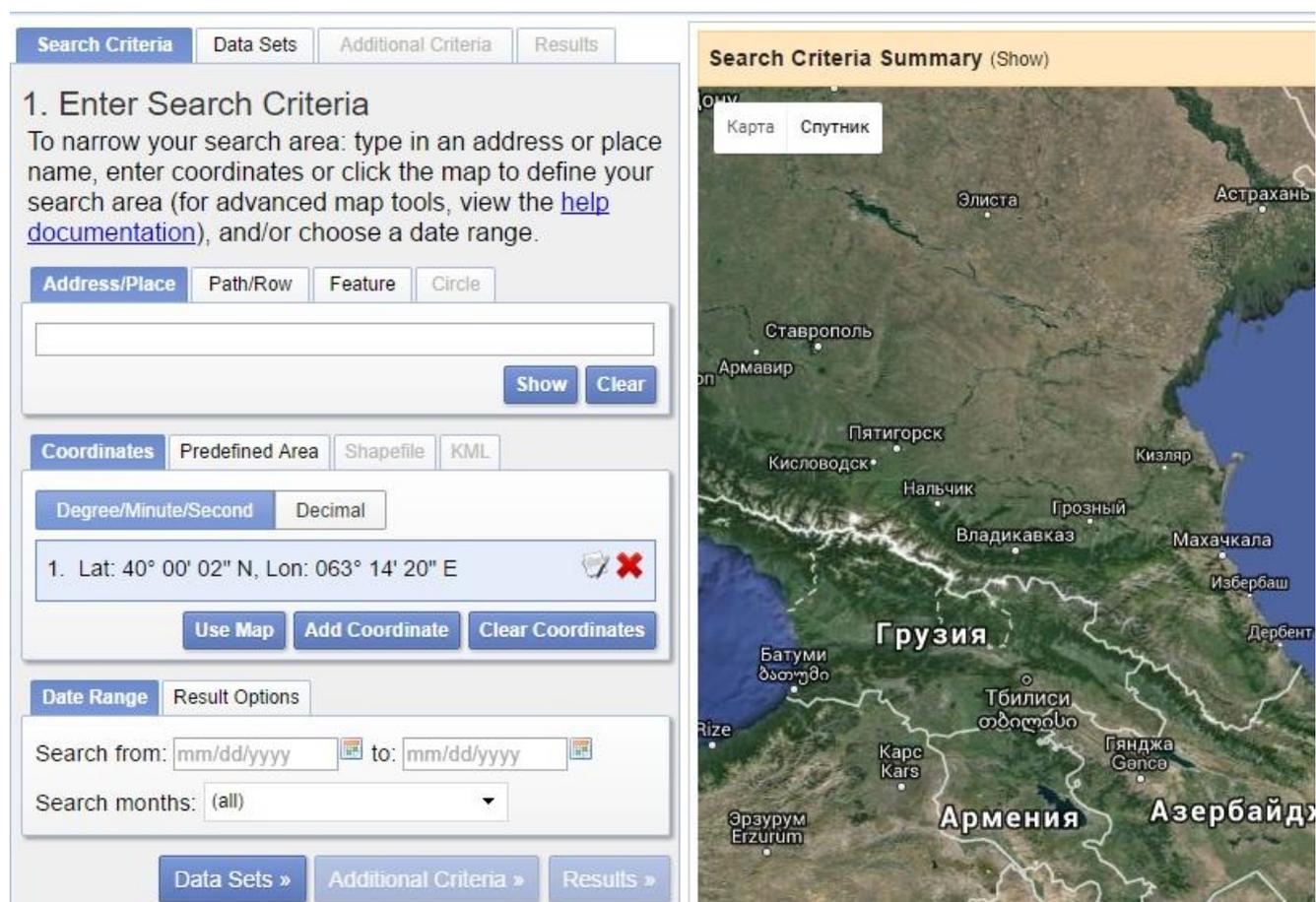


Рисунок 3 – Интерфейс сервиса Earthexplorer.

После процедуры регистрации на карте, расположенной на сайте, нужно указать координаты исследуемого района. Для этого будет достаточно кликнуть левой кнопкой мыши на нужное место на карте. Второй вариант – это ввести координаты нужного места, либо выбрать «path/row», затем кликнуть по меню «WRS2» и нажать «Show». В выбранной точке появится красный маркер (Рисунок 4).

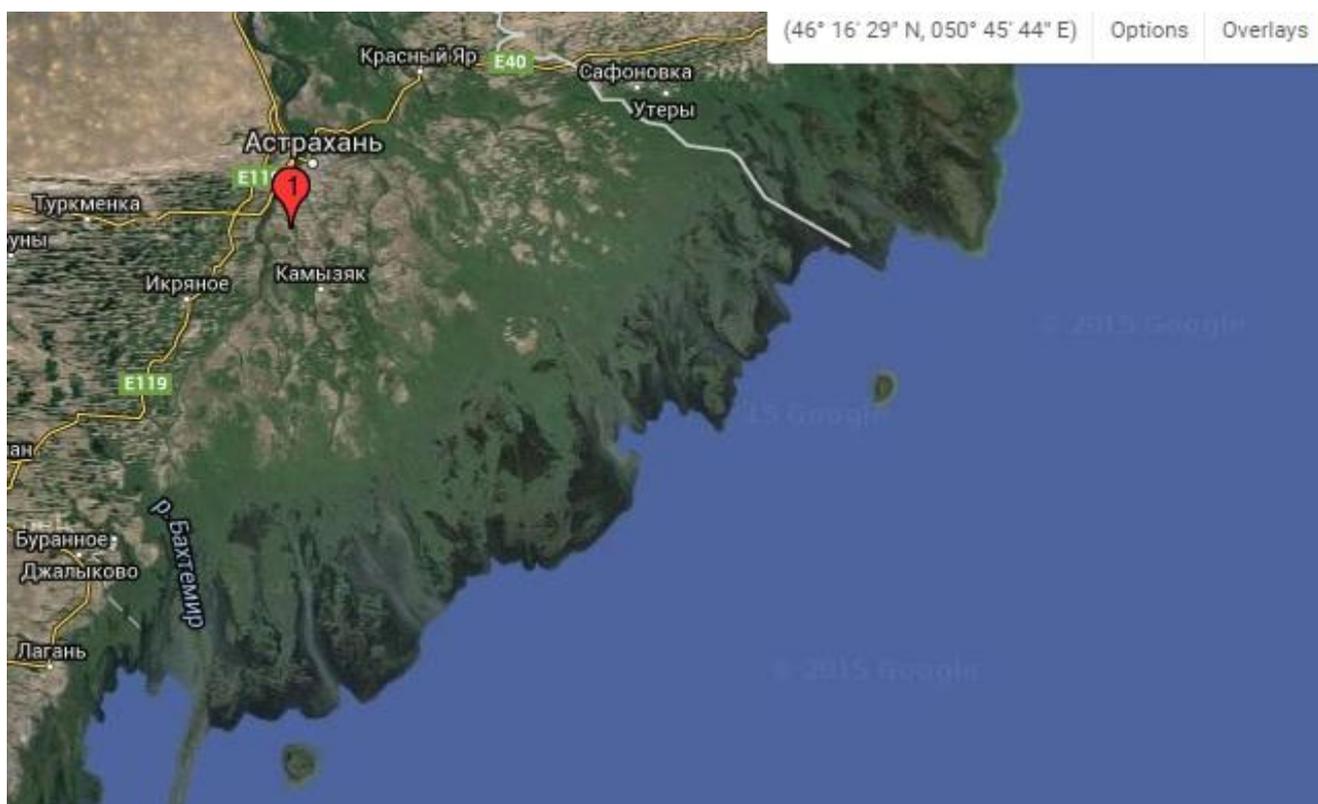


Рисунок 4 – Карта сервиса с выбранной точкой, обозначенной красным маркером.

После этого переходим на вкладку Data Sets (Наборы Данных). Нам необходимо выбрать архив снимков определенного спутника – в нашем случае L 4-5 TM. В результате мы получим все снимки, сделанные за все время существования спутника в выбранных координатах.

Для того чтобы выбрать подходящие фотографии нужно визуально исключить фотографии с видимой облачностью. Стоит также отфильтровать изображения по значениям path/row. Данная процедура понадобится, если потребуется наложение изображений за разные периоды времени. Пренебрежение этим пунктом влечёт за собой несовпадение координат снимков.

Если нужно рассмотреть изображение, то достаточно кликнуть по необходимой миниатюре фотографии, чтобы его увеличить. Также в режиме увеличения под фотографией выводится дополнительная информация о снимке: дата, координаты, время суток, модель спутника и многое другое (Рисунок 6).



Рисунок 6 – Вкладка с результатами поиска спутниковых снимков по заданным критериям.

Следующим шагом будет процесс загрузки снимков на локальный компьютер. Для этого рядом с нужным «превью» выбирается иконка с изображением жесткого диска. Следом откроется окно, в котором нужно нажать на нижнюю кнопку «Скачать». Размер данного файла составляет около 150 мегабайт. Такой большой вес объясняется тем, что в скачанном архиве будет находиться 7 изображений в формате «tiff» и несколько дополнительных информационных файлов. Данный формат достаточно гибкий и может хранить снимки в режиме цветов с палитрой и в разных цветовых измерениях. Каждое полученное изображение представляет собой отдельный спектральный диапазон (канал) снимка. Данные спутника Landsat-5 представлены в 7 таких диапазонах.

Например, современный Landsat-8 имеет 8 каналов. В таком виде снимки хранятся не случайно. В дальнейшем при помощи сторонних приложений из определенных каналов составляются композитные изображения, которые при коррекции контрастности и яркости предоставляют дополнительную информацию, которую не увидеть на обычной фотографии спутника. Такая информация бывает очень полезно, например, в таких случаях, как определение границ дельты реки Волги и, прилегающей к ней, береговой линии Каспийского моря.

Для дипломной работы было выбрано 3 архива снимков с приблизительной дискретностью 1 год. Такой временной шаг наглядней отразит изменение береговой линии Каспийского моря.

### **2.2.2 Основные опции программного пакета UNESCO Bilko. Особенности составления композитных снимков**

UNESCO Bilko - программный пакет обработки данных дистанционного зондирования океанов и прибрежных районов. Программа включает различные стандартные функции обработки и анализа изображений [12].

Программное обеспечение UNESCO Bilko имеет множество функций и опций:

Поддержка распространенных форматов изображений, используемых в дистанционном зондировании Земли; поддержка чтения сжатых форматов изображений в «.bzip2», «.gzip» и «.zip».

Программа умеет обрабатывать 3D и многоканальные данные (до 128 полос/изображений), назначать объектам цветовую гамму, а также отображать и создавать цветовые композиты. Программа способна на увеличение, зеркальное отображение и вращение снимка на 180°. Для данного продукта специально выпущено несколько описаний и для изучения полного перечня функционала всегда можно обратиться к официальному источнику [13].

В рамках дипломной работы при помощи программы Vilko были получены композитные изображения, состоящие из определенных цветовых диапазонов, созданных съемкой Landsat-5.

Чтобы получить определенный композит, нужно знать последовательность наложения трех определенных каналов друг на друга, из которых он сформирован. От последовательности и от порядкового номера спектральных диапазонов зависит цветовая гамма композитной картинки.

Для спутника Landsat-5 свойственны следующие композитные изображения: «4,3,2», «3,2,1», «4,5,1», «4,5,3», «5,3,1», «5,4,1», «5,4,3», «7,4,2», «7,5,3», «7,5,4».

С помощью программы Vilko были проделаны следующие действия:

- 1) Все каналы были загружены в программу и обрезаны до размеров 2261x2261 пикселей, так как площадь всей сцены (8201x7421 пикселей) была слишком велика и захватывала для нашей работы не нужные области поверхности планеты Земля.
- 2) Далее выделяются 3 определенных снимка с помощью функции «Connect». Этой опцией определяют спектральные диапазоны будущего композитного изображения.

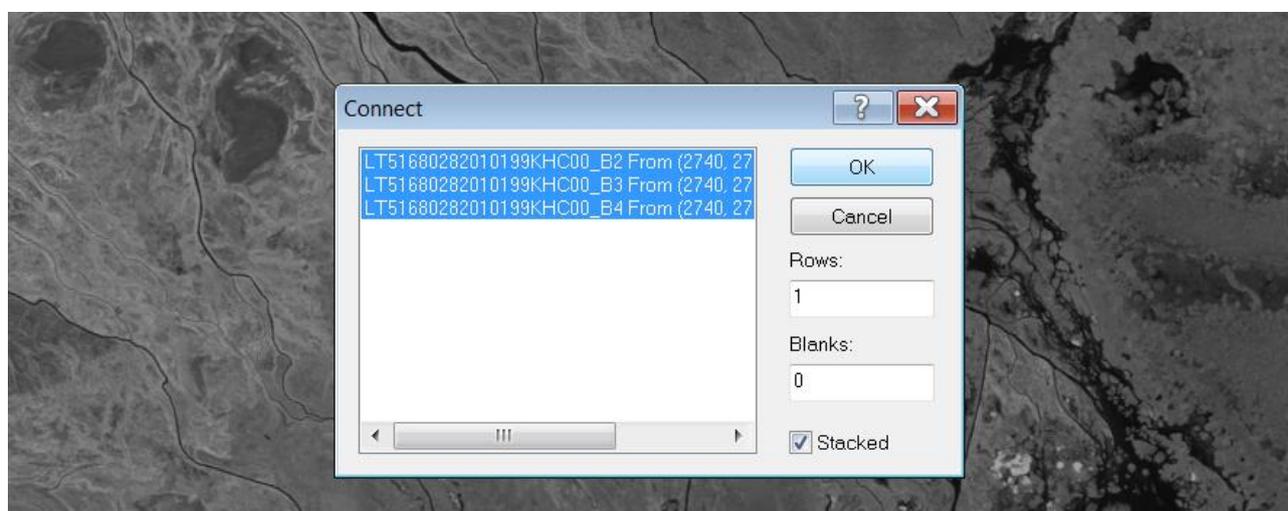


Рисунок 7 – Вкладка «Connect» в программе Vilko для соединения изображений в разных спектральных каналах.

3) В выпадающем меню «Selector» выбирается номер канала, который будет первым (Рисунок 8). Например, если мы рассматриваем группировку каналов «4,3,2», то первым выбирается канал «4». После этого действия нажимаем на клавиатуре клавишу «1». Этот канал в последовательности становится первым. Процесс заключается в том, чтобы сделать активным нужный канал и нажать на клавишу «1», «2» или «3» в зависимости от того, какое место будет занимать этот канал в последовательности.

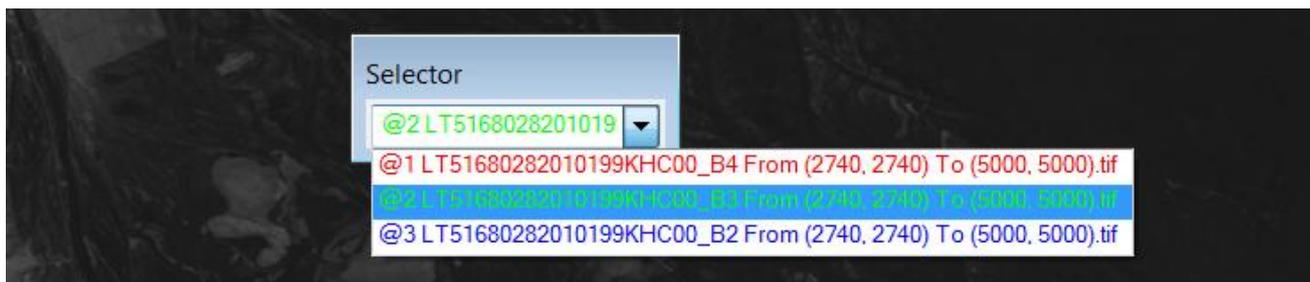


Рисунок 8 – Вкладка «Selector».

4) Затем в меню выбираем «Image» → «Composite». Таким образом, мы получили композитное изображение. Например, для композита «4,3,2»: изображение станет темно-красным, (рисунок 9 слева). Такой вид фотографии называется “псевдоцветом”. Через автолинейное контрастирование (Auto Linear) можно получить изображение, которое проще воспринимается человеческим глазом (рисунок 9 справа).

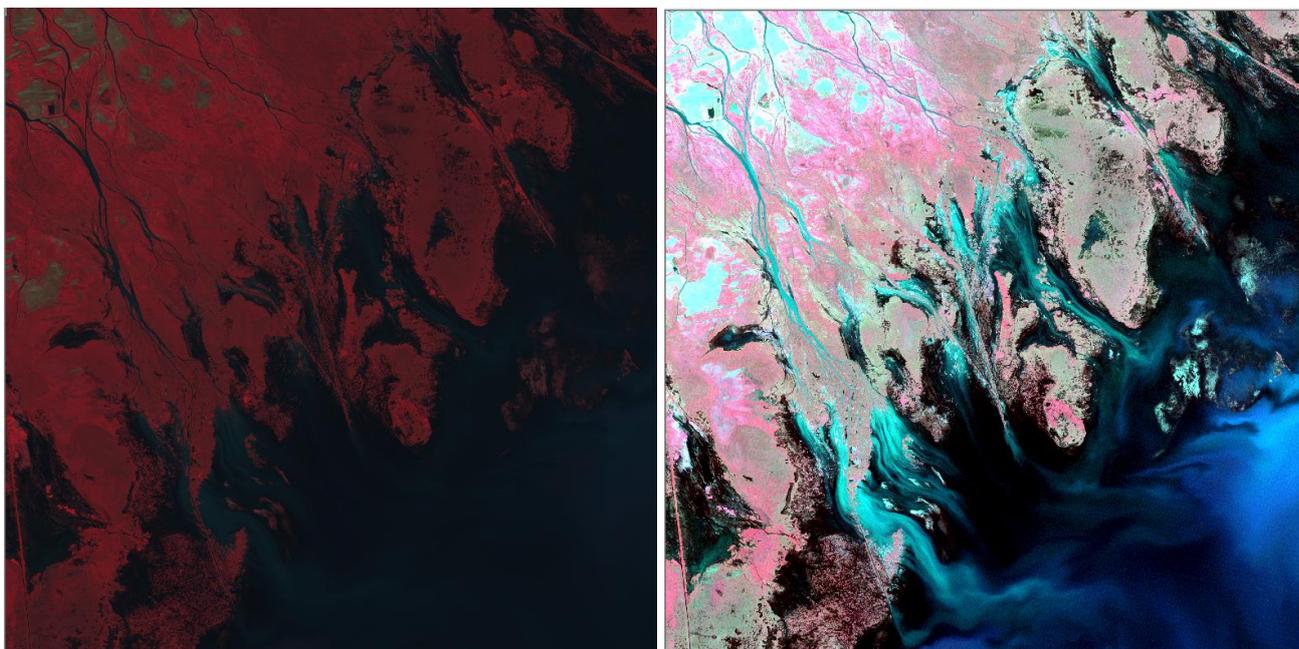


Рисунок 9 – Композитное изображение: слева – до контрастирования, справа – после контрастирования.

5) По такому принципу определяются остальные “псевдоцвета”. В данной дипломной работе таким образом были получены изображение за 2009 год.

Стоит отметить, что автолинейное контрастирование применяется не случайно. Происходит компенсация узкого диапазона яркостей, другими словами, данная процедура растягивает диапазон яркости, при этом делая переход между противоположными цветами более резким. Особенностью данной опции является то, что программа автоматически подбирает оптимальный диапазон отображения цветности (Рисунок 10).

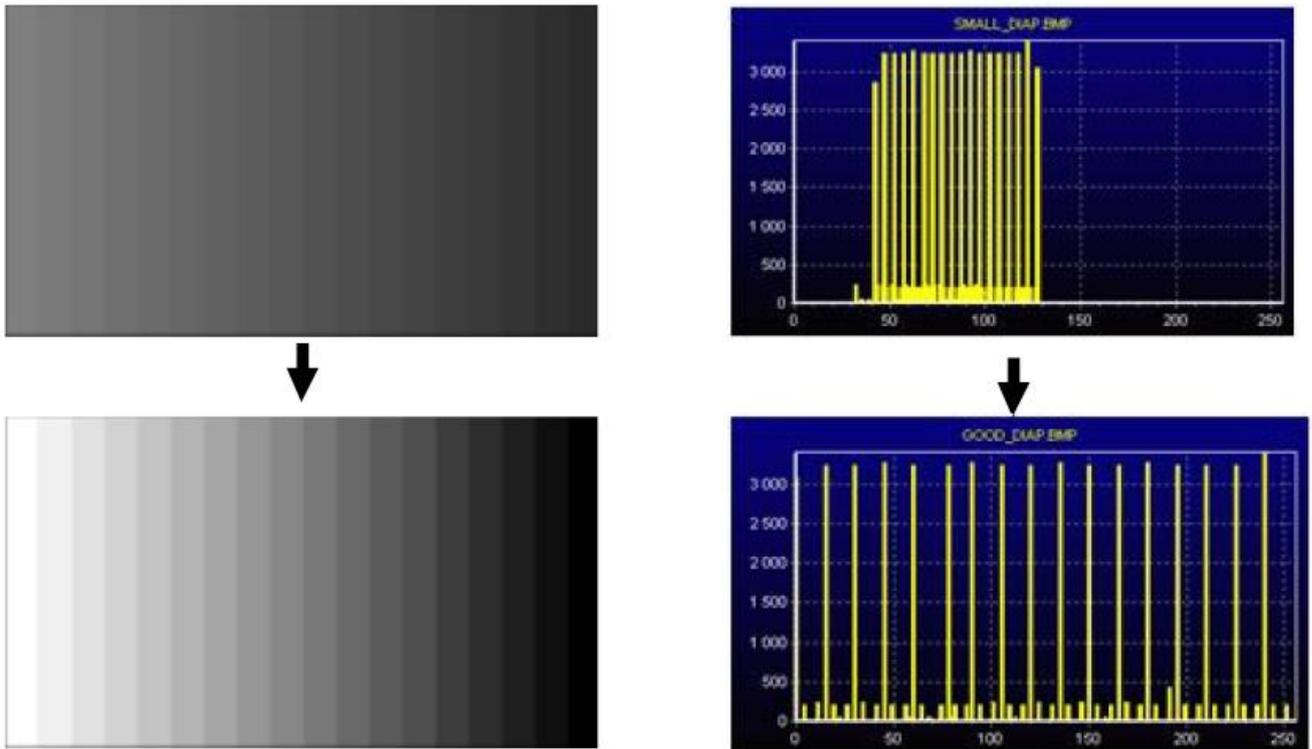


Рисунок 10 – Пример процедуры линейного растяжения гистограммы.

После линейного контрастирования четче отображаются видимые области различных оттенков и цветов. Такое улучшение получается благодаря использованию максимального динамического диапазона экрана после контрастирования, чего нет у исходного изображения.

В ходе работы в программе была использована географическая привязка спутниковых снимков. Это обязательный этап обработки полученных данных. Растр, полученный в результате космической съёмки, представляет собой только строки и столбцы ячеек. Для того чтобы иметь возможность использовать его для анализа совместно с другими данными (например, топографическими картами), растр и эти данные должны быть в общей системе координат. Следовательно, географическая привязка представляет собой процесс определения точного расположения растра на поверхности Земли, т.е. процесс соотнесения отдельных пикселей изображения с географическими координатами. Информация о географической привязке хранится либо внутри растровых форматов, либо в отдельных файлах (например, world-файлы, используемые для таких форматов, как JPEG, BMP, TIF) вместе с самим изображением.

Географическая привязка растра выполняется посредством задания опорных точек, координаты которых известны, как в системе координат растра, так и в системе координат реального мира. Для поставленных в работе задач привязка включала в себя координаты левого верхнего пикселя изображения, размер пикселей изображения по высоте и ширине. Привязку можно выполнить в программе Wilko. Для этого нужно сделать следующие действия:

- 1) Открыть в программе Wilko изображение «.tiff» 5 канала за 2009 год.
- 2) Открыть окно «Edit» → «Coords». После этого на экране отобразится вкладка (Рисунок 11).

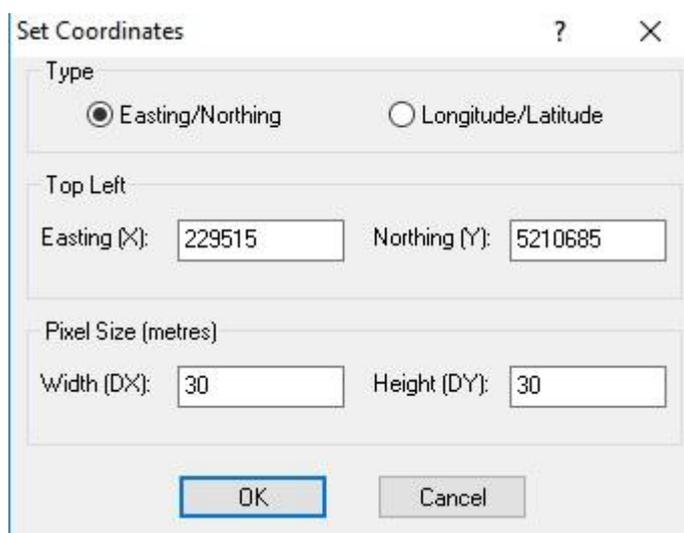


Рисунок 11 – Вкладка для установки координат верхнего левого угла сцены.

- 3) Затем в информационном текстовом файле нужно скопировать координаты и вставить в соответствующие поля окна «Coords».
- 4) Эту процедуру нужно повторить с каналами 5 за 2010 и 2011 года.
- 5) Все полученные файлы с изменениями сохраняются в формате «.bmp».

Дальнейшая работа с полученными файлами производится в программе Photo Studio – редакторе обработки изображений.

### 2.2.3 Программный пакет Photo Studio. Получение четкого контура

ArcSoft PhotoStudio – многофункциональный пакет для редактирования цифровых фотографий. В данной программе находится большая коллекция опций и инструментов для обработки и ретуширования изображений различного формата. PhotoStudio включает в себя множество различных фильтров, позволяет улучшать качество фотографий. Есть работа со слоями. С помощью нее можно обрабатывать и распечатать любые цифровые фотографии. Также редактор имеет больше 40 специализированных эффектов.

Для выделения границы береговой линии на снимках в 4 и 5 каналах был использован эффект «Contour» (Рисунок 12).

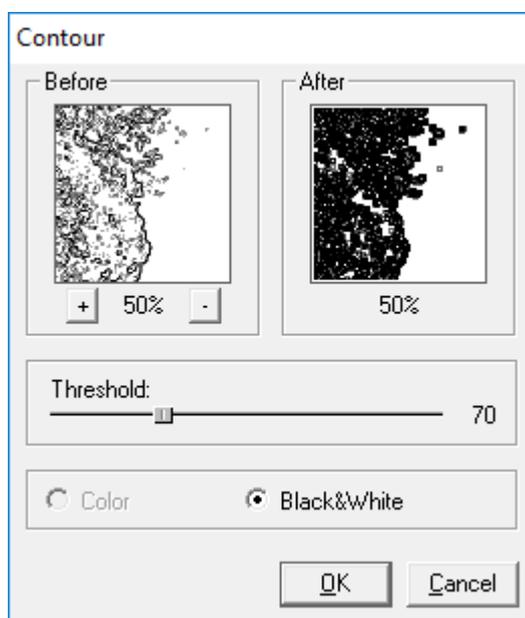


Рисунок 12 – Вкладка для определения контуров.

Фактически данная процедура является аналогом направленной фильтрации, в ходе которой выбирается наибольший градиент по трём направлениям в локальных областях изображения. На основании этого программой выбираются самые сильные градиенты, т.е. алгоритм четко распознает контрасты (Рисунок 13).

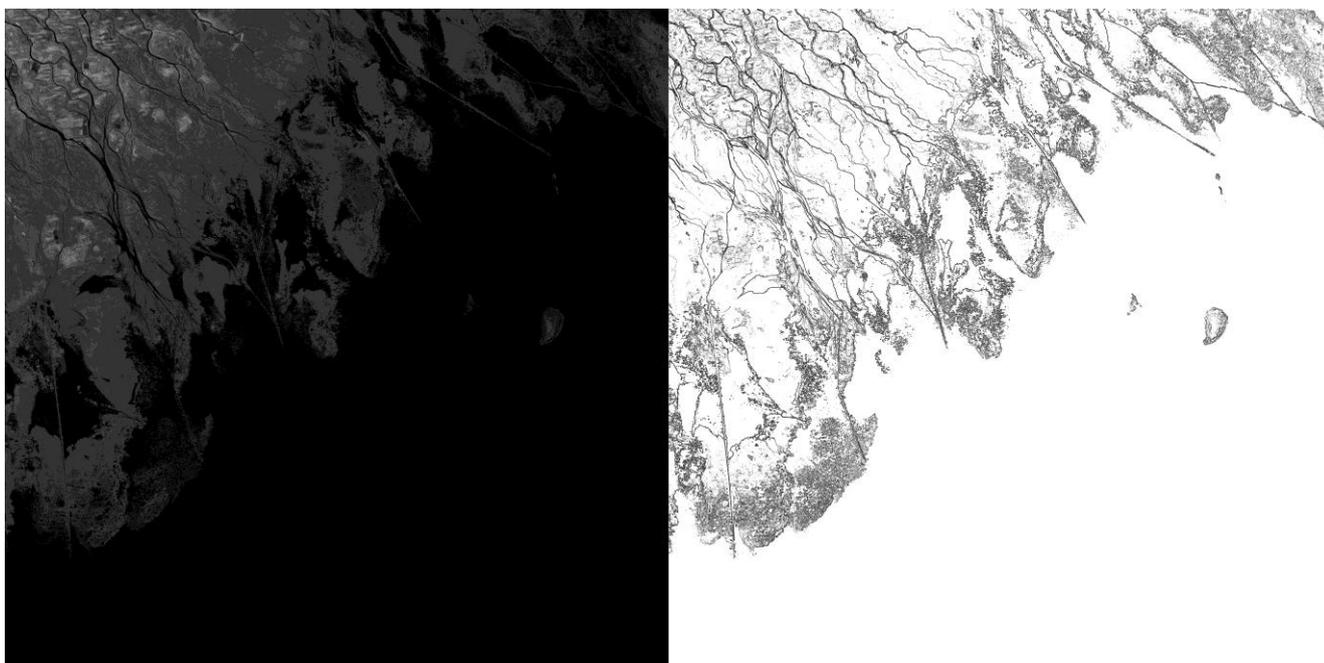


Рисунок 13 – Перевод 5 канала в контуры.

Таким образом, выделяются все линии, которые разграничивают сушу и водную поверхность, а также любые другие объекты на твердой поверхности. Для того чтобы фильтрация была наиболее точной выбирается именно пятый канал фотоснимка, так как он обеспечивает наиболее качественное и четкое отображение суша-вода.

#### **2.2.4 Графический редактор Adobe Photoshop. Наложение изображений**

Adobe Photoshop - многофункциональный графический редактор, разработанный и распространяемый фирмой Adobe Systems. В основном работает с растровыми изображениями, однако имеет некоторые векторные инструменты.

После того как из 5-ых каналов снимков получены контурные изображения (за 2009, 2010 и 2011 годы), необходимо произвести сравнение данных изображений. Для этого был использован программный пакет Adobe Photoshop. Первым делом контуры каждого изображения должны иметь разный цвет. Для этого использовался инструмент «Magic Wand Tool». Отключив параметры «Anti-Alias» и «Contiguous» и установив «Tolerance» в нулевое

значение, были выделены все видимые контуры. После этого была произведена цветовая заливка инструментом «Paint Bucket Tool». Такая операция в дальнейшем упрощает работу в сравнении снимков. В итоге были получены три рисунка с контурами разного цвета (Рисунок 14).

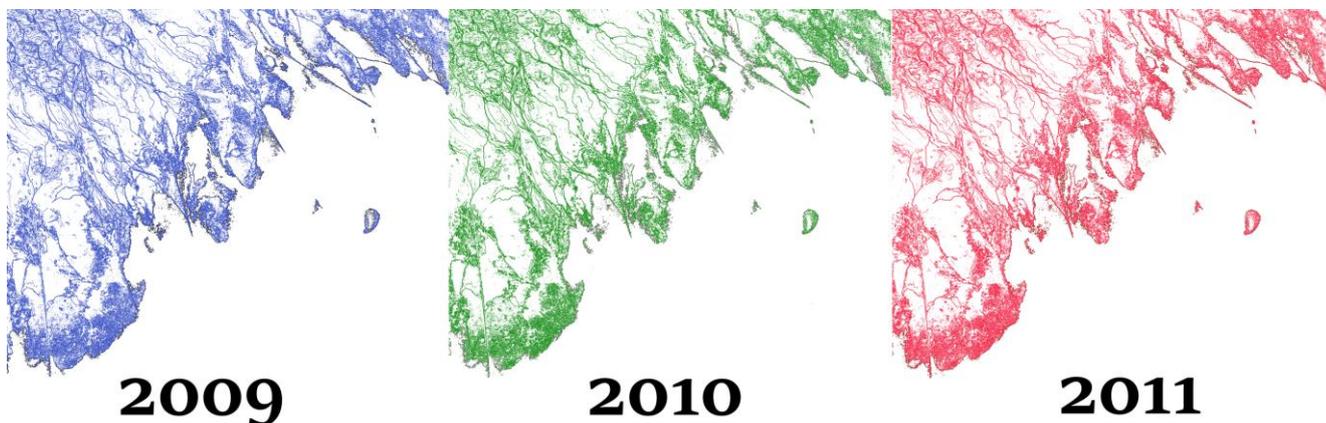


Рисунок 14 – Задание цвета контурам.

Также было использовано негативное отображение только морской поверхности. Вся суша была исключена. Такая процедура была необходима для упрощения визуального восприятия при подсчете пиксельного различия снимков (Рисунок 15).

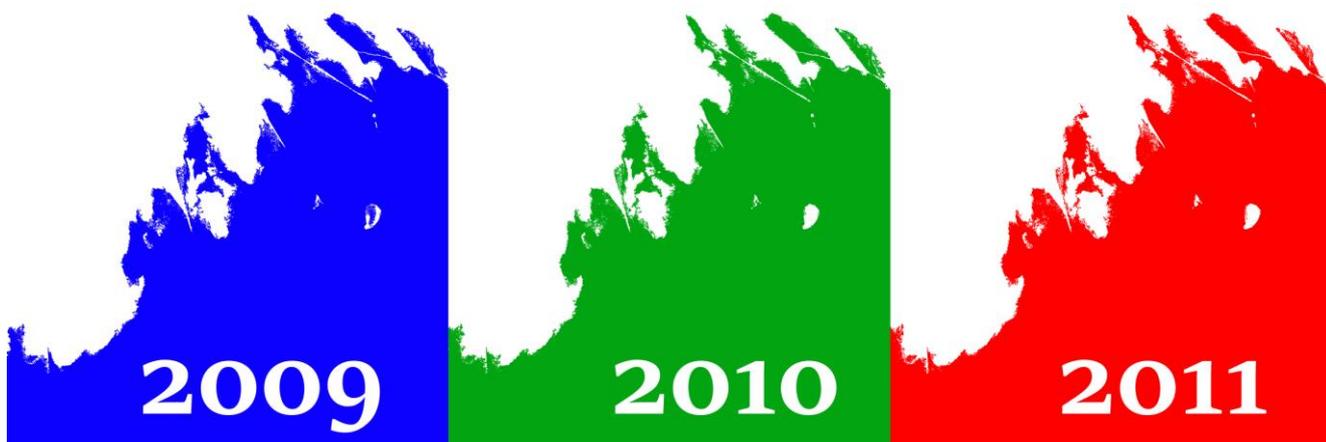


Рисунок 15 – Заливка цветом водной поверхности.

Стоит отметить, что все изображения имеют лишь точное двухцветное отображение: белый цвет и моноцвет соответствующий каждому году (rgb(0,0,255), rgb(1,164,17) и rgb(255,0,0)). Нет ни переходных цветов, ни

полупрозрачных оттенков. Такая особенность важна для точного определения пиксельного значения определенного цвета (Рисунок 16).

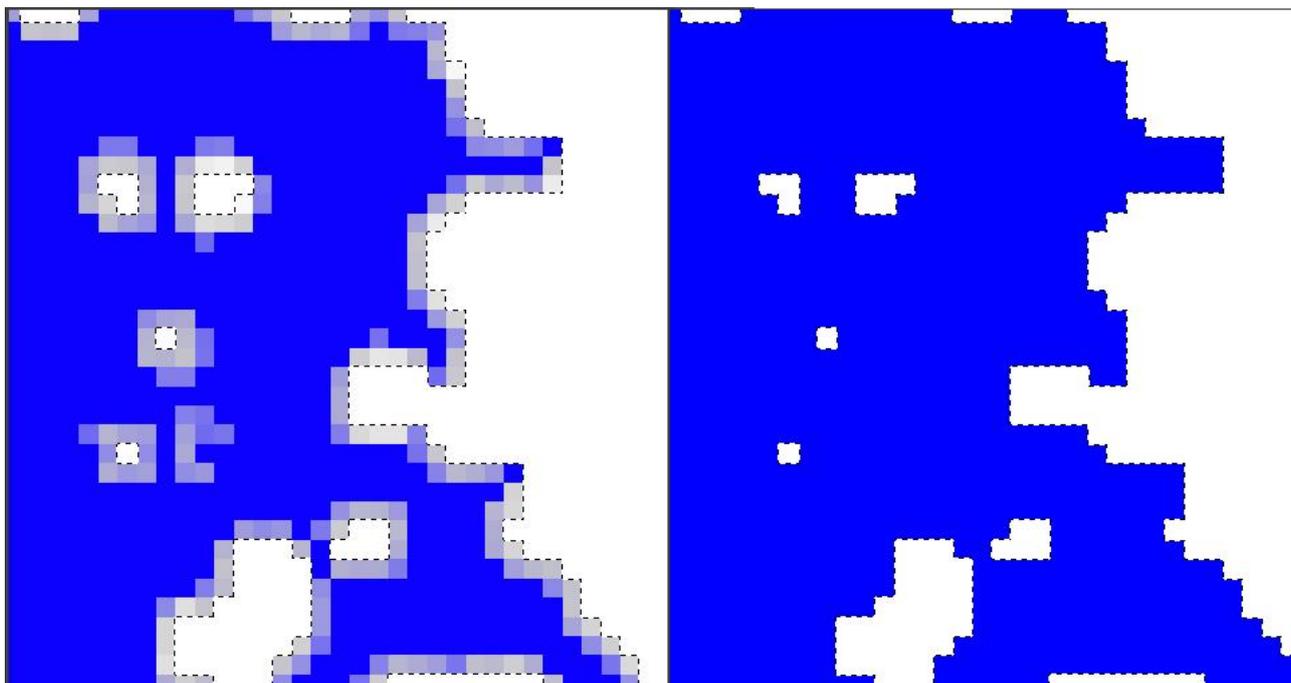


Рисунок 16 – Цветовая коррекция пикселя.

Следующим этапом является попарное наложение снимков друг на друга. Здесь важным будет являться правильное совмещение изображений. Хотя снимки имели привязку к координатам, это не избавляет от погрешностей, поэтому при совмещении может получиться эффект размытия, т.к. смещение снимка хотя бы на 1 пиксель влечет за собой нечеткость отображения картинки. В таком случае необходимо провести процедуру выравнивания вручную. От этого зависит дальнейшее качество эксперимента. Данный этап лучше предварительно проверять и проводить до цветовой коррекции, т.к. явность совмещения будет заметна сразу. Всего получится 3 изображения. Нужно отметить, что в нижнем слое будет располагаться то изображение, которое будет иметь пиксельное преимущество выбранного ему цвета (Рисунок 17).

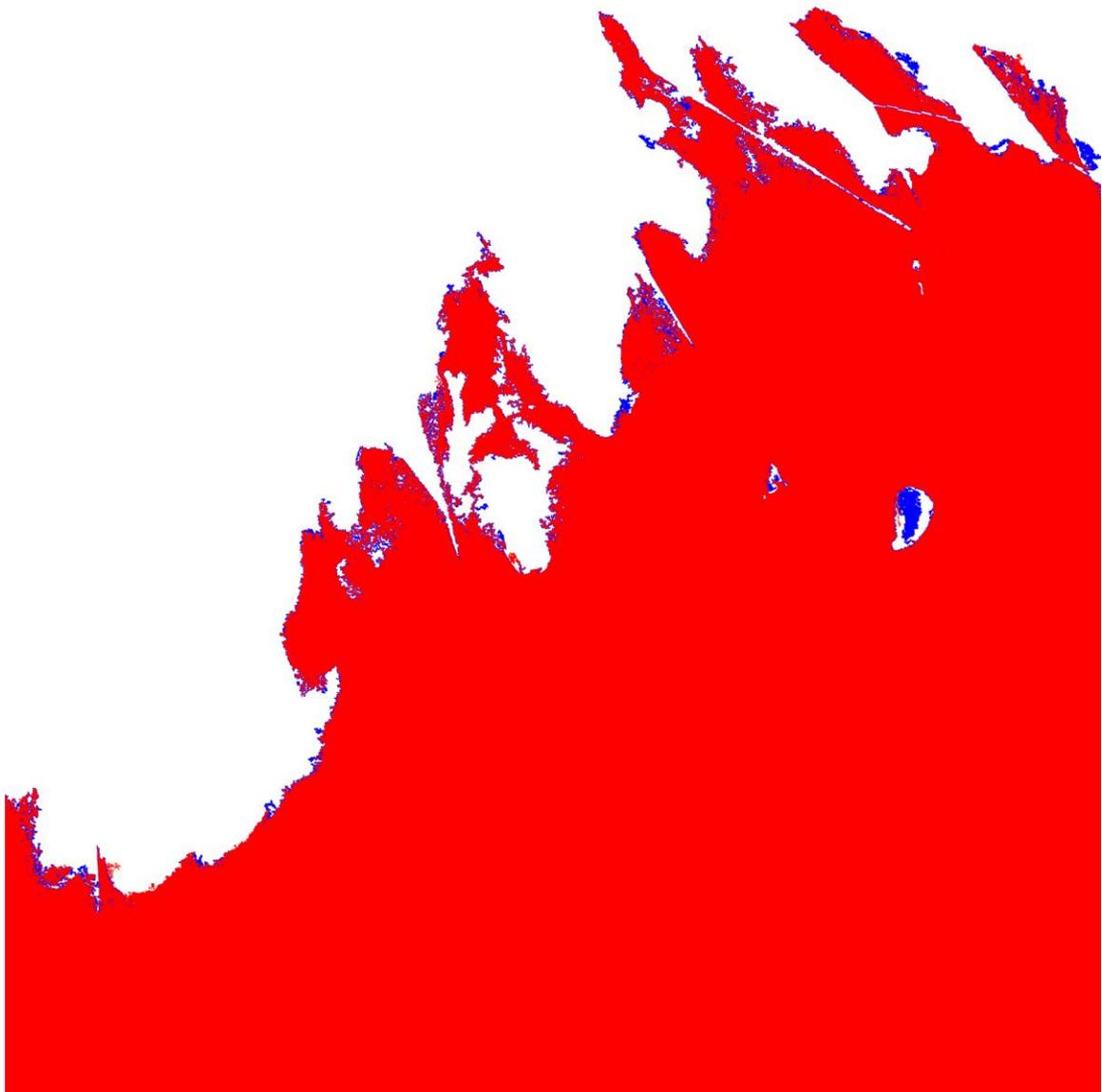


Рисунок 17 – Наложение изображений.

Последним этапом всего эксперимента является подсчет Разницы пикселей в снимке. Важной особенностью является то, что мы считаем разницу пикселей именно береговой линии и поэтому не рассматриваем водную поверхность самой дельты реки Волги. Для подсчета пикселей необходимо объединить слои и снова применить инструмент «Magic Wand Tool». Нажав в данном примере на любой синий пиксель, выделятся все такие же синие, с учетом того, что настройки останутся не измененными (Рисунок 18).

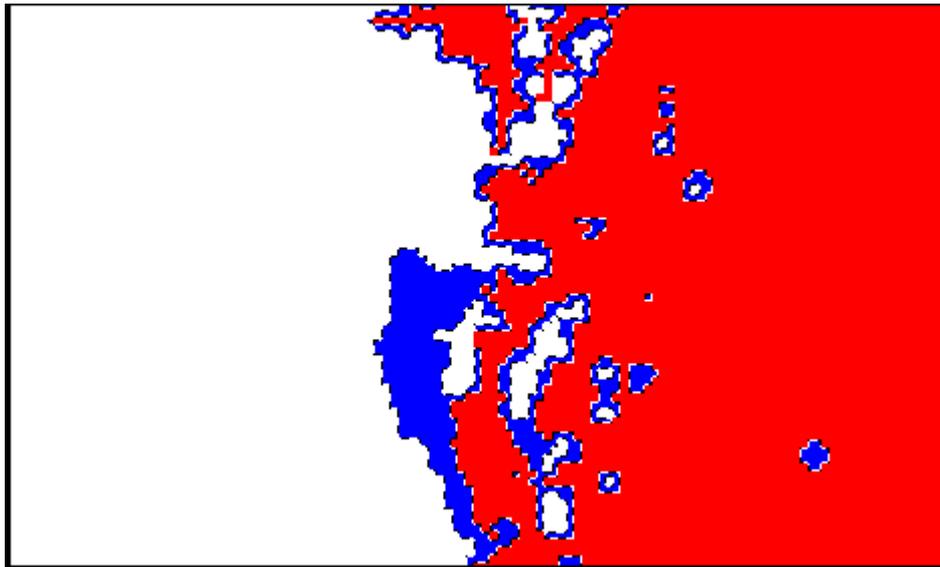


Рисунок 18 – Выделение пикселя нужного цвета.

После этого переходим в окно Histogram и смотрим на получившееся значение (Рисунок 19).

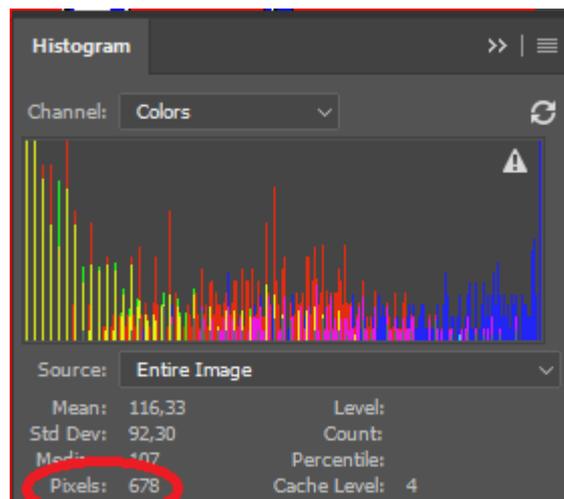


Рисунок 19 – Количество пикселей.

Стоит уточнить, что изменив порядок слоев, мы можем определить обратный эффект, затем вычесть из одного результата второй и узнать истинное расхождение изображений. Таким образом, будет подсчитана береговая площадь, которая со временем либо исчезла, либо, наоборот, появилась. Для полного эксперимента будет сделано 6 таких изображений – для каждой пары лет по 2.

### **3 Анализ динамики береговой линии Каспийского моря с помощью методов обработки снимков спутника Landsat 5**

#### **3.1 Исходные данные для исследования береговой линии Каспийского моря**

В качестве исходных данных были использованы следующие ресурсы:

1). Архивы («.jar») снимков («.tiff») спутника Landsat-5, которые были скачаны с сайта <http://earthexplorer.usgs.gov> .

В рамках дипломной работы были выбраны снимки 15 июля 2009 года, 18 июля 2010 года и 21 июля 2011 года. Выбрать снимки с одинаковым календарным днем было невозможно, т.к. мешали внешние факторы (отсутствие снимков за выбранную дату или плохое отображение поверхности из-за присутствующей на снимке облачности). На рисунке 20 представлен космический снимок выбранного района исследования.

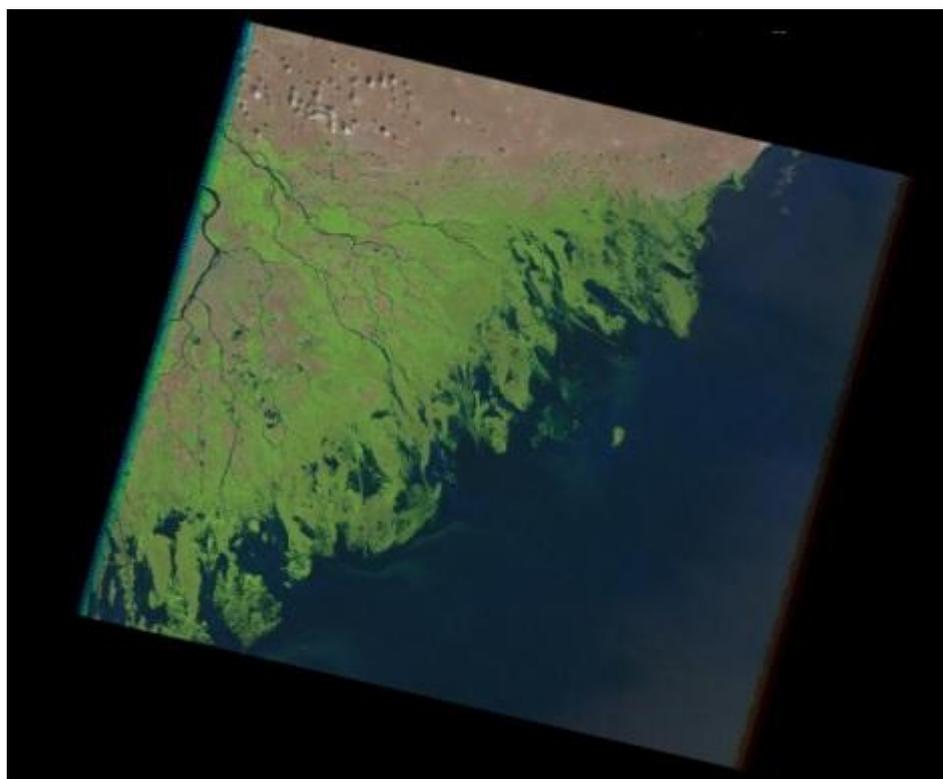


Рисунок 20 – Спутниковое изображение выбранного района.

- 2). Программа UNESCO Wilko (была задействована для обрезания цветовых диапазонов размером 2261x2261 пикселей и для их совмещения в композитные изображения с применением автолинейного контрастирования).
- 3). PhotoStudio 5 – программа для дальнейшего редактирования и фильтрации спутниковых снимков.
- 4). Adobe Photoshop – графический редактор для обработки изображений.

## **3.2 Анализ полученных результатов.**

### **3.2.1 Анализ композитных изображений**

В ходе исследования были получены композитные изображения области дельты реки Волги и прилегающей к ней береговой линии Каспийского моря. Снимки были взяты за 3 года: 15 июля 2009 года, 18 июля 2010 года и 21 июля 2011 года

Композитные снимки были реализованы с помощью наложения следующих спектральных диапазонов: «4,3,2», «3,2,1», «4,5,1», «4,5,3», «5,3,1», «5,4,1», «5,4,3», «7,4,2», «7,5,3», «7,5,4».

На данных изображениях в зависимости от выбранных диапазонов выделяются отдельные элементы, которые как раз соответствуют этим диапазонам.

Стоит отметить, за что отвечает каждый канал, и в каком разрешении он обрабатывается сканером ТМ спутника Landsat 5. Таким образом, мы установим соответствие между фотографией и выделенными элементами на ней, а также визуально сможем определить изменение количества цвета и его расположения за 3 года.

Канал 1: спектральный диапазон 0.45-0.515мкм; разрешение съемки – 30м на пиксель.

Чувствительность к темно-синим цветам и преимущественно к фиолетовым. Синий цвет сложно определять из космического пространства. Причиной этому служит хорошее рассеивание на частичках пыли и воды в атмосфере, а также на

этих же молекулах воздуха. Это одна из особенностей данного диапазона, так как, например, благодаря ей элементы на большом расстоянии от точки наблюдения приобретают голубой оттенок, а небо по этой причине именно голубого цвета. Этот канал называют побережным или еще аэрозольным.

Типы применения: видимость мелководья и частичек пыли, дыма в воздушном пространстве. Изображение в диапазоне 1 почти такое же, как и во 2-ом канале, но благодаря изменению контрастности можно увидеть различия.

Каналы 2: спектральный диапазон: 0.525 -0.605мкм; разрешение съемки – 30м на пиксель. Синий цвет.

Канал 3: спектральный диапазон 0.63-0.69мкм; разрешение съемки – 30м на пиксель. Зеленый цвет.

Канал: 4: спектральный диапазон 1.45-1.75мкм; разрешение съемки - 30м на пиксель. Красный цвет.

При совмещении каналов 2, 3 и 4 можно отметить, что получится «псевдоцвет», который будет близок к естественным.

Канал 5: спектральный диапазон 0.45-0.515мкм; разрешение съемки – 30м на пиксель. Ближний ИК (Инфракрасный цвет англ. Near Infrared). Данный спектр очень важен для экологических сообществ, так как именно он представляет зеленую растительность. Обычно этому диапазону соответствуют яркие цвета в виде пятен, которые указывают на густоту зеленых растений.

Канал 6: спектральный диапазон 10.4-12.5мкм; разрешение съемки – 120м на пиксель. Это дальний инфракрасный канал.

Тепловое ИК (TIR - thermal infrared) – данный диапазон служит для отражения теплового излучения. Благодаря такой возможности измеряется не температура атмосферы, а температура земной поверхности земли.

Канал 7: спектральный диапазон 2.09-2.35мкм; разрешение съемки 30м на пиксель. Покрывают разные участки коротковолнового ИК или SWIR (shortwave infrared). С помощью него определяется влажность земли, а также различать различные скальные породы и участки почвы. В случае если они похожи на

других диапазонах, то в этом диапазоне (SWIR) отличие будет обнаружено. SWIR часто используется вместо красного спектрального диапазона (канала).

Зная, за что отвечает каждый канал, можно уже предполагать, что будет получаться, если накладывать те или иные каналы друг на друга. Теперь нужно конкретизировать наши наблюдения и объяснить, что изображается на тех или иных композитных фотографиях.

Рассмотрим подробно композитные изображения за 2009 год.

Далее (Рисунки 21, 22, 23, 24) приведены четыре композитных изображения.

Композитные изображения «4,3,2», «3,2,1», «7,5,3» и «7,5,4» представлены ниже: без контрастирования - слева и эти же снимки после автолинейного контрастирования - справа (остальные, в том числе и за 2010 и 2011 года смотреть в приложении 1):

1) Композитное изображение «4,3,2».

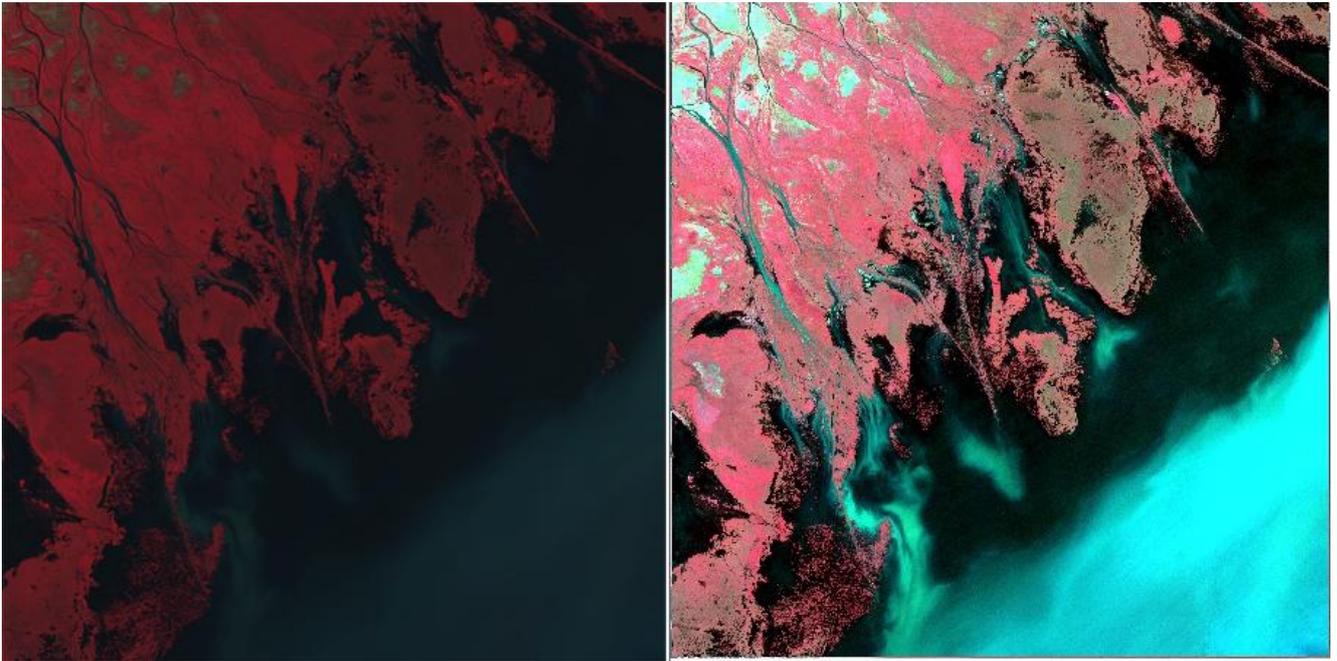


Рисунок 21 – композитное изображение «4,3,2» (слева); композитное изображение «4,3,2» с автолинейным контрастированием (справа) июль 2009 год.

Самая обычная комбинация «псевдоцвета». Поверхность, покрытая растительностью, отображается в красных оттенках, тогда как постройки цивилизации изображены в виде зелено-голубого смешения. Почва имеет темно и светло-коричневые оттенки. Снежные и ледяные покровы, а также различные облака отображаются совершенно белыми или светловато голубыми. Леса с преобладанием хвойных деревьев будут выглядеть темно-красными, иногда коричневыми в сравнении с лиственными. Эта комбинация является одной из самых распространенных и часто используемых. Она служит для анализа состояния растительных областей, мониторинга дренажа и проверки почвенной целостности. Оттенки темно красного цвета служат показателем здоровой зеленой фауны, тогда как зелено-голубые цвета свидетельствуют об антропогенных объектах. На таком композитном изображении береговая линия отображена недостаточно четко, для того чтобы построить четкий контур берега.

Особенностью будет являться то, что каналы дельты реки Волги проглядываются очень хорошо.

2) Композитное изображение «3,2,1».

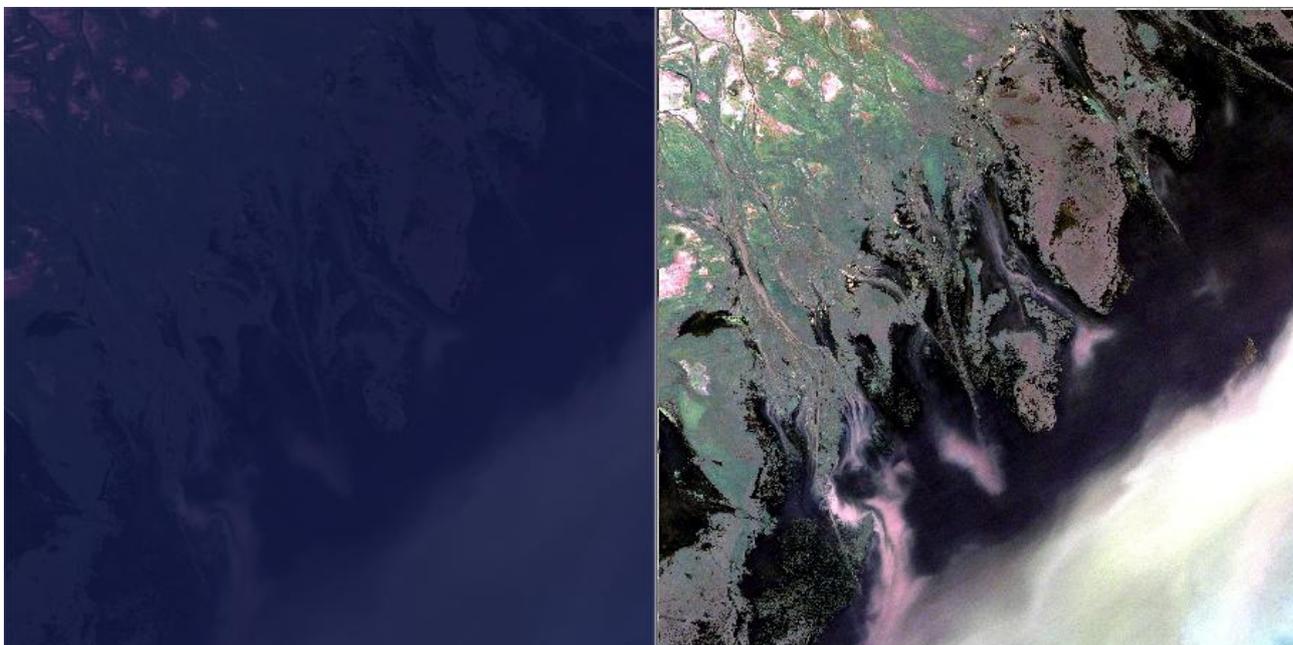


Рисунок 22 – композитное изображение «3,2,1» (слева); композитное изображение «3,2,1» с автолинейным контрастированием (справа) июль 2009 год.

Комбинация каналов: “естественные цвета». Такая группа каналов дает нам изображение только в видимом диапазоне цветов и оттенков. Таким образом, картинка будет практически такой же, как на обычной повседневной фотографии, которую правильно воспринимает человеческий глаз, то есть площадь покрытая растительностью будет зеленого цвета, пустыни – желтого и светло-коричневого оттенка, снега и льды – белыми или голубо-синими, дорожная инфраструктура – серого цвета, а береговые линии – серовато-белесыми. Эта комбинация цветов хорошо подходит для оценивания водных объектов и их глубины, объекты, созданные человеком также хорошо различимы на таком типе изображениях. Минусом будет являться то, что снег и различного вида облака сливаются и их не отличить друг от друга. Сложно классифицировать растительность по видам. На

данного типа комбинации каналов сложно найти четкую границу между землей и поверхностью мелководья (Рисунок 14).

### 3) Композитное изображение «7,5,3».

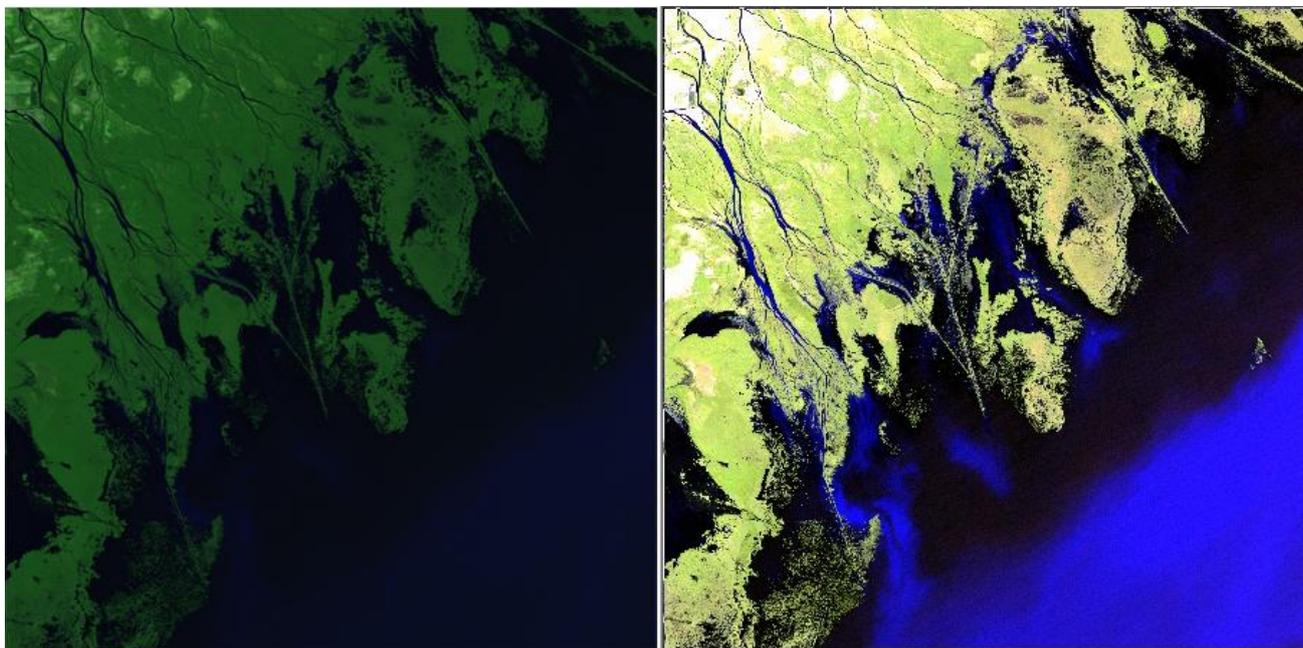


Рисунок 23 – композитное изображение «7,5,3» (слева); композитное изображение «7,5,3» с автолинейным контрастированием (справа) июль 2009 год.

Данная комбинация каналов передает цвета близкие к естественным, но с помощью нее можно анализировать атмосферу и находящийся в ней дым. Поверхность, покрытая растительностью, отображается в оттенках – от темно до светло-зеленых, территории с антропогенными объектами – белого цвета. Хорошо выделяются посёлки Тишково, Зеленга, Цветное. Особенностью будет являться то, что излучение в среднем ИК-диапазоне очень хорошо поглощается снегом водой и льдом, поэтому между берегом и морем прослеживается достаточно четкая граница. Мелководья отображаются темно-синими или даже почти что черными. На изображении очень чётко выделяется река Бушма, приток Волги.

На композитном изображении Каспийского моря хорошо различима береговая линия, это объясняется тем, что в данной комбинации присутствует 5 канал, который как раз положительно влияет на отображение береговой линии.

4) Композитное изображение «7,5,4».

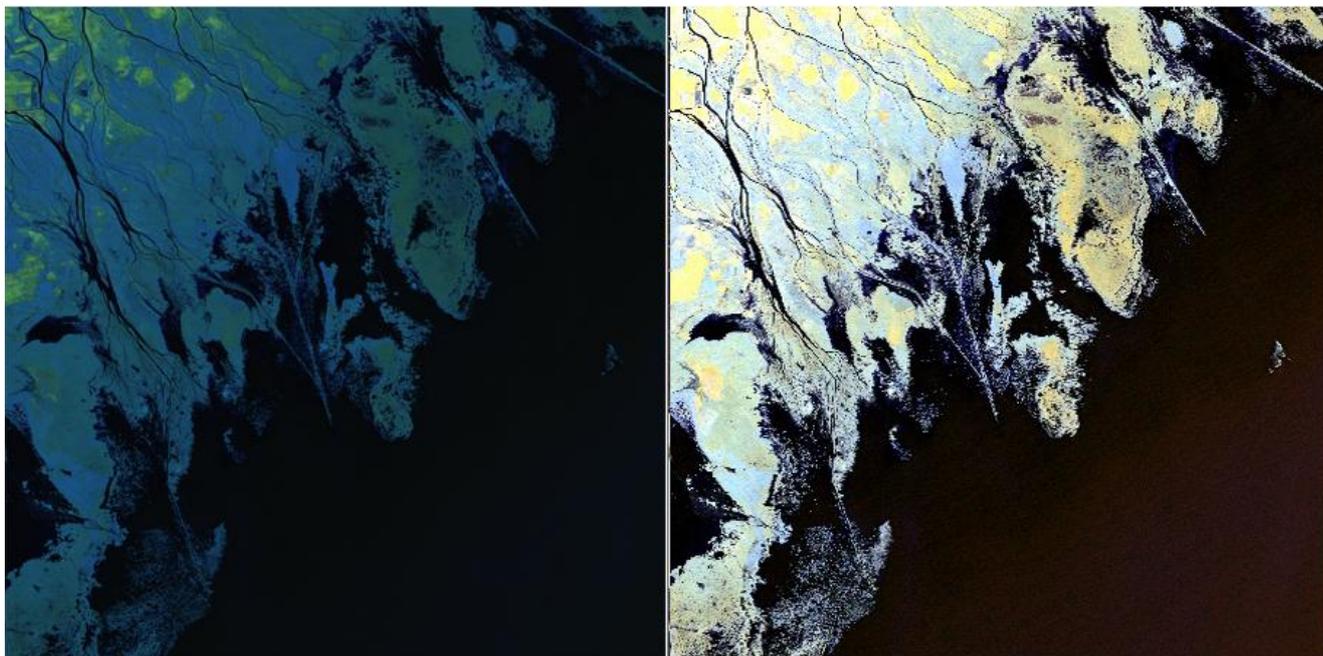


Рисунок 24 – композитное изображение “7,5,4” (слева); композитное изображение “7,5,4” с автолинейным контрастированием (справа) июль 2009 год.

Композитное изображение с каналами «7,5,4» также будет хорошо отображать границу между берегом и водной поверхностью. Минусом будет являться то, что на такой картинке плохо отображен переход от мелководья к глубинам из-за тёмного цвета воды. Такую комбинацию чаще применяют для анализа состояния атмосферы.

Проанализировав несколько композитных изображений, можно заключить вывод, что для выявления четкой границы береговой линии подходят те композитные изображения, в которых присутствует пятый канал. Это связано с тем, что ближнее инфракрасное излучение поглощается водой, тогда как земная поверхность его отражает. Проведённый анализ показал, что применение композитных изображений с каналом ближнего ИК позволит точнее выделить положение береговой линии Каспийского моря на снимках дискретностью в один год.

### 3.2.2 Анализ динамики береговой линии Каспийского моря по совмещенным изображениям за разные годы

Учитывая, что совмещение изображений считается весьма трудоемким процессом, были получены достаточно точные результаты.

Было получено 6 совмещенных изображений (Рисунок 25, Рисунок 26 и Рисунок 27).

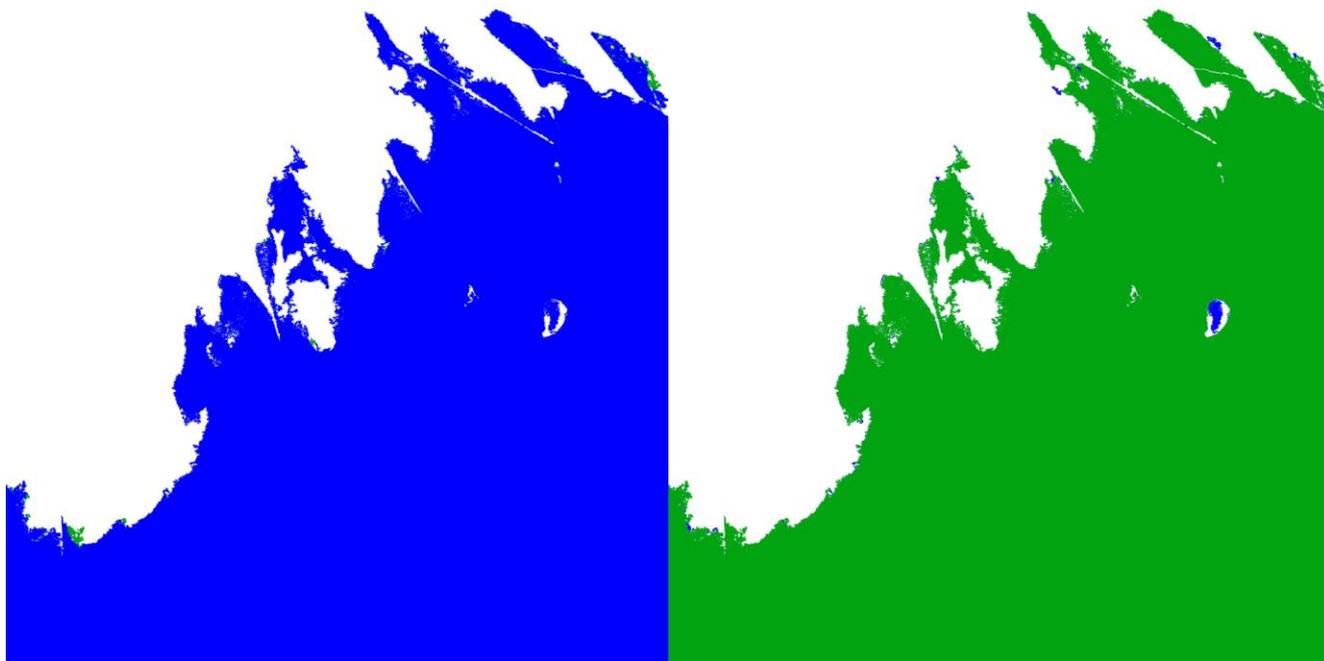


Рисунок 25 – наложение изображения 2009 на 2010 (слева); 2010 на 2009 (справа).

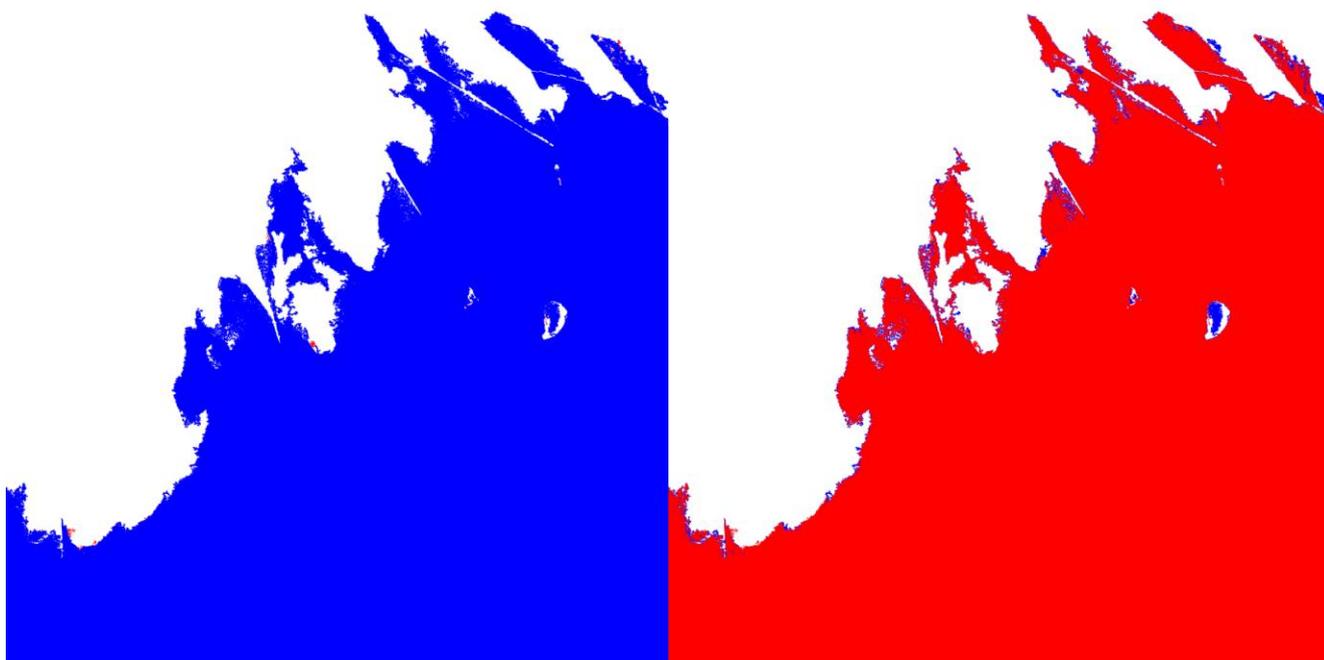


Рисунок 26 – наложение изображения 2009 на 2011 (слева); 2011 на 2009 (справа).

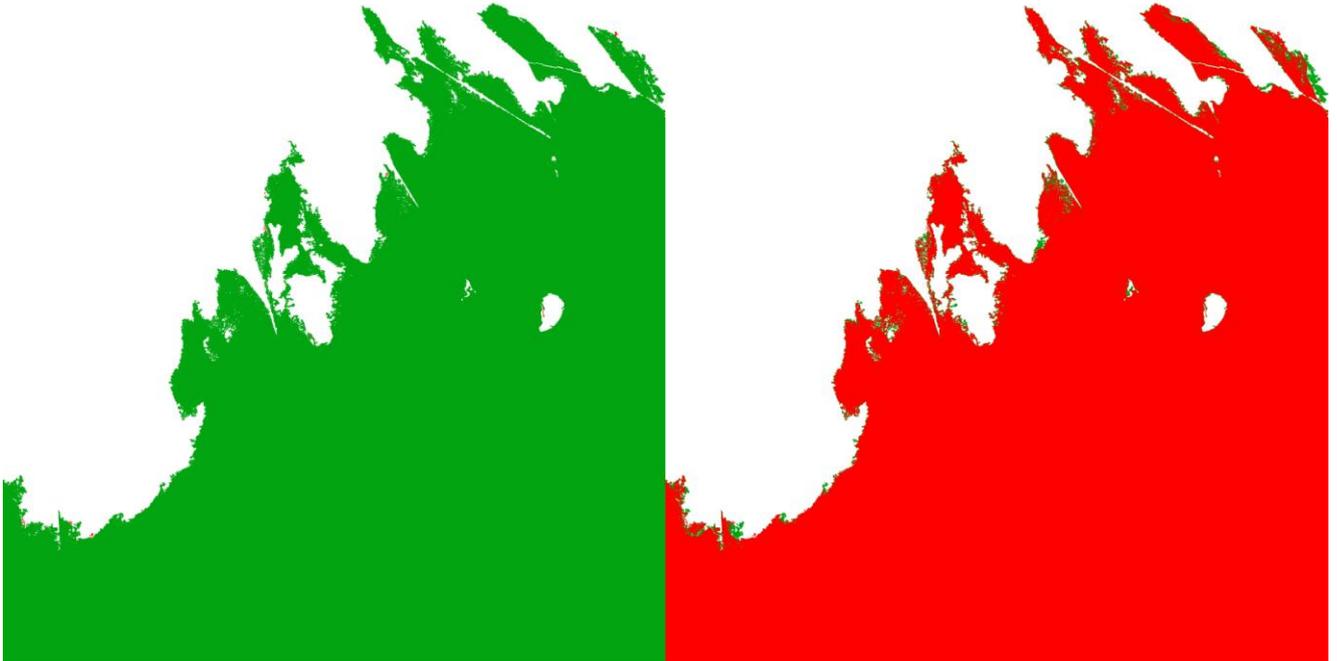


Рисунок 27 – наложение изображения 2010 на 2011 (слева); 2011 на 2010 (справа).

В начале дипломного проекта было указано, что 1 пиксель снимка, сделанного со спутника Landsat 5, равен площади 30 на 30 метров. Ширина каждого изображения равна 3317 пикселей, иначе ширина изображения равна 99510 реальным метрам или приблизительно 99,5 километрам. Высота 3379 пикселей – 101370 метров или приблизительно 101 км. Площадь в пикселях составила 11208143 пикселей. При этом длина внешнего берега, не включая внутренние берега полуостровов и берегов русел дельты, составила около 863 км, такой расчет был сделан с помощью добавления контура земной поверхности шириной в 1 пиксель, после чего было подсчитано общее количество пикселей в контуре и умножено все на 30 метров.

Такая оценка не самая точная, поскольку не исключен вариант использования как больше одной стороны пикселя, так и наоборот – ни одной стороны. Исходя из теории средних чисел, предположим, что все пиксели были задействованы одной стороной.

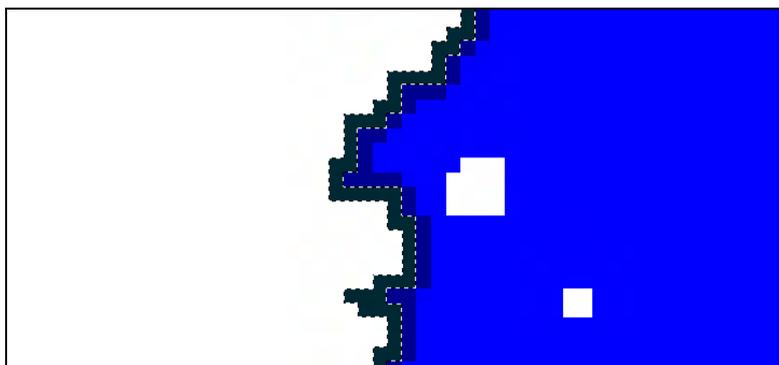


Рисунок 28 – подсчет длины береговой линии.

Преимуществом данного метода будет являться то, что это дает приблизительное представление о соизмеряемых величинах, а также тот факт, что расчеты произведены по спутниковому изображению.

При совмещении изображений 2009 года и 2010 года было подсчитано, что при наложении 2009-го на 2010 год были выделены 23135 пикселя, при совмещении 2010 с 2009 – 23.501 пиксель. При подсчете разницы получилось 366 пикселей или 329400 м<sup>2</sup>. Это весьма мало, учитывая такую длину берега. Можно сделать вывод, что за период с 2009 по 2010 год береговая линия Каспия не претерпела сильных изменений, а площадь Каспийского моря изменилась незначительно.

Совсем иной результат получился при совмещении изображений 2009 и 2011 годов. При наложении 2009 года на 2011 год получилось 4065 выделенных пикселей, зато при наложении 2011 года на 2009 год было выделено 114542 пикселя. Разница составила 110477 пикселей или 99429300 м<sup>2</sup>. Это уже достаточно заметный результат. В 2009 году площадь моря была больше, чем в 2011-ом. Исходя из этих данных, площадь Каспия стала меньше, а значит площадь прибрежной области – больше.

При сравнении 2010 и 2011 годов, была получена разница: 112371-2269=110102 пикселей или 99091800 м<sup>2</sup>. Разница близка к предыдущим результатам. Если сложить разницы 2009-2010 и 2010-2011, то получим результат близкий к 2009-2011: 366+110102=110468 пикселей – погрешность в 9 пикселей можно не учитывать.

### 3.2.3 Анализ результатов классификации без обучения

Классификации без обучения – это процесс, при котором распределение пикселей изображения происходит автоматически, на основе анализа статистического распределения яркости пикселей [14].

Следует отметить, что перед началом классификации неизвестно сколько, и каких объектов есть на снимке, а после проведения классификации необходимо дешифрование полученных классов, чтобы определить, каким объектам они соответствуют.

Таким образом, классификацию без обучения применяют в случае если:

- заранее неизвестно какие объекты есть на снимке;
- на снимке большое количество объектов (более 30) со сложными границами;
- также можно применять, как предварительный этап перед классификацией с обучением.

Автоматическая классификация обладает рядом достоинств, таких как высокая скорость обработки изображения, простота задания параметров классификации, и высокая точность распределения кластеров соответственно яркостным характеристикам изображения. Это позволяет классифицировать практически любое изображение достаточно наглядно.

Программный продукт Unesco Wilko применяет в автоматической классификации алгоритм ISODATA (IterativeSelf-OrganizingDataAnalysisTechnique – Итерационная самоорганизующаяся методика анализа данных) [14,15].

ISODATA – это процесс, который основан на кластерном анализе. К одному классу относятся пиксели, значения яркости которых наиболее близки в пространстве спектральных признаков.

Кластерами называют группы пикселей, схожие по яркости. Такие группы выделяются в результате классификаций разными методами и обычно называют классами.

В процессе кластеризации сравниваются расстояния между векторами яркости. Другими словами, векторы яркости пикселей, изображающих один объект (явление) на снимке должны находиться близко друг от друга в пространстве признаков. Поэтому кластеры формируются так, чтобы в каждом из них расстояние между векторами яркости (спектральное расстояние) было минимальным, а расстояние между векторами разных кластеров было максимальным. То есть данный пиксель изображения относится к тому кластеру, расстояние вектора яркости центра, которого до вектора яркости данного пикселя минимально.

Примером автоматической классификации без обучения, проведённой в *Wilko* может служить рисунок 29, где а – неклассифицированный снимок, б - классифицированный снимок. На рисунке 30 представлена гистограмма, построенная по классифицированному изображению.

а)

б)

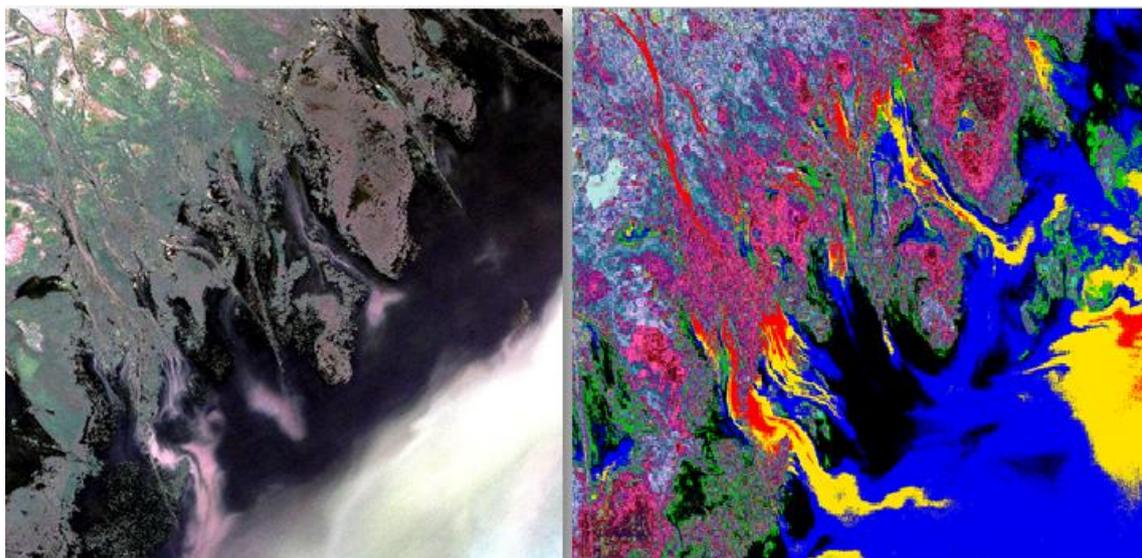


Рисунок 29 – Пример классифицированного изображения по 32 классам (справа) в сравнении с композитным изображением «3,2,1» (слева).

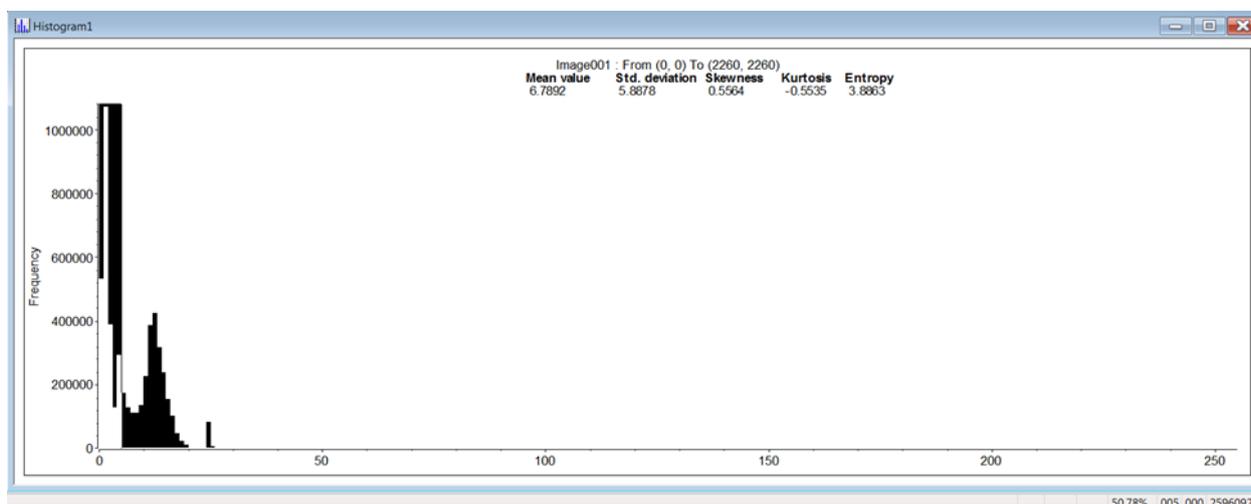


Рисунок 30 – Гистограмма классифицированного изображения.

По классифицированному изображению достаточно хорошо выделяются границы береговой линии, однако для уточнения типов подстилающей поверхности требуется дополнительный анализ с привлечением данных полевых наблюдений и фотосъёмки. По гистограмме совместно с классифицированным изображением можно также оценить примерную площадь водной поверхности по количеству пикселей.

## Заключение

В результате подсчетов было установлено, что длина береговой линии на период с 2009 года по 2011 год постепенно увеличивалась. Основное увеличение площади прибрежной области пришлось на период с 2010 года по 2011. Площадь моря за этот период уменьшилась на 99429300 м<sup>2</sup>. Полученные данные не противоречат данным представленным на рисунке 31 из работы [16].

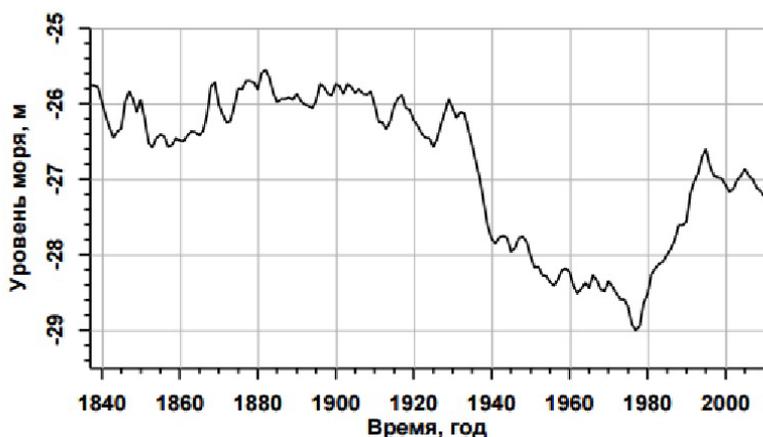


Рисунок 31 – Межгодовая изменчивость уровня Каспийского моря за период инструментальных наблюдений с 1837 по 2012гг.

С помощью изучения динамики береговой линии методом спутникового зондирования можно получить очень полезную информацию, которую можно комбинировать с данными, полученными в ходе полевых наблюдений, а также использовать, как альтернативу устаревшим сведениям о динамике береговой черты. Если новые данные имеют большие расхождения с историческими показателями, то это влечет за собой обязательное обновление различных топографических карт (масштабом до 1:10 000), в том числе и цифровых.

Исследуя динамику береговой линии, можно делать прогнозы по изменению прибрежной зоны (вплоть до долгосрочных). Состояния ледового и снежного покрова у берегов морей и океанов постоянно изменяется, все изменения можно отследить по снимкам со спутника.

Такой анализ может дать общую картину по состоянию и износу гидротехнических прибрежных сооружений;

Так же это способствует созданию современных цифровых моделей нового измененного рельефа или даже построению новых временных жилищ или сооружений.

## Список использованных источников

1. Кашкин В.Б., Сухинин А.И. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений: Учебное пособие. – М.: Логос, 2001. – 264 с.: ил
2. Лаврова О.Ю., Костяной А.Г., Лебедев С.А., Митягина М.И., Гинзбург А.И., Шеремет Н.А. Комплексный спутниковый мониторинг морей России. – М.: Издательство ИКИ РАН, 2011. – 480с.;
3. Кондратенков Г.С., Фролов А.Ю. Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли. Учебное пособие для вузов I Под ред. Г С. Кондратенкова. – М.: «Радиотехника», 2005. – 368с.;
4. Зуев В.Е. Креков Г.М. Метеорологическое зондирование атмосферы из космоса. – Л. Гидрометеиздат, 1978. – 280с;
5. Киенко Ю.П. Введение в космическое природоведение и картографирование. М.: Картгецентр - Геодезиздат, 1994. – 211с;
6. Каспийское море [Электронный ресурс] – Электронные текстовые данные. – Режим доступа: <http://stepnoy-sledopyt.narod.ru/geologia/kmore/berega1.htm>, свободный;
7. Шлямин Б. А. Каспийское море. – М.: Издательство Географгиз, 1954 – 128с;
8. Landsat (TM, ETM) [Электронный ресурс] – Электронные текстовые данные. – Режим доступа: [http://mapexpert.com.ua/index\\_ru.php?id=7&table=KA](http://mapexpert.com.ua/index_ru.php?id=7&table=KA), свободный;
9. AstroNews. Новости космоса [Электронный ресурс] – Электронные текстовые данные. – Режим доступа: <http://www.astronews.ru/cgi-bin/mng.cgi?news=3470&page=news>, свободный;
10. Landsat 5/7 (США) [Электронный ресурс] – Электронные текстовые данные. – Режим доступа: <http://www.scanex.ru/data/satellites/landsat-5-7/>, свободный;

11. The U.S. Geological Survey's (USGS). Earth [Электронный ресурс] – Электронные текстовые данные. – Режим доступа: <http://earthexplorer.usgs.gov/>, свободный;
12. Сычев, В.И., Эдвардс, А.Д. Введение в программное обеспечение для обработки спутниковых изображений. // Краткое руководство пользователя и примеры практического использования программных продуктов ЮНЕСКО – СПб.: ЮНЕСКО, - 2008 г., 96с.
13. Юнеско-Билко [Электронный ресурс] – Электронные текстовые данные. – Режим доступа: <http://www.poc.soton.ac.uk/bilko/>, свободный;
14. Метод классификации без обучения ISODATA. [Электронный ресурс] – Электронные текстовые данные. – Методы классификации. – Режим доступа: <http://www.nrcgit.ru/aster/methods/isodata.htm> , свободный;
15. Классификация без обучения. [Электронный ресурс] – Электронные текстовые данные. – Обработка данных ДЗЗ – этапы обработки. – Режим доступа: [http://mapexpert.com.ua/index\\_ru.php?table=Menu&id=26](http://mapexpert.com.ua/index_ru.php?table=Menu&id=26) , свободный.
16. Лебедев С.А. Спутниковая альтиметрия Каспийского моря.: Автореф. дис. д. физ.-мат. н.: Специальность 25.00.29. – М., 2014. – 46с.

## Приложение 1

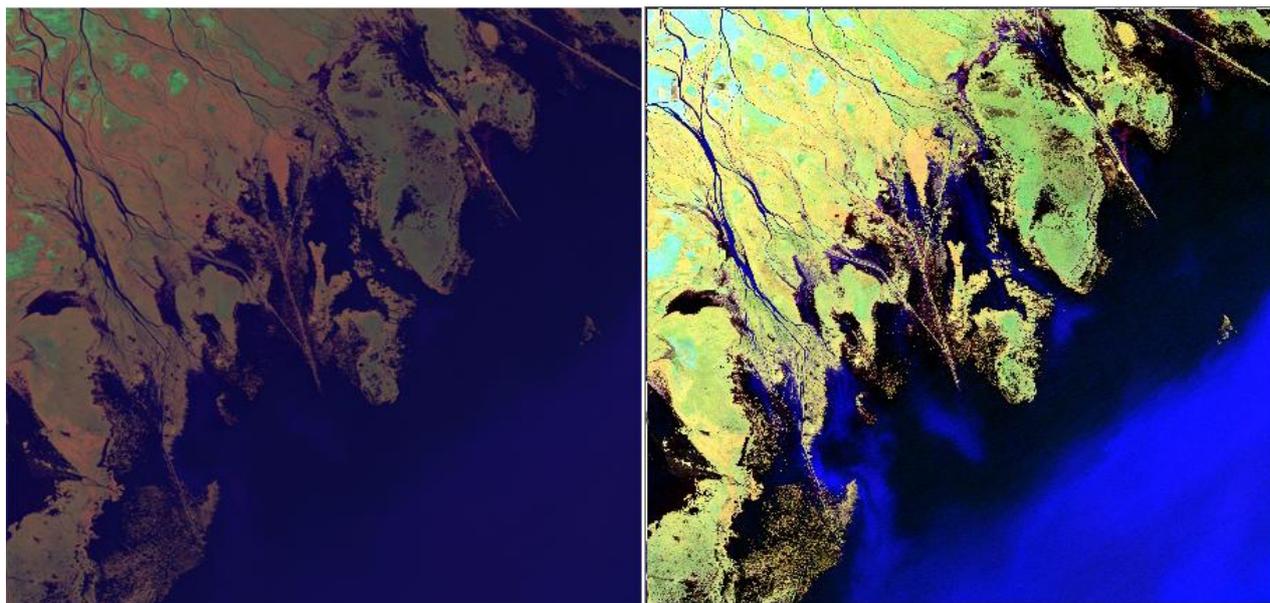


Рисунок 1 – композитное изображение «4,5,1» (слева); композитное изображение «4,5,1» с автолинейным контрастированием (справа) июль 2009  
ГОД.



Рисунок 2 – композитное изображение «5,3,1» (слева); композитное изображение «5,3,1» с автолинейным контрастированием (справа) июль 2009  
ГОД.

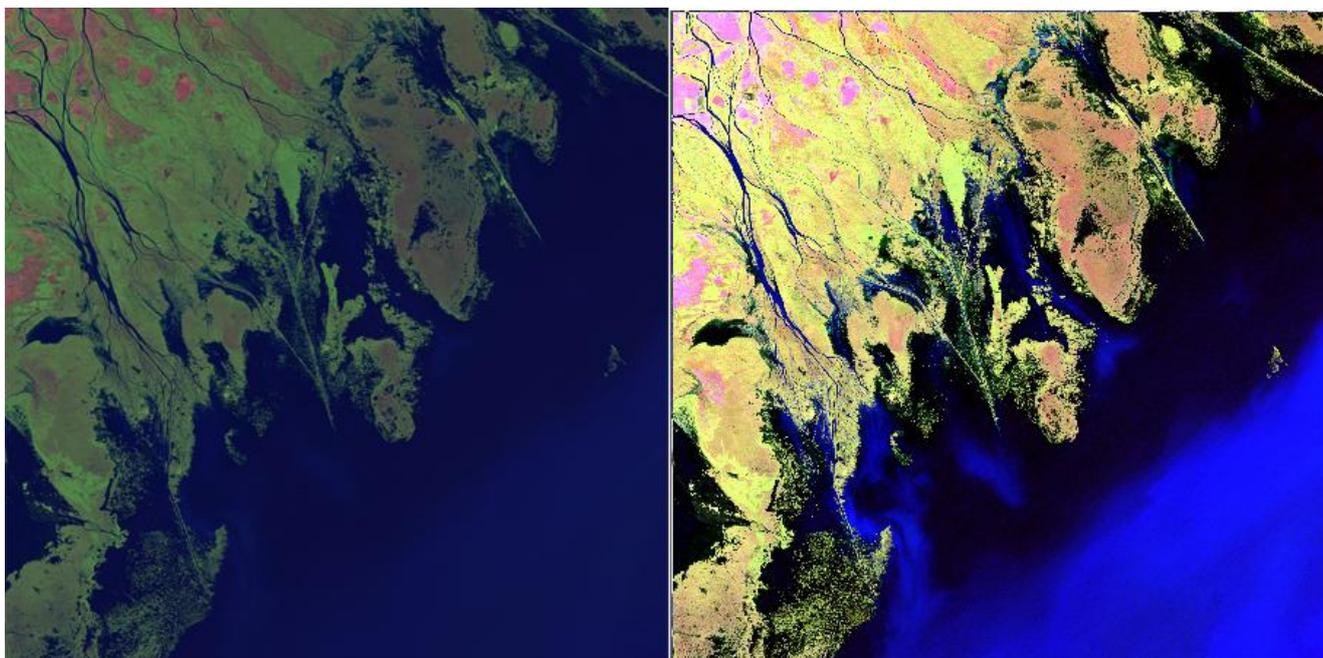


Рисунок 3 – композитное изображение «5,4,1» (слева); композитное изображение «5,4,1» с автолинейным контрастированием (справа) июль 2009 ГОД.

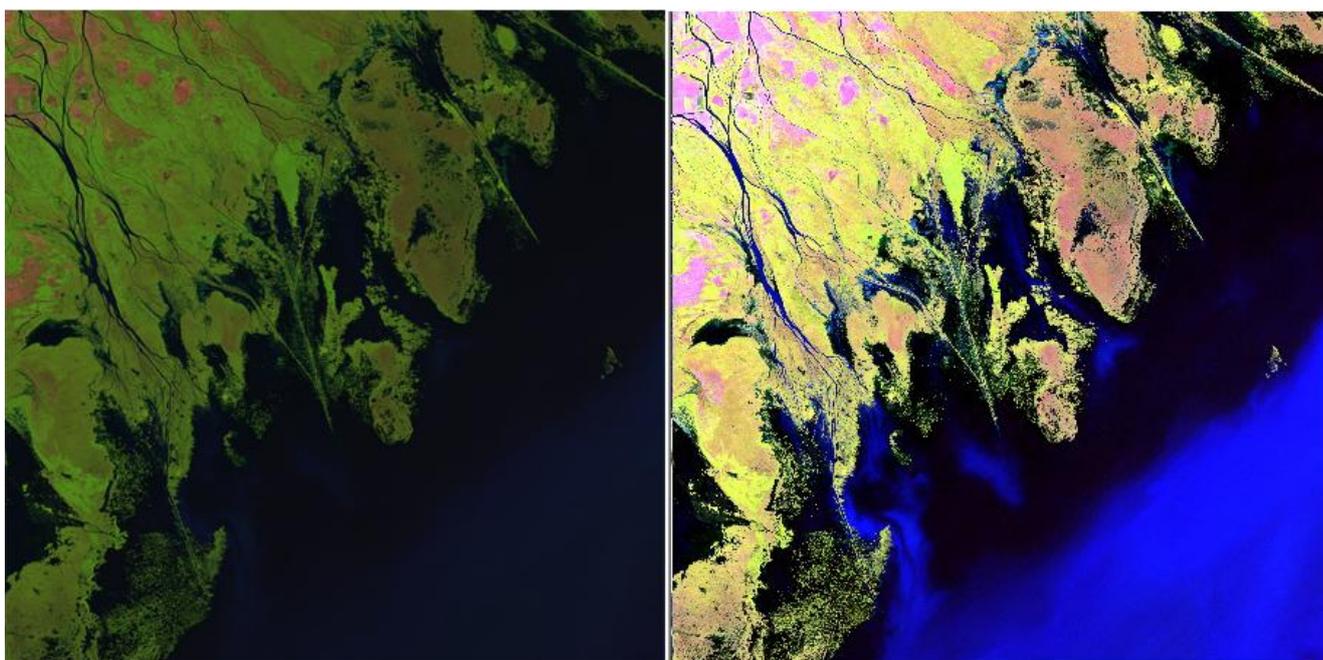


Рисунок 4 – композитное изображение «5,4,3» (слева); композитное изображение «5,4,3» с автолинейным контрастированием (справа) июль 2009 ГОД.

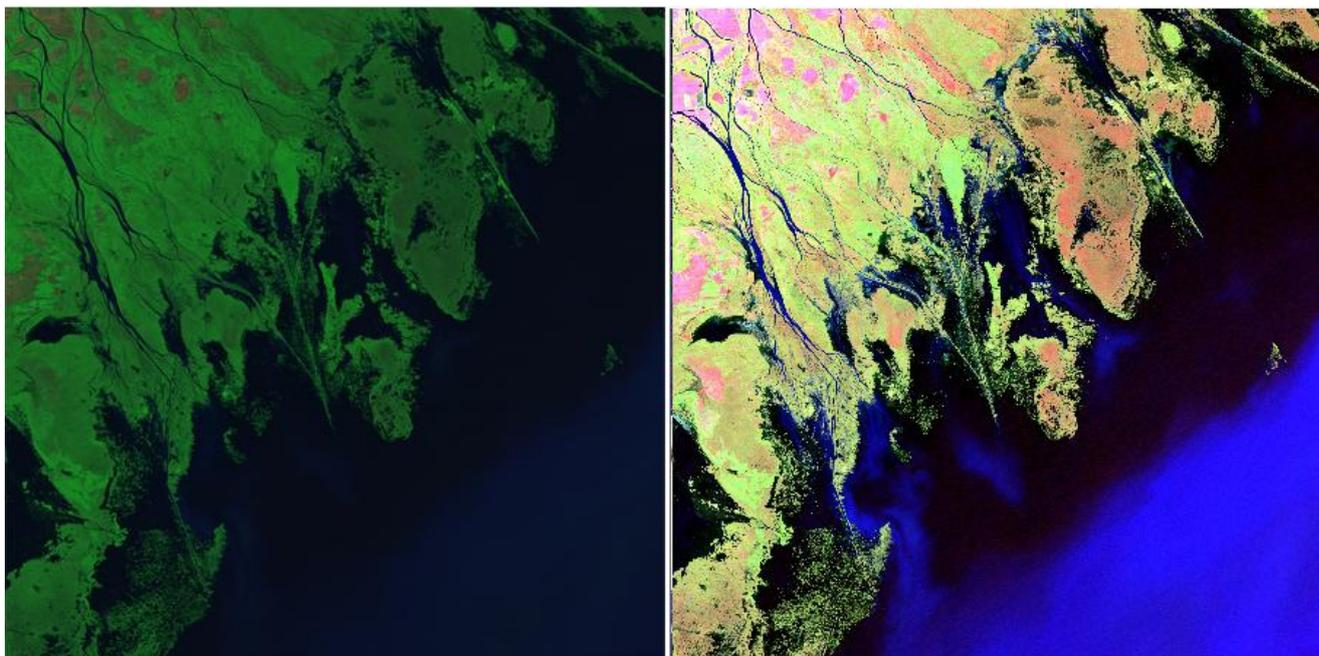


Рисунок 5 – композитное изображение «7,4,2» (слева); композитное изображение «7,4,2» с автолинейным контрастированием (справа) июль 2009 год.

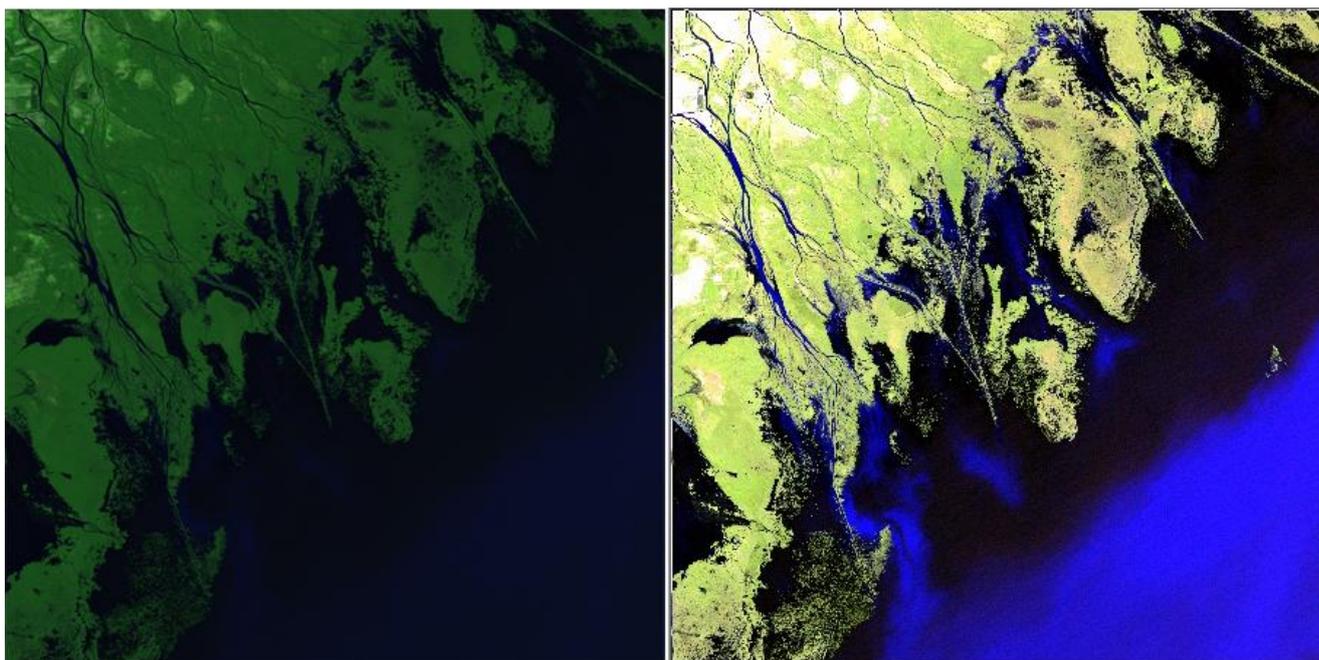


Рисунок 6 – композитное изображение «7,5,3» (слева); композитное изображение «7,5,3» с автолинейным контрастированием (справа) июль 2009 год.