

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт космических и информационных технологий
Базовая кафедра геоинформационных систем

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

_____ В.И. Харук
подпись

« ____ » _____ 2018 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

09.03.02 – Информационные системы и технологии

Информационная технология для оценки состояния площадей
сельскохозяйственных посевов по спутниковым и наземным данным

Руководитель _____ доцент каф. Б-ГИС, к.ф.-м.н. А. В. Картушинский
подпись, дата

Выпускник _____ К. Е. Айгорова
подпись, дата

Консультант Наземные исследования _____ И. Ю. Ботвич
подпись, дата

Нормоконтролер _____ Е. В. Федотова
подпись, дата

Красноярск 2018

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт космических и информационных технологий
Базовая кафедра геоинформационных систем

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

_____ В.И. Харук
подпись

« _____ » _____ 2018 г.

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме бакалаврской работы**

Студенту Айгоровой Ксении Егоровне

Группа: КИ14-14Б Направление (специальность): 09.03.02

Информационные системы и технологии

Тема выпускной квалификационной работы: «Информационная технология для оценки состояния площадей сельскохозяйственных посевов по спутниковым и наземным данным».

Утверждена приказом по университету № 7461/с от 24.05.2018 г.

Руководитель ВКР: А.В. Картушинский, доцент кафедры Б-ГИС.

Исходные данные для ВКР: наземные спектрометрические данные, космические снимки Ресурс-П, Sentinel-2, Landsat 8.

Перечень разделов ВКР: обзор методов оценки площадей паров по спутниковым данным, используемые спутниковые и наземные спектрометрические данные, описание используемого программного обеспечения, обработка спутниковых данных, анализ данных.

Перечень графического материала: слайды презентации.

Руководитель ВКР _____

подпись

А. В. Картушинский

Задание принял к исполнению _____

подпись

К. Е. Айгорова

« ____ » _____ 2018 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Информационная технология для оценки состояния площадей сельскохозяйственных посевов по спутниковым и наземным данным» содержит 51 страницу текстового документа, 10 таблиц, 32 рисунка и 18 использованных источника.

LANDSAT, SENTINEL-2, NDVI, ПАР, QGIS, КОЭФФИЦИЕНТ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЯРКОСТИ.

Объект исследования – сельскохозяйственные поля на территории Красноярского НИИСХ ФИЦ КНЦ СО РАН вблизи поселка Манино.

Цель работы – отработка методики оценки состояния площадей сельскохозяйственных посевов (паров) по спутниковым и наземным спектрометрическим данным.

Для достижения этой цели были решены следующие задачи: проведен обзор существующих методов оценки состояния паровых земель по спутниковым и наземным данным; проведен сбор, предварительная и тематическая обработка спутниковой информации, полученной в течение 2017 г.; проведено полевое спектрометрирование объектов на территории Красноярского НИИСХ ФИЦ КНЦ СО РАН вблизи п. Манино в течение периода вегетации 2017г.; проведен анализ значений коэффициентов спектральной яркости, коэффициентов отражения, вегетационных индексов паров по спутниковым и наземным данным; проведен поиск и выбор временного периода и космического снимка, который обеспечит наилучший результат при выделении местоположения и границ паров; определены площади паров.

По полученным результатам сформулированы выводы, указывающие на эффективность применения используемой методики и точность полученных результатов.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Обзор методов оценки площадей паров по спутниковым данным.....	7
2 Используемые спутниковые и наземные спектрометрические данные	9
2.1 Используемые спутниковые данные.....	9
2.2 Данные космического аппарата Ресурс-П.....	12
2.2.1 Описание КА Ресурс-П	12
2.2.2 Описание характеристик аппаратуры Геотон.....	13
2.3 Данные космического аппарата Sentinel-2.....	16
2.3.1 Описание характеристик аппаратуры Sentinel-2	16
2.3.2 Описание состава продукта Sentinel-2.....	17
2.4 Данные космического аппарата Landsat 8.....	19
2.4.1 Описание характеристик аппаратуры Landsat 8.....	19
2.4.2 Описание состава продукта Landsat 8.....	20
2.5 Наземные спектрометрические данные.....	22
2.5.1 Описание используемой аппаратуры.....	23
2.5.2 Методика сбора данных	26
2.6 Выводы.....	28
3 Описание используемого программного обеспечения.....	29
3.1 Программный комплекс ENVI.....	29
3.2 Программное обеспечение ESA SNAP	29
3.3 Геоинформационная система Quantum GIS	30
3.4 Геоинформационная система ArcGIS	31
3.5 Выводы.....	31
4 Обработка спутниковых данных	32
4.1 Векторизация полей.....	32
4.2 Переформатирование векторных файлов	34
4.3 Извлечение данных из снимков Sentinel-2	34
4.4 Подготовка снимков Landsat.....	37
4.5 Извлечение данных из снимков Landsat.....	38
4.6 Выводы.....	39

5 Анализ данных.....	40
Заключение	50
Список использованных источников	51

ВВЕДЕНИЕ

Аграрная отрасль играет важную роль в удовлетворении потребностей пищевого производства постоянно растущего населения. В качестве средства производства используется земля, которая со временем теряет способность удовлетворять потребность растений в элементах питания, влаге и воздухе.

Ухудшение свойств и плодородия почвы в результате воздействия природных или антропогенных факторов называется деградацией почвы. Деградация почвы приводит к уменьшению урожайности и сокращению площади обрабатываемых земель, что допускать крайне нежелательно, так как удовлетворение жизненных запросов людей в продуктах питания основная задача сельского хозяйства.

Можно назвать несколько основных причин, вызывающих деградацию почв. К ним относятся: несоблюдение системы севооборотов в земледелии, хищническое отношение к земле и агрономическая неграмотность [1].

Существует несколько способов борьбы с деградацией, такие как уменьшение количества используемых химикатов, мульчирование, использование сидератов. Однако в рамках данной работы исследуемым способом борьбы с деградацией является соблюдение правил севооборота, а точнее роль паров в восстановлении плодородия.

Севооборот – это научно обоснованное чередование сельскохозяйственных (с.-х.) культур и паров во времени и на территории или только во времени [2]. Пар – паровое поле, поле севооборота, не занимаемое посевами в течение всего (или части) вегетационного периода и содержащееся в рыхлом и чистом от сорняков состоянии. Пары подразделяют на чистые и занятые. Поле чистого пара свободно от возделывания с.-х. культур в течение всего вегетационного периода; занятого пара – в первую половину лета используют для выращивания растений с коротким периодом вегетации [3].

Чистые пары – эффективный агроприем по накоплению в почве влаги и элементов питания; они также могут выступать хорошими предшественниками для озимых, выращиваемых в регионе, а также для ячменя, овса и ржи [4].

На данный момент отсутствуют данные о площади паровых полей и их состоянии в Красноярском крае. Данную проблему возможно решить с помощью применения методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). С помощью данных дистанционного зондирования Земли можно выполнить множество задач в различных областях, в том числе и для оценки площади сельскохозяйственных посевов. Однако существуют множество факторов (угол съемки, погодные условия, время съемки), которые могут повлиять на достоверность и качество данных космической съемки, что при обработке может привести к неверным результатам.

Для получения более достоверных результатов возможен совместный анализ космических и наземных спектрометрических данных. Спектрометрия, как новая процедура измерения, стала ценной в различных науках, особенно в сельском хозяйстве и продовольствии промышленности.

Во многих странах мира производятся спектрометрические измерения для разных целей. Так в Венгрии производится исследование садов черешни для определения качества урожая, в Испании для определения зрелости урожая персиков, а в Италии для определения этапа созревания винограда (для дальнейшего производства качественного вина) [5]. Анализ спектрометрических измерений также помогает оценить структурных изменений, происходящих в посевах в период их вегетации [6].

Применение спектрометрических методов позволяет получать значения интенсивности отраженного электромагнитного излучения в определенных спектральных диапазонах.

По изменчивости спектра можно проводить оценки морфофизиологических изменений, определять видовой состав сельскохозяйственных посевов, пространственного распределения различных видов растительности и ее экологического состояния.

Таким образом, целью данной работы является отработка методики оценки состояния площадей сельскохозяйственных посевов (паров) по спутниковым и наземным спектрометрическим данным.

Для этого необходимо выполнить следующие задачи:

- провести обзор существующих методов оценки состояния паровых земель по спутниковым и наземным данным;
- провести сбор, предварительную и тематическую обработку спутниковой информации, полученной в течение 2017 г.;
- провести полевое спектрометрирование объектов на территории Красноярского НИИСХ ФИЦ КНЦ СО РАН вблизи п. Манино в течение периода вегетации 2017г.;
- провести анализ значений коэффициентов спектральной яркости, коэффициентов отражения, вегетационных индексов паров по спутниковым и наземным данным;
- поиск и выбор временного периода и космического снимка, который обеспечит наилучший результат при выделении местоположения и границ паров;
- определение площади паров.

1 Обзор методов оценки площадей паров по спутниковым данным

К настоящему моменту проведено множество исследований по выявлению признаков, позволяющих проанализировать состояния посевов, выявить границы, определить принадлежность к конкретному типу посева. Наиболее часто используемым признаком в таких исследованиях выступает вегетационный индекс нормированной разности NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

NDVI – это количественный показатель количества фотосинтетически активной биомассы [7], вычисляемый по формуле

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}, \quad (1)$$

где ρ_{NIR} и ρ_{RED} - измерения спектрального отражения, полученные в ближнем инфракрасном и видимом (красном) канале соответственно.

Так, например, в статье “Применение материалов космической съемки для оценки площади и состояния чистых паров Белгородской области” [4] ключевым этапом исследования являлась статистическая оценка значений NDVI, характерных для распаханых полей на протяжении вегетационного сезона. Значения NDVI были изучены на основе данных MOD13Q1, а оценка спектрально-отражательных характеристик была выполнена на основе снимков высокого пространственного разрешения Landsat ETM+. Для дешифрирования паров был использован прием, основанный на том, что поле, находящееся под чистым паром, должно обладать спектральными признаками оголенной почвы основную часть вегетационного сезона, с последующим применением пороговых значений за вегетационный сезон и выявлении посевных площадей со спектрально-отражательными характеристиками оголенных почв. Было выявлено, что на протяжении вегетационного сезона средние значения вегетационного индекса варьируют в пределах от 0.40 до 0.57. При этом зафиксировано

последовательное изменение значений NDVI вслед за динамикой количества осадков.

В статье “Распознавание залежных земель на основе сезонных значений вегетационного индекса NDVI” [8] описаны результаты анализа значений индекса NDVI для выявления залежей среди пашен. В данном случае сравнивалась эффективность применения средних и минимальных значений NDVI, и выявлено, что по минимальным значениям индекса точность распознавания залежей выше, чем по средним значениям.

Также возможно применение алгоритма динамической трансформации временной шкалы для картирования пахотных земель, что описано в статье «Sentinel-2 cropland mapping using pixel-based and object-based time-weighted dynamic time warping analysis» [9]. В статье описывается эффективность метода TWDTW (Time-Weighted Dynamic Time Warping) на примере трех различных агросистем в Румынии, Италии и США. Также сравниваются методы анализа по пикселям (pixel-based TWDTW) и по объектам (object-based TWDTW). В результате достигнуты хорошие результаты классификации на всех трех пробных площадях, а также сделан вывод о том, что object-based TWDTW лучше, чем у pixel-based TWDTW на всех пробных площадях.

Таким образом, рассмотрев материалы исследований по схожим темам, в качестве метода для выделения полей, находящихся под паром, был выбран метод основанный на средних значениях NDVI, как наиболее эффективный и пригодный для использования на территориях с различными природными особенностями.

2 Используемые спутниковые и наземные спектрометрические данные

2.1 Используемые спутниковые данные

Спутниковые данные – это снимки, полученные с космических аппаратов и представляют из себя растровое изображение земной поверхности, файлы содержащие пространственные данные о снимке и в зависимости от спутника ряд дополнительных файлов.

Космические снимки применяются в различных отраслях для решения различных задач: мониторинга пожароопасной обстановки, нефтепроводов, сельхозугодий, для поиска незаконных вырубок и самозахвата территорий, строительства в охранных зонах и так далее [10].

Достоинствами спутниковых данных является их высокая информативность, оперативность и в некоторых случаях открытость данных. Однако главным недостатком является зависимость от метеорологических условий – высокая облачность делает снимок не пригодным для анализа.

В качестве источников спутниковых данных используются мультиспектральные снимки, полученные оптической электронной аппаратурой Геотон с космических аппаратов (КА) «Ресурс-П», Sentinel-2A/2B и Landsat 8.

Используется 11 снимков:

- 1 снимок Ресурс-П за 08.06.2017;
- 6 снимков Sentinel-2 за 04.04.2017, 11.04.2017, 28.07.2017, 04.08.2017, 17.08.2017 и 29.08.2017, примеры представлены на рисунке 1;
- 4 снимка Landsat 8 OLI/TIRS (в дальнейшем для краткости – Landsat 8) за 26.04.2017, 28.05.2017, 20.06.2017 и 22.07.2017.

Более подробные сведения о снимках представлены в таблице 1 ниже.

Таблица 1 – Сведения о снимках, используемых в работе

Идентификатор	Источник	Дата /время съемки	Пространственное разрешение, м	Используемые каналы
0041_0306_18326_1_08366_04	Ресурс-П	08.06.2017/07:00:51	3	1,2,3
S2A_MSIL1C_20170404T050651_N0204_R019_T46VDH_20170404T050754	Sentinel-2A	04.04.2017/5:07:54	10	2, 3, 4, 8
S2A_MSIL1C_20170411T045701_N0204_R119_T46VDH_20170411T050129	Sentinel-2A	11.04.2017/5:01:29	10	2, 3, 4, 8
LC08_L1TP_142021_20170426_20170502_01_T1	Landsat 8	26.04.2017/4:45:53	30	2, 3, 4, 5
LC08_L1TP_142021_20170528_20170615_01_T1	Landsat 8	28.05.2017/4:46:08	30	2, 3, 4, 5
LC08_L1TP_143021_20170620_20170630_01_T1	Landsat 8	20.06.2017/4:52:28	30	2, 3, 4, 5
LC08_L1TP_143021_20170722_20170728_01_T1	Landsat 8	22.07.2017/4:52:37	30	2, 3, 4, 5
S2B_MSIL1C_20170728T050649_N0205_R019_T46VDH_20170728T050746	Sentinel-2B	28.07.2017/5:07:46	10	2, 3, 4, 8
S2B_MSIL1C_20170804T045659_N0205_R119_T46VDH_20170804T050129	Sentinel-2B	04.08.2017/5:01:29	10	2, 3, 4, 8
S2B_MSIL1C_20170817T050649_N0205_R019_T46VDH_20170817T050759	Sentinel-2B	17.08.2017/5:07:59	10	2, 3, 4, 8
S2A_MSIL1C_20170829T045701_N0205_R119_T46VDH_20170829T045656	Sentinel-2A	29.08.2017/4:56:56	10	2, 3, 4, 8

Данные КА Ресурс-П предоставлены сервисом космических снимков – Геопортал РОСКОСМОСА. Данные Landsat 8 получены с сайта Геологической службы США – USGS (United States Geological Survey). Данные с КА Sentinel-2 получены с сайта CopernicusOpenAccessHub. Политика свободных, полных и открытых данных, принятая для программы Copernicus, предусматривает доступ всех пользователей к продуктам Sentinel посредством регистрации.



Рисунок 1 – Фрагменты исходных снимков Sentinel-2 с исследуемыми полями, синтез 2, 3 и 4 каналов, составленный в программе SNAP (А – 04.08.2017, Б – 29.08.2017)

Снимки выбирались на основе данных о погоде («Дневник погоды» на веб-сайте GISmeteo) за летний период 2017 года. Так как влажность почвы влияет на её отражательные свойства, то выбирались такие дни, когда не было осадков минимум за сутки до выбранной даты и было ясное небо или малооблачно. Так как в июле 2017 года на выбранной территории часто был дождь или высокая облачность, то из имеющихся за июль снимков был выбран наиболее удачный. Сводные характеристики спектральных каналов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Сводная таблица спектральных каналов снимков Ресурс-П, Sentinel-2 и Landsat 8

Sentinel-2				Ресурс-П		Landsat 8	
		S2A	S2B	Геотон			
Название канала	Номер канала	Центральная длина волны (нм)	Центральная длина волны (нм)	Номер канала	Центральная длина волны (нм)	Номер канала	Центральная длина волны (нм)
Синий	2	496.6	492.1	1	505	2	480
Зеленый	3	560.0	559	2	565	3	560
Красный	4	664.5	665	3	650	4	655
БИК	8	835.1	833	4	760	5	865

Снимки Sentinel и Landsat предназначены для извлечения данных о изменении отражательной способности на протяжении вегетационного периода. Снимок Ресурс используется только для векторизации сельскохозяйственных полей, так как обладает наибольшим разрешением, а значит позволит более точно определить границы полей.

2.2 Данные космического аппарата Ресурс-П

2.2.1 Описание КА Ресурс-П

Создаваемый ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс» по заказу Федерального космического агентства оперативный космический комплекс (КК) высокодетального, детального широкополосного и гиперспектрального оптико-электронного наблюдения земной поверхности Ресурс-П является продолжением отечественных средств дистанционного зондирования высокого разрешения в интересах социально-экономического развития Российской Федерации. КК Ресурс-П предназначен для решения следующих задач дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса:

- составление и обновление общегеографических, тематических и топографических карт;

- контроль загрязнения окружающей среды, в том числе экологический контроль в районах геологоразведочных работ и добычи полезных ископаемых, контроль водоохранных и заповедных районов;
- инвентаризация природных ресурсов, создание земельного кадастра и контроль хозяйственных процессов для обеспечения рациональной деятельности в различных отраслях хозяйства;
- информационного обеспечения поиска нефти, природного газа, рудных и других месторождений полезных ископаемых;
- контроль застройки территорий, получение данных для инженерной оценки местности в интересах хозяйственной деятельности;
- информационного обеспечения для прокладки магистралей и крупных сооружений, автомобильных, железных дорог, нефте- и газопроводов, систем связи;
- наблюдение районов чрезвычайных ситуаций с целью мониторинга стихийных бедствий, аварий, катастроф, а также оценки их последствий и планирования восстановительных мероприятий [11].

В состав целевой аппаратуры КА Ресурс-П входит гиперспектральная аппаратура, широкозахватная мультиспектральная аппаратура высокого разрешения (ШМСА-ВР) и среднего разрешения (ШМСА-СР) и оптико-электронная аппаратура высокого разрешения (Геотон).

2.2.2 Описание характеристик аппаратуры Геотон

Ниже в таблице 3 приведено описание основных технических характеристик оптико-электронной аппаратуры Геотон с КА Ресурс-П.

Таблица 3 – Основные характеристики ОЭА Геотон

Наименование характеристики	Значение
Орбита спутника	475 км, наклонение 97,276°, круговая солнечно-синхронная
Частота сканирования	не более трех суток
Полоса захвата	38 км
Фокусное расстояние	4000 мм
Диаметр входного зрачка	500 мм
Размер светочувствительного элемента	панхроматический диапазон – 6х6 мкм мультиспектральный диапазон – 18х18 мкм
Пространственное разрешение	в панхроматическом диапазоне – 1 м в мультиспектральном диапазоне – 3 м
Срок службы	5 лет

Аппаратура Геотон производит снимки в различных каналах видимого и инфракрасного диапазонов спектра, в зависимости от режима съемка. Ниже в таблице 4 приведено их описание.

Таблица 4 – Режимы съемки ОЭА Геотон

Наименование характеристики	Описание
Панхроматическая съемка	Спектральный диапазон 0.62 – 0.79 мкм Радиометрическое разрешение 10 или 8 бит
Многоспектральная съемка	Спектральные диапазоны: 0.48 – 0.53 мкм 0.54 – 0.59 мкм 0.62 – 0.68 мкм 0.72 – 0.80 мкм Радиометрическое разрешение 10 или 8 бит
Съемка в красном диапазоне волн	Спектральные диапазоны: 0.66 – 0.69 мкм 0.70 – 0.75 мкм Радиометрическое разрешение 10 или 8 бит
Съемка в ИК-диапазоне волн	Спектральный диапазон 0.81 – 0.88 мкм Радиометрическое разрешение 10 или 8 бит

В работе используются снимки, полученные в режиме многоспектральная съемки с уровнем обработки 2А, т.е. снимки, полученные в разных спектральных каналах, с радиометрической и геометрической коррекцией, трансформированные в картографическую проекцию по данным бортовой автоматической системы навигации на среднюю высоту с плановой точностью

(СКО) не хуже 50 м., с коэффициентами RPC-полиномов, система координат WGS-84, формат GeoTIFF [12].

Комплект поставки продукции Геотон с КА «Ресурс-П» (на примере территории Красноярска) представлен на рисунке 2.

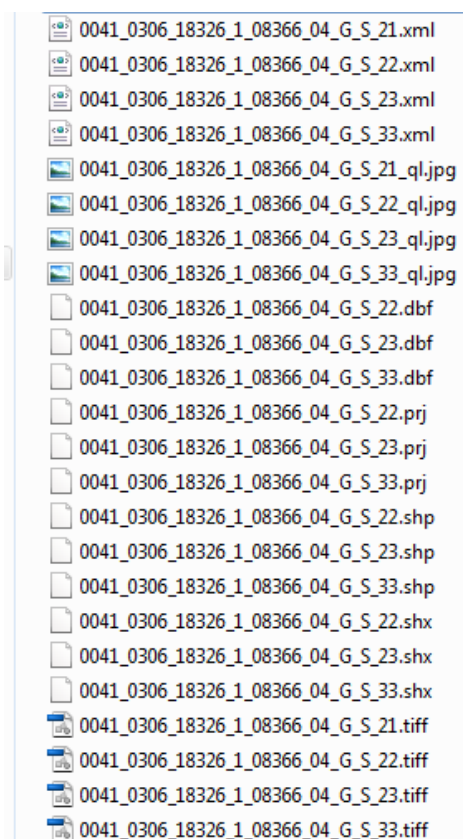


Рисунок 2 – Комплект поставки продукции Геотон

Названия файлов имеют общую часть – 0041_0306_18326_1_08366_04_– это номер заказа, по которому подготовлен этот рабочий набор. G_S_**– указывает на спектральный канал:

- G_S_21 – 0.62–0.68 мкм – красный;
- G_S_22 – 0.72–0.80 мкм – ближний ИК;
- G_S_23 – 0.54–0.59 мкм – зеленый;
- G_S_33 – 0.48–0.53 мкм – синий.

В комплекте поставки имеется shape-файл, xml-файл с метаданными, собственно изображение в формате GeoTIFF, уменьшенное изображение в формате JPEG с привязкой. Следует отметить, что программное обеспечение

воспринимает изображение не как один файл в формате GeoTIFF, а как набор из файлов, в который входят файлы с расширением shx, dpf, prj.

2.3 Данные космического аппарата Sentinel-2

2.3.1 Описание характеристик аппаратуры Sentinel-2

Космические аппараты Sentinel-2 – семейство спутников дистанционного зондирования Земли Европейского космического агентства, созданное в рамках проекта глобального мониторинга окружающей среды и безопасности «Коперник». Спутники предназначены для мониторинга использования земель, растительности, лесных и водных ресурсов, также могут применяться при ликвидации последствий стихийных бедствий [13]. В состав Sentinel-2 входит космический аппарат Sentinel-2A, запущенный в июне 2015 года и Sentinel-2B, запущенный в июле 2016 года. Ниже в таблице 5 приведено описание основных технических характеристик Sentinel-2A и Sentinel-2B.

Таблица 5 – Основные характеристики КА Sentinel-2A и Sentinel-2B

Параметр	Значение
Орбита спутника	солнечно-синхронная, высота – 786 км
Частота сканирования	от 5 дней на экваторе, до 2-3 дней в средних широтах
Полоса захвата	290 км
Пространственное разрешение	10, 20 и 60 м
Режим съемки	гиперспектральный
Масса	1100 кг
Расчетный срок службы	7 лет

Спутники Sentinel-2A и 2B оснащены оптико-электронным мультиспектральным сенсором для съемок с разрешением от 10 до 60 м в видимой, ближней инфракрасной (VNIR) и коротковолновой инфракрасной (SWIR) зонах спектра, включающих в себя 13 спектральных каналов (443–2190 нм), каналы представлены в таблице 6 [14].

Таблица 6 – Каналы Sentinel-2A и Sentinel-2B

Номер канала	Название канала	S2A	S2B	Пространственное разрешение (м)
		Центральная длина волны (нм)	Центральная длина волны (нм)	
1	Coastal aerosol	443.9	442.3	60
2	Blue	496.6	492.1	10
3	Green	560.0	559	10
4	Red	664.5	665	10
5	Vegetation Red Edge	703.9	703.8	20
6	Vegetation Red Edge	740.2	739.1	20
7	Vegetation Red Edge	782.5	779.7	20
8	NIR	835.1	833	10
8a	Vegetation Red Edge	864.8	864	20
9	Water vapour	945.0	943.2	60
10	SWIR - Cirrus	1373.5	1376.9	60
11	SWIR	1613.7	1610.4	20
12	SWIR	2202.4	2185.7	20

В данной работе используются только каналы с номерами 2, 3, 4 и 8.

2.3.2 Описание состава продукта Sentinel-2

Имя каталога продукта Sentinel-2 определяется следующим образом:

MMM_MSIL1C_YYYYMMDDTHHMMSS_Nxxуу_ROOO_Txxxxx_<Product Discriminator>

где MMM – идентификатор миссии (S2A / S2B);

MSIL1C – ссылка на уровень продукта Level-1C;

YYYYMMDDTHHMMSS – время начала сбора данных (год, месяц, день, час, минута, секунда);

Nxxуу – идентифицирует текущую базовую станцию обработки;

ROOO – относительный номер орбиты;

Txxxxx – идентификатор тайла;

<Product Discriminator> – это поле гарантирует уникальность имени для различных продуктов, связанных с одним и тем же набором данных;

SAFE – разрешение файла.

Состав файлов и папок в продукте представлено на рисунке 3.

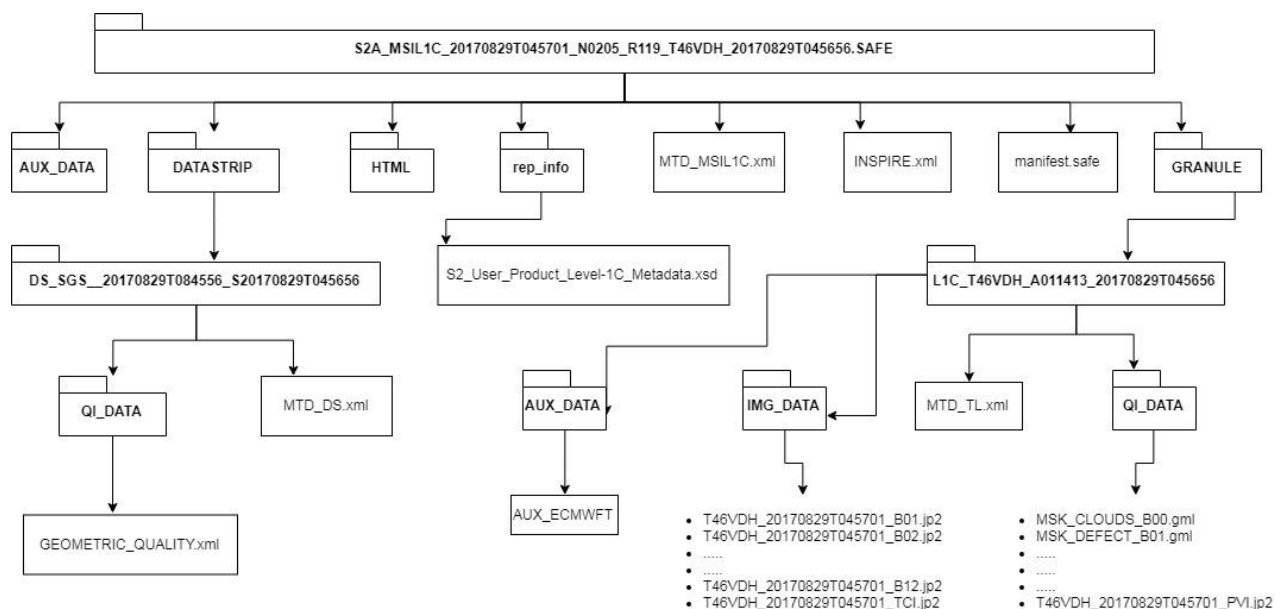


Рисунок 3 – Комплект поставки продукции Sentinel-2 Level-1C

Папка `AUX_DATA` содержит набор вспомогательных файлов, которые могут быть встроены в пользовательский продукт, если он выбран пользователем. Папка `DATASTRIP` содержит список полосы данных:

- `QI_DATA` – папка, содержащая On-Line Quality Control отчеты;
- `MTD_DS.xml` – файл метаданных полосы данных.

В папке `HTML` содержатся файлы презентации продукта `HTML` и соответствующие таблицы стилей. Папка `rep_in` содержит доступные схемы `XSD`, файл `MTD_MSIL1C.xml` – основной файл метаданных. Метаданные `INSPIRE` хранятся в файле `INSPIRE.xml`, а файл манифеста XML SAFE в файле `manifest.safe`. Папка `GRANULE` содержит список тайлов, принадлежащих продукту пользователя:

- `AUX_DATA` – папка, содержащая данные европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (`ECMWF`);

- IMG_DATA – папка, содержащая изображения в формате JPEG2000, по одному файлу на каждый спектральный канал (13 файлов);
- QI_DATA – папка, содержащая маски в формате qml;
- MTD_TL.xml – файл метаданных тайла.

2.4 Данные космического аппарата Landsat 8

2.4.1 Описание характеристик аппаратуры Landsat 8

Landsat 8 – американский спутник дистанционного зондирования Земли, восьмой в рамках программы Landsat (седьмой выведенный на орбиту). Изначально назывался Landsat Data Continuity Mission (LDCM), создан совместно Национальным управлением по авиации и исследованию космического пространства (NASA) и USGS. Выведен на орбиту 11 февраля 2013 года. Ежедневно спутник снимает порядка 400 сцен, которые после обработки в соответствии с текущим стандартом продуктов Landsat, хранятся в Центре хранения данных USGS (Геологической службы США). Основные характеристики спутника Landsat 8 представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Основные характеристики Landsat 8

Параметр	Значение
Тип данных	оптические
Режим съемки	Моно съемка
Спектральные каналы	панхроматический; мультиспектральные: - VNIR (6) - SWIR (2) - TIR (2)
Пространственное разрешение в надире, м	- 15 (панхроматический) - 30 (VNIR, SWIR) - 100 (TIR)
Динамический диапазон, бит/пиксель	16
Ширина полосы съемки в надире, км	185
Период повторной съемки	1 раз в 16 суток

На борту космического аппарата установлены многоканальный сканирующий радиометр OLI (Operational Land Imager) и сканирующий двухканальный ИК-радиометр TIRS (Thermal Infrared Sensor). Радиометр OLI позволяет получать изображения земной поверхности с максимальным разрешением 15 м с использованием усовершенствованных технологий космической съемки. ИК-радиометр TIRS предназначен для получения «теплового» изображения земной поверхности с разрешением 100 м. Характеристики каналов Landsat 8 представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Каналы Landsat 8 OLI/TIRS

Номер канала	Название канала	Длина волны (нм)	Пространственное разрешение (м)
1	Побережья и аэрозоли	433 – 453	30
2	Синий	450 – 515	30
3	Зелёный	525 – 600	30
4	Красный	630 – 680	30
5	Ближний ИК	845 – 885	30
6	Ближний ИК	1560 – 1660	30
7	Ближний ИК	2100 – 2300	30
8	Панхроматический	500 – 680	15
9	Перистые облака	1360 – 1390	30
10	Дальний ИК	1030 – 1130	100
11	Дальний ИК	1150 – 1250	100

В данной работе используются только каналы с номерами 2, 3, 4 и 5.

2.4.2 Описание состава продукта Landsat 8

Данные представляются в сжатом (архивированном) формате. Файл обычно имеет формат tar.gz. Имена файлов используют идентификатор продукта (productID), в формате:

«LXSS_LLLL_PPPRRR_YYYYMMDD_yyyymmdd_CX_TX»,

где L – Landsat;

X – сенсор (“O” = OLI; “T” = TIRS; “C” = OLI/TIRS);

SS – спутник (“08” = Landsat 8);

LLLL – Уровень коррекции обработки (“L1TP” = Precision Terrain; “L1GT” = Systematic Terrain; “L1GS” = Systematic);

PPP – номер столбца в WRS;

RRR – номер строки в WRS;

YYYY – год съемки;

MM – месяц съемки;

DD – день съемки;

уууу – год обработки;

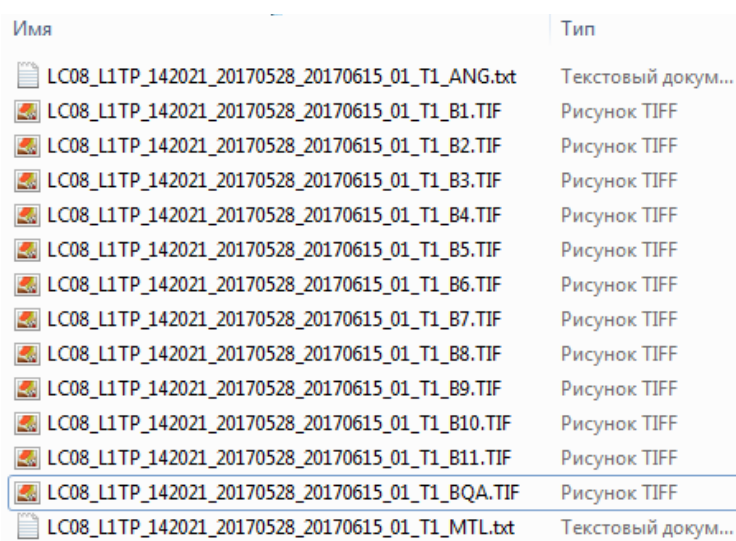
mm – месяц обработки;

dd – день обработки;

CX – номер коллекции (“01”, “02”, и так далее);

TX – категория коллекции (“RT” = Real-Time; “T1” = Tier 1; “T2” = Tier 2).

Файл содержит 12 изображений в формате tiff и текстовый файлы, пример списка файлов представлен на рисунке 4.



Имя	Тип
LC08_L1TP_142021_20170528_20170615_01_T1_ANG.txt	Текстовый докум...
LC08_L1TP_142021_20170528_20170615_01_T1_B1.TIF	Рисунок TIFF
LC08_L1TP_142021_20170528_20170615_01_T1_B2.TIF	Рисунок TIFF
LC08_L1TP_142021_20170528_20170615_01_T1_B3.TIF	Рисунок TIFF
LC08_L1TP_142021_20170528_20170615_01_T1_B4.TIF	Рисунок TIFF
LC08_L1TP_142021_20170528_20170615_01_T1_B5.TIF	Рисунок TIFF
LC08_L1TP_142021_20170528_20170615_01_T1_B6.TIF	Рисунок TIFF
LC08_L1TP_142021_20170528_20170615_01_T1_B7.TIF	Рисунок TIFF
LC08_L1TP_142021_20170528_20170615_01_T1_B8.TIF	Рисунок TIFF
LC08_L1TP_142021_20170528_20170615_01_T1_B9.TIF	Рисунок TIFF
LC08_L1TP_142021_20170528_20170615_01_T1_B10.TIF	Рисунок TIFF
LC08_L1TP_142021_20170528_20170615_01_T1_B11.TIF	Рисунок TIFF
LC08_L1TP_142021_20170528_20170615_01_T1_BQA.TIF	Рисунок TIFF
LC08_L1TP_142021_20170528_20170615_01_T1_MTL.txt	Текстовый докум...

Рисунок 4 – Содержимое архива Landsat

У каждого снимка сохранено общее название исходного файла, но на конце приписан порядковый номер спектрального канала, например, B1, B2 и так далее. MTL.txt – файл метаданных Landsat 8 Level-1, ANG.txt – файл коэффициентов угловых диапазонов.

2.5 Наземные спектрометрические данные

Различные природные объекты имеют разную отражательную способность на участках спектра, такое свойство объектов принято характеризовать коэффициентом спектральной яркости.

Коэффициент спектральной яркости (КСЯ) – это фотометрическая функция, показывающая отношение яркости в данном направлении (ϑ, φ) к яркости (в том же направлении) ортотропной поверхности в определенном интервале длин волн ($\lambda, \lambda + d\lambda$) при данных условиях освещения

$$\rho_{\lambda}(\vartheta, \varphi) = V_{\lambda}(\vartheta, \varphi) / V_0(\vartheta, \varphi), \quad (2)$$

где $V_{\lambda}(\vartheta, \varphi)$ – яркость в данном направлении;

$V_0(\vartheta, \varphi)$ – яркость в том же направлении ортотропной поверхности.

Прибором для измерения коэффициента яркости является спектрометр. Основной функцией спектрометра является регистрация и накопление спектра света, оцифровка полученного сигнала в зависимости от длины волны и последующий анализ с помощью ПК.

Наземные данные были получены в ходе полевых исследований на территории сельскохозяйственных полей КрасНИИСХ, которые проводились в период с июня по август. Маршруты проведения наземных измерений представлены на рисунке 5. Всего было совершено четыре выезда для проведения полевых работ – 16 июня, 20 июня, 4 июля и 15 августа 2017 года.

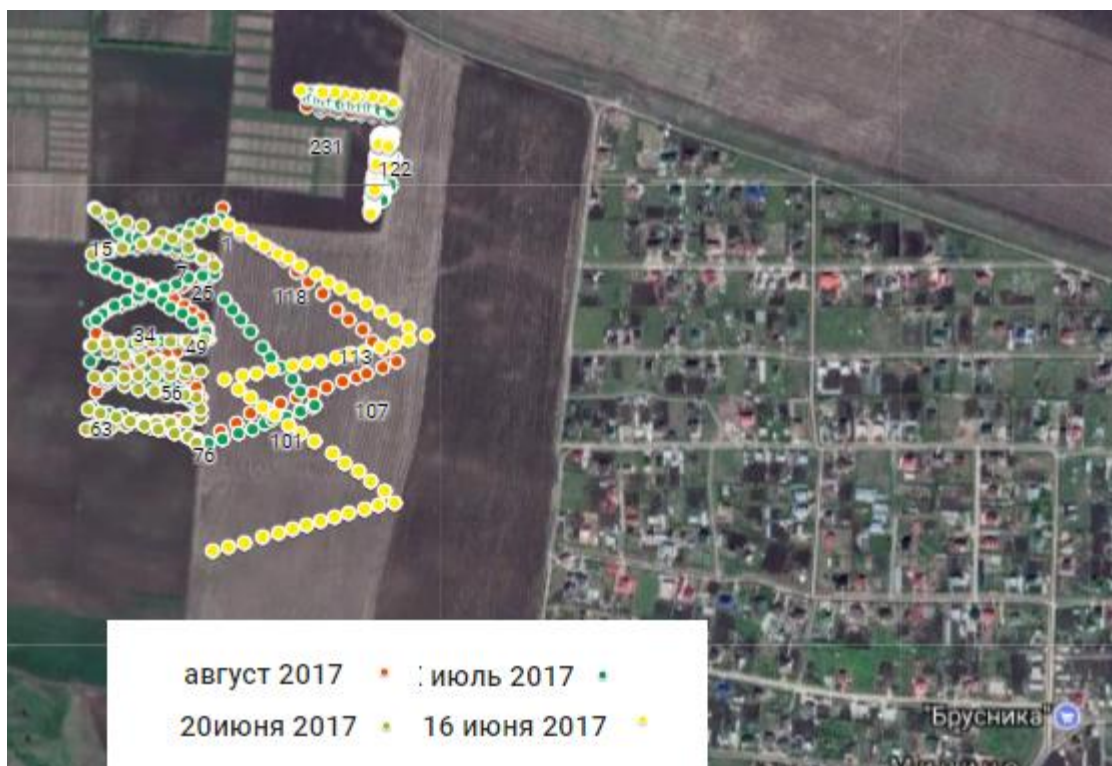


Рисунок 5 – Спутниковое изображение исследуемых полей, где точками отмечены места проведения измерений

В ходе полевых работ проводились измерения КСЯ посевов с помощью полевого спектрометрического комплекса, состоящего из полевого портативного спектрорадиометра – Spectral Evolution PSR-1100f, карманного персонального компьютера (КПК) Getac PS236, калибровочного отражающего эталона и программного обеспечения DARWin SP.

2.5.1 Описание используемой аппаратуры

В данной работе для сбора наземных данных использовался портативный спектрорадиометр PSR-1100f от компании SPECTRAL EVOLUTION.

Прибор PSR-1100f имеет следующие пользовательские характеристики:

- стандартное FC-соединение для волоконно-оптического кабеля различной длины и оптических FOV линз с углом поля зрения 1,2,3,4,5,8 и 10 градусов;

- прочная и надёжная анодированная алюминиевая конструкция;
- клавиатура и функциональный дисплей, встроенная память, которая может хранить до 2500 спектров;
- может калиброваться для измерения спектральной энергетической яркости и освещенности с помощью;
- привязка координат GPS, фото измеряемого объекта и голосовых заметок к файлу спектра с при использовании с GETAC PS336 PDA;
- высокая надежность – вся оптическая система не имеет движущихся частей;
- автоэкспозиция и автозатвор в одно касание;
- дистанционное зондирование с беспроводным интерфейсом Bluetooth;
- эксклюзивное программное обеспечение DARWin SP Data Acquisition;
- вся информация автоматически сохраняется в формате ASCII для последующей работы с ПО сторонних производителей.

Спецификация прибора представлена в таблице 9.

КПК Getac PS236 – это защищенный смартфон/коммуникатор на платформе Windows Phone/Mobile с сенсорным экраном 3.5", камера 3Мп, 4 Гб памяти, поддержка карт памяти, Bluetooth, Wi-Fi, 3G, GPS, вес 530 г. Программное обеспечение (ПО) DARWin Compact версии 1.2 служит пользователю средством связи с приборами SEI, а также даёт ему возможность получать, сохранять, вызывать из памяти и отображать полученные при сканировании спектров данные. Установка и работа упрощены для полевых условий, а полученные спектральные данные совместимы с ПО DARWin SP для настольного компьютера, что обеспечивает большую функциональность и более детальный анализ [14]. Вкладка Device представлена на рисунке 6а.

Таблица 9 – Спецификация PRS-1100f

Параметр	Значение
Спектральный диапазон	320 – 1100нм
Спектральное разрешение	3.0нм при 600нм
Пропускная способность	1.5нм
Тип матрицы	512-элементная фотодиодная матрица Si с размером пикселя 25мкм x 2,5 мм; Фиксированная решетка
Щель	50мкм
Конвертер A/D	16 бит
Воспроизводимость длины волны	0.1нм
Точность длины волны	0.5нм
Время интеграции	8 – 2000мс
Встроенная батарея	2800мАч литий-ионная аккумуляторная батарея с зарядным устройством переменного тока;
Затвор для темнового сканирования	Да
Нацеливание	Нет
Встроенная память	2500 scans in stand-alone mode
Автоматическая экспозиция	Да
Интерфейс	USB и Bluetooth Class 1 (до 100 м)
Размеры	17.78см x 7.62см x 16.51см
Вес	Менее 1,8 кг
Крепление	Крепление на штативе (¼ x 20 головка)
ПО	DARWin SP Data Acquisition Package (Windows совместимое)

Информационные индикаторы :

- Текстовое окошко "Device ID" (Идентификатор устройства) (model_serial number);
- Текстовое окошко "Next Scan", показывающее имя по умолчанию для очередного файла скана спектра, сохраняемого в папке для выходных данных, которая установлена по умолчанию;
- Кнопка "Edit Filename" для редактирования имени файлов с последующими спектральными сканами. Следующий полученный скан будет получать заданный номер последовательности с приращением на единицу для каждого нового скана;
- Кнопка "Set Output Folder" для изменения выходной папки по умолчанию. Пока её не изменили, она будет обозначена на внешней флэш-карте

Getac как "Sub_000". Для диалогов открытия файлов установлен лимит в 1000 файлов на папку, поэтому после того как будет получено 1000 сканов, будет создана новая папка с именем Sub_001 и файлы будут складываться уже в неё;

- Комбинированное окошко "Avg" (Средние значения) позволяет настроить усреднение скана (более высокие значения дадут более сглаженные спектры, но потребуют больше времени для их получения).

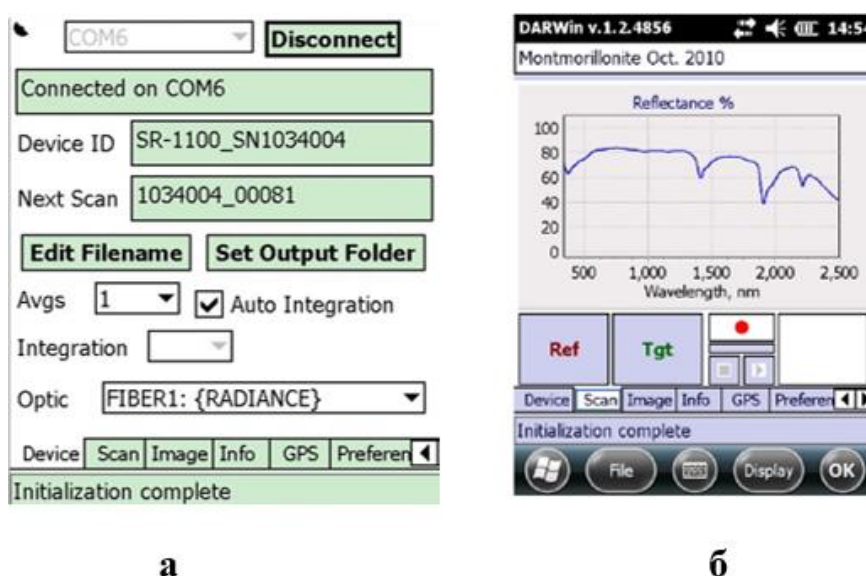


Рисунок 6 – Вид вкладки Device (а) и Scan(б) в DARWin

Основные действия совершаются во вкладке Scan, представлена на рисунке 6б.

2.5.2 Методика сбора данных

Алгоритм проведения полевых работ предполагает выполнение следующих шагов.

1. Прежде всего необходимо установить спектрорадиометр на штатив. Далее настроить КПК на работу с устройством, в меню Device установить Edit Filename и установить начало отсчета с 00001. Например, par_00001. Убедится, что облака не закрывают солнце, т.к. измерения необходимо проводить только в солнечную погоду. Далее перейти во вкладку Scan и начать измерения.

2. Установить штатив с прибором на тестовом участке поля.
3. Измерить спектр эталона. Для этого необходимо подставить под измерение эталон (MgO). Этот процесс представлен на рисунке 7а. При этом в КПК необходимо нажать кнопку Ref. В дальнейшем измерение спектра эталона необходимо производить при переходе на новое поле или если измерение происходит после того как солнце было скрыто тучами.
4. После этого в этой же точке произвести измерения спектра отражения объекта (необходимо нажать кнопку Tgt). Далее КПК производит автоматический расчет КСЯ объекта и его запись в прибор. Этот процесс представлен на рисунке 7б. После этого на графике произойдет изменение и внизу обновится запись Opened par_00001.
5. Произвести фотосъемку тестового участка (вид сверху – со стороны съемки спектрорадиометра).
6. При необходимости записать дополнительную информацию на бумажный носитель (номер фото, ошибочное измерение, сорняк и т.д.)
7. Перейти к следующей точке.

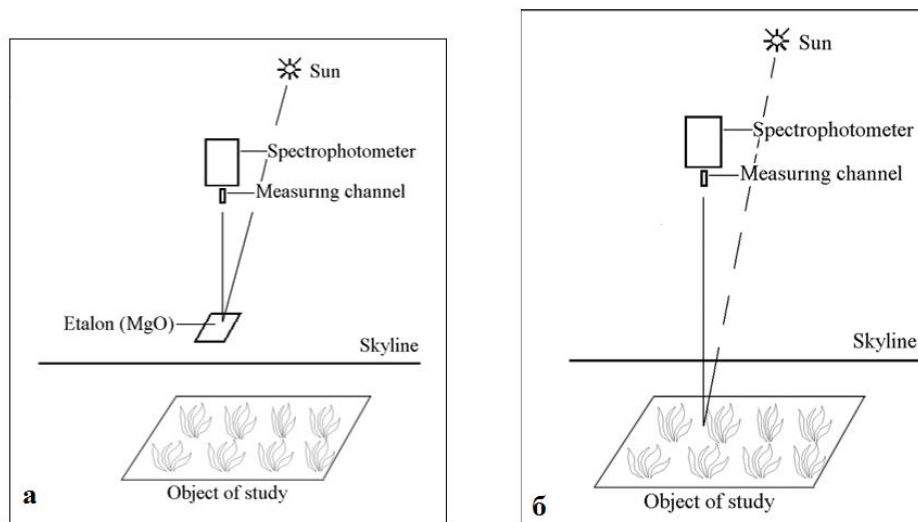


Рисунок 7 – Процесс измерения спектра эталона (а) и спектра изучаемого объекта(б)

Таким образом, по окончании измерений в памяти устройства хранятся данные о произведенных измерениях. У каждого измерения имеется два файла

с одинаковым название, но разным форматом – sed, пример содержимого файла представлен на рисунке 8, и raw.

```
Comment:
Version: 2.3 [1.2.5842C]
File Name: \My Documents\Spectral Evolution\par1_00007.
Instrument: PSR-1100_SN1724468
Detectors: 512,0,0
Measurement: REFLECTANCE
Date: 06/16/2017,06/16/2017
Time: 12:50:36,12:55:23
Temperature (C): 35.48,35.80
Battery Voltage: 8.36,8.35
Averages: 15,15
Integration: 12,100
Dark Mode: AUTO,AUTO
Foreoptic: FIBER1 {RADIANCE}, FIBER1 {RADIANCE}
Radiometric Calibration: RADIANCE
Units: W/m^2/sr/nm
Wavelength Range: 320,1100
Latitude: 56°04'59.24"N
Longitude: 92°40'39.87"E
Altitude: 244.20
GPS Time: 05:51:11
Satellites: 11/12
Calibrated Reference Correction File: none
Channels: 781
Columns [4]:
Data:
Wvl Rad. (Ref.) Rad. (Target) Reflect. %
320.0 2.634986E-002 1.007856E-003 3.8290
321.0 2.997576E-002 1.101742E-003 3.6782
322.0 3.377563E-002 1.239865E-003 3.6646
323.0 3.786926E-002 1.388876E-003 3.6693
324.0 4.236710E-002 1.514976E-003 3.5782
325.0 4.713986E-002 1.681335E-003 3.5639
326.0 5.159108E-002 1.849516E-003 3.5851
```

Рисунок 8 – Измерение спектра изучаемого объекта

Файл sed содержит данные о времени, дате, координатах измерений, а также данные об отражении в процентах.

В результате проведения наземных спектрометрических исследований получены, данные о КСЯ для интересующих нас сельскохозяйственных полей в период с июня по август.

2.6 Выводы

В данной главе приведено описание космических снимков и спутников с помощью которых они получены, а также описание состава поставляемого продукта Landsat 8 и Sentinel-2. Приведен процесс сбора наземных спектрометрических данных, описана используемая аппаратура, а также алгоритм проведения полевых работ.

3 Описание используемого программного обеспечения

3.1 Программный комплекс ENVI

Одним из наиболее удачных и доступных программных продуктов для визуализации, анализа и обработки данных ДЗЗ, включающим набор инструментов для проведения полного цикла обработки данных от ортотрансформирования и пространственной привязки изображения до получения необходимой информации и ее интеграции с данными геоинформационных систем (ГИС), является программный комплекс (ПК) ENVI, разработанный компанией Exelis VIS (США). Компания «Совзонд» является эксклюзивным дистрибьютором ПК ENVI на территории России и стран СНГ с 2005 г [16].

ПК ENVI и его дополнительные модули включают эффективные инструменты специализированной обработки и анализа как мультиспектральных, гиперспектральных так и радарных данных. Многие алгоритмы анализа изображений в ПК ENVI были специально разработаны для обработки больших объемов информации. Модульная структура программы дает пользователям возможность покупать только необходимые функциональные модули [16].

3.2 Программное обеспечение ESA SNAP

ESA SNAP – это свободно распространяемое программное обеспечение для обработки космических снимков, поддерживает продукты ERS-ENVISAT, Sentinels 1/2/3, а также ряд других спутниковых данных. Основные функции включают в себя: открытие продукта, изучение компонентов продукта, таких как полосы, маски и сетки. Инструменты навигации и функция информации о пикселях представляют собой некоторые из основных возможностей.

Архитектура SNAP идеально подходит для обработки и анализа данных наблюдения Земли за счет следующих технологических новшеств: расширяемость, переносимость, модульная клиентская платформа, общая абстракция данных наблюдения Земли и платформа обработки графиков.

3.3 Геоинформационная система Quantum GIS

Quantum GIS (QGIS) является геоинформационной системой с открытым исходным кодом. Работа над QGIS была начата в мае 2002 года, а в июне того же года – создан проект на площадке SourceForge. Первоначальная цель заключалась в облегчении просмотра геоданных и QGIS достигла той стадии в своем развитии, когда многие используют ее в своих ежедневных задачах просмотра [17].

QGIS позволяет использовать большое количество распространенных ГИС функций, обеспечиваемых встроенными инструментами и модулями. Можно просматривать и накладывать друг на друга векторные и растровые данные в различных форматах и проекциях без преобразования во внутренний или общий формат. Поддерживаются следующие основные форматы:

- пространственные таблицы и представления PostGIS, SpatiaLite и MSSQL Spatial, векторные форматы, поддерживаемые установленной библиотекой OGR, включая shape-файлы ESRI, MapInfo, SDTS (Spatial Data Transfer Standard), GML (Geography Markup Language) и многие другие;
- форматы растров и графики, поддерживаемые библиотекой GDAL (Geospatial Data Abstraction Library), такие, как GeoTIFF, Erdas IMG, ArcInfo ASCII Grid, JPEG, PNG и многие другие;
- растровый и векторный форматы GRASS (область/набор данных);
- пространственные данные, публикуемые в сети Интернет с помощью OGC-совместимых (Open Geospatial Consortium) сервисов Web Map Service (WMS) или Web Feature Service (WFS);
- данные OpenStreetMap (OSM) [17].

3.4 Геоинформационная система ArcGIS

ArcGIS представляет собой полную систему, которая позволяет собирать, организовывать, управлять, анализировать, обмениваться и распределять географическую информацию. Являясь мировым лидером среди платформ для построения и использования геоинформационных систем (ГИС), ArcGIS используется людьми по всему миру для применения географических знаний в практической сфере государственного управления, бизнеса, науки, образования и СМИ [18].

ArcGIS позволяет выполнять следующее:

- создавать, обмениваться и использовать интеллектуальные карты;
- компиляция географической информации;
- создавать и управлять базами географических данных;
- решение задач при помощи пространственного анализа;
- создание приложений на основании карт;
- связь и обмен информацией с использованием силы географии и визуализации [18].

3.5 Выводы

В данной главе приведено описание наиболее распространенных программных продуктов, применяемых для работы с космическими снимками. В данной работе каждый продукт предназначен для конкретной цели: ENVI – для работы со снимками Ресурс-П, SNAP – для извлечения данных из снимков Sentinel-2 и Landsat, Quantum GIS– для обработки снимков (вычисление NDVI, классификация, сегментация, векторизация, расчет площадей полигонов), ArcGIS – для классификации и сегментации. Использование ГИС ArcGIS обусловлено наличием методов сегментации отсутствующих в ГИС QGIS.

4 Обработка спутниковых данных

4.1 Векторизация полей

Перед началом обработки выбранных космических снимков необходимо векторизовать поля. Данная процедура проводилась по космическим снимкам, полученным ОЭА Геотон с пространственным разрешением 3 метра и включает в себя следующие этапы:

- создание векторного слоя границ полей;
- оцифровка границ сельскохозяйственных угодий;
- выявление пространственных неточностей и их устранение.

Векторизация производится в программном комплексе ENVI. Для начала векторизации необходимо открыть диалоговое окно (рисунок 9) инструмента Overlay\Vectors.

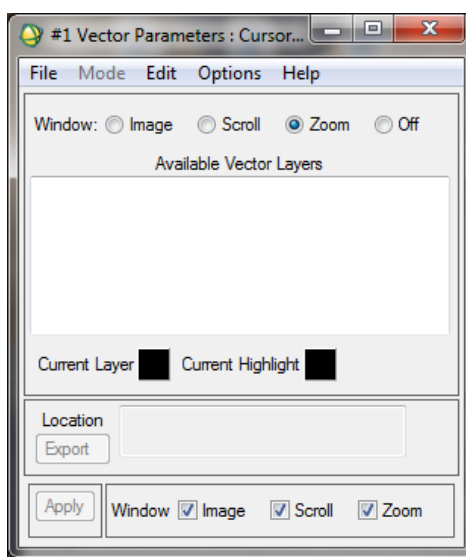


Рисунок 9 – Диалоговое окно инструмента Vectors

В открывшемся диалоговом окне для создания нового векторного файла необходимо выбрать инструмент File\Create New Layer и в открывшемся диалоговом окне (рисунок 10) заполнить поля Layer Name и указать путь для сохранения выходного файла. Выходной файл имеет формат evf.

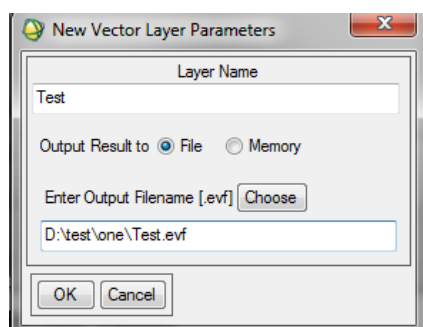


Рисунок 10 – Диалоговое окно инструмента Create New Layer

Для создания полигона, в диалоговом окне инструмента Vectors необходимо выбрать инструмент Mode\Add New Vectors, при этом активным слоем должен быть тот, в котором будет создан новый полигон. Кроме того, необходимо указать, в каком окне будет производиться векторизация в данном случае это окно Zoom. После чего в выбранном окне можно создать полигон для нужного поля. Для сохранения нового полигона необходимо правой кнопкой мыши кликнуть по полигону в открывшемся списке выбрать Ассерпт New Polygon. Процесс создания нового полигона представлен на рисунке 11.

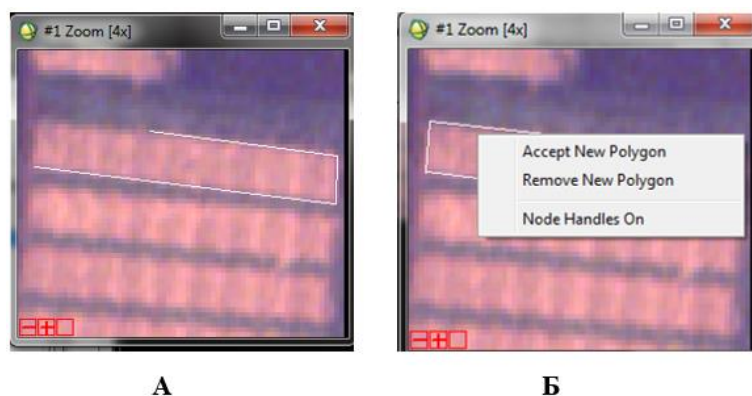


Рисунок 11 – Создание нового полигона (А – оцифровка границ, Б – сохранение полигона)

Таким образом векторизуются необходимые поля.

4.2 Переформатирование векторных файлов

Так как созданные векторные файлы в формате evf не поддерживаются ПО SNAP, в котором производится обработка снимков Sentinel-2, то необходимо переформатировать векторные файлы в формат shp. Для этого в ПК ENVI необходимо открыть инструмент Overlay\Vectors, далее в открывшемся диалоговом окне выбрать File\Open Vector File и выбрать нужные векторные файлы в формате evf. Далее с помощью инструмента File\Export Active Layer Shapefile (рисунок 12) производится сохранение выбранных векторов в формате shp.

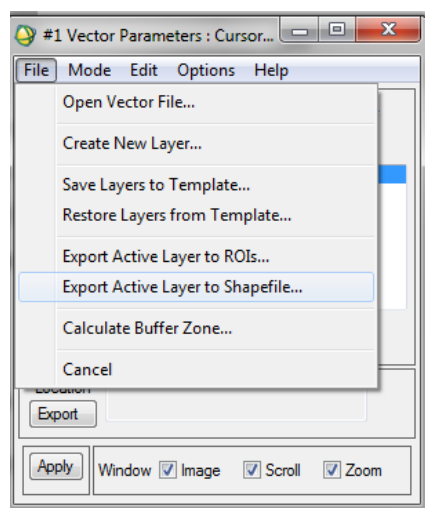


Рисунок 12 – Экспорт векторного файла в формате evf в формат shp

Таким образом производится перевод всех нужных векторов в необходимый, для работы в SNAP, формат.

4.3 Извлечение данных из снимков Sentinel-2

Для работы со снимками Sentinel-2 используется ПО SNAP. Для того, чтобы в выходном файле не было лишних каналов, в окне Product Explorer\Название снимка\Bands выделяются лишние каналы и удаляются, процесс представлен на рисунке 13.

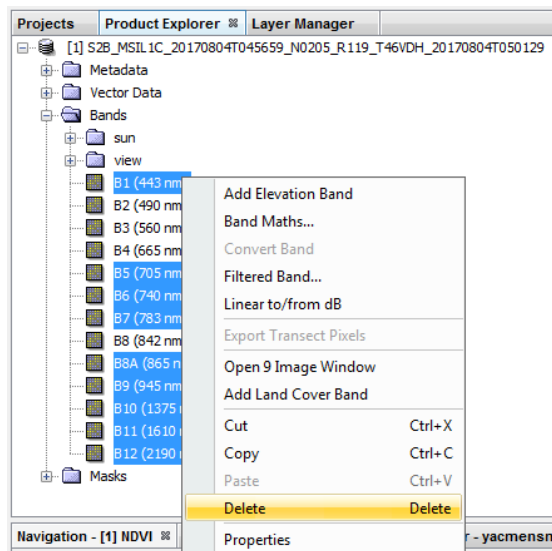


Рисунок 13 – Удаление ненужных каналов

Далее загружаются векторные файлы с помощью инструмента Vector\Import\ESRI Shapefile. Далее необходимо загрузить для визуализации каждый канал. На рисунке 14 приведен пример для канала B2 и загруженным полигоном, соответствующим полю.

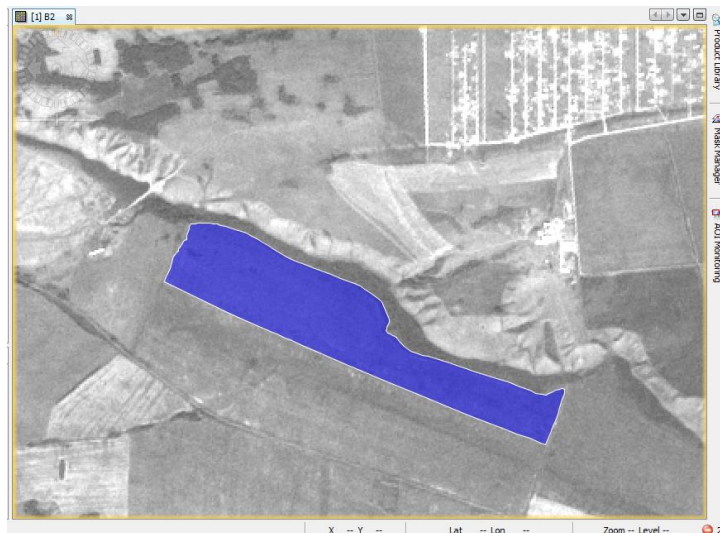


Рисунок 14 – Пример отображения векторного слоя полей и снимка Sentinel-2 (канал B2), открытого в ПО SNAP

Для извлечения данных в текстовый файл необходимо правой кнопкой мыши кликнуть по любой части снимка и появившемся списке выбрать Export

Mask Pixels на предложение Resampling Required согласится, в открывшемся диалоговом окне, представлен на рисунке 15, менять ничего не нужно.

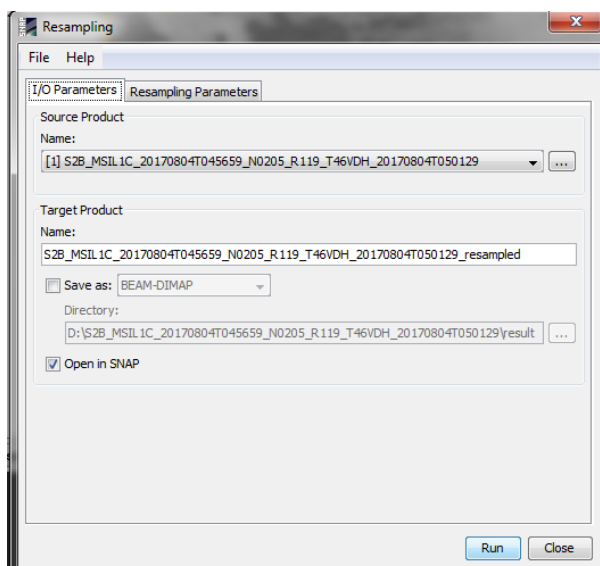


Рисунок 15 – Диалоговое окно Resampling

Дальнейший процесс представлен ниже на рисунке 16.

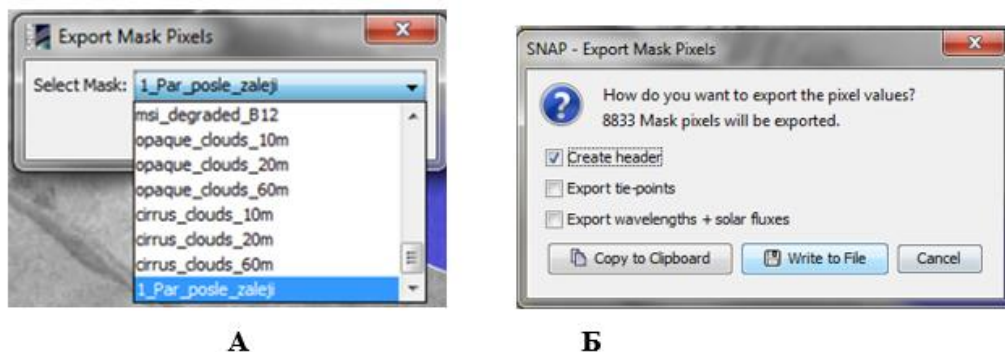


Рисунок 16 – Процесс создания текстового файла на основе маски (А – Выбор необходимой маски, Б – запись в файл (выбор пункта Create header необязательный))

Выходным файлом является текстовый файл значений пикселей, входящих в полигон, в формате txt, пример представлен на рисунке 17.

```
# Exported mask '1_Par_posle_zaleji' on 15-May-2018 12:51:28.000051
# Product name: S2B_MSIL1C_20170804T045659_N0205_R119_T46VDH_20170804T050129_resampled

Pixel-X Pixel-Y Longitude Latitude B2 B3 B4 B8 view_zenith_mean view_azimuth_mean sun_zenith sun_azimuth view_zenith_B1
view_azimuth_B1 view_zenith_B2 view_azimuth_B2 view_zenith_B3 view_azimuth_B3 view_zenith_B4 view_azimuth_B4 view_zenith_B5
view_azimuth_B5 view_zenith_B6 view_azimuth_B6 view_zenith_B7 view_azimuth_B7 view_zenith_B8 view_azimuth_B8 view_zenith_B8A
view_azimuth_B8A view_zenith_B9 view_azimuth_B9 view_zenith_B10 view_azimuth_B10 view_zenith_B11 view_azimuth_B11 view_zenith_B12
view_azimuth_B12
7997.5 8435.5 92.67756653636998 56.085523133367005 0.1087 0.0983 0.0738 0.2683 9.94744 98.45186 40.2018 160.299 10.0176 95.4918
9.87094 102.749 9.89033 101.096 9.91541 99.5733 9.93182 98.7534 9.95054 97.9234 9.97109 97.1045 9.8796 101.923 9.99382 96.2822 10.0451
94.6542 9.90621 100.081 9.94639 98.0993 9.99788 96.1431
7997.5 8436.5 92.6775672868252 56.08543328659767 0.1096 0.1002 0.0768 0.2467 9.94744 98.45186 40.2018 160.299 10.0176 95.4918
9.87094 102.749 9.89033 101.096 9.91541 99.5733 9.93182 98.7534 9.95054 97.9234 9.97109 97.1045 9.8796 101.923 9.99382 96.2822 10.0451
94.6542 9.90621 100.081 9.94639 98.0993 9.99788 96.1431
7999.5 8436.5 92.67772797806244 56.08543370609152 0.1114 0.1068 0.0803 0.301 9.94744 98.45186 40.2018 160.299 10.0176 95.4918
9.87094 102.749 9.89033 101.096 9.91541 99.5733 9.93182 98.7534 9.95054 97.9234 9.97109 97.1045 9.8796 101.923 9.99382 96.2822 10.0451
94.6542 9.90621 100.081 9.94639 98.0993 9.99788 96.1431
7999.5 8436.5 92.67788866930393 56.08543412537626 0.1115 0.1067 0.0805 0.3145 9.94744 98.45186 40.2018 160.299 10.0176 95.4918
9.87094 102.749 9.89033 101.096 9.91541 99.5733 9.93182 98.7534 9.95054 97.9234 9.97109 97.1045 9.8796 101.923 9.99382 96.2822 10.0451
94.6542 9.90621 100.081 9.94639 98.0993 9.99788 96.1431
8000.5 8436.5 92.67804936054972 56.0854345444519 0.113 0.1087 0.0807 0.3335 9.569282 98.31436 40.1871 160.415 9.64146
95.2422 9.49084 102.778 9.51057 101.06 9.53627 99.4784 9.55314 98.6263 9.57238 97.7645 9.59351 96.915 9.49965 101.919 9.61694 96.0611
9.6698 94.3725 9.52687 100.006 9.56812 97.9467 9.62112 95.917
```

Рисунок 17 – Пример выходного текстового файла

Первая строка указывает название маски, дату и время создания, Product name – название продукта. Далее значения в пикселях попадающие в выбранную маску с указанием координат и номеров каналов и других данных. Такие текстовые файлы создаются для всех необходимых векторов, для всех имеющихся снимков Sentinel-2.

4.4 Подготовка снимков Landsat

Перед тем, как начать работу с данными снимков Landsat, необходимо провести конвертацию данных из значений Digital Number в значения отражения на верхней границе атмосферы (TOA Reflectance), а также провести атмосферную коррекцию. Для этого используется плагин Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) в ГИС QuantumGIS. Для установки плагина в QGIS необходимо зайти в меню Модули\Управление модулями и во вкладке «Все» найти в списке Semi-Automatic Classification Plugin и щёлкнуть по кнопке «Установить модуль».

Теперь для конвертации данных и атмосферной коррекции необходимо зайти в меню SCP\Preprocessing\Landsat и в появившемся диалоговом окне заполнить необходимые поля, пример представлен на рисунке 18.

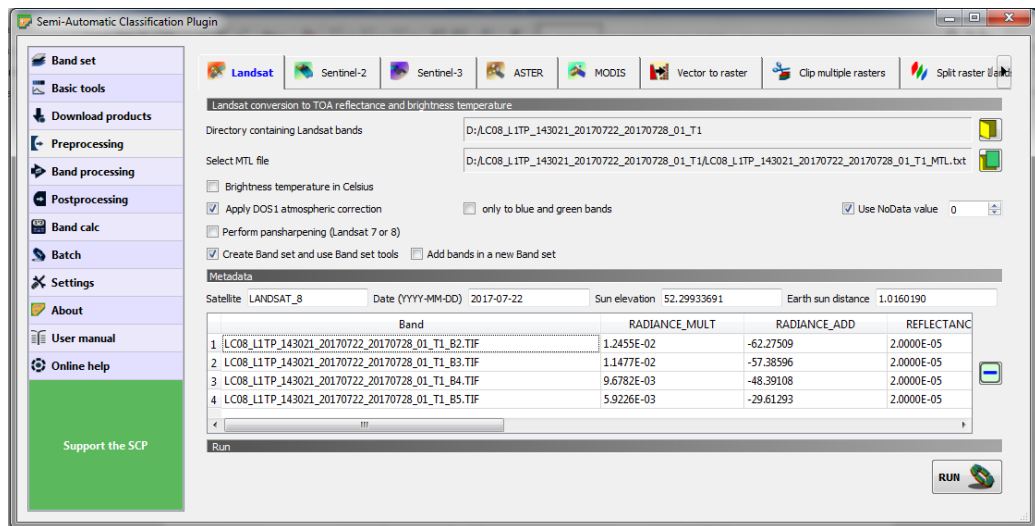


Рисунок 18 – Диалоговое окно Semi-Automatic Classification Plugin

Поскольку для работы необходимы только 2, 3, 4 и 5 каналы, то в списке Band удаляем остальные. После чего нажимаем на кнопку «Run» и выбрать папку куда сохраняться преобразованные растры, по завершении процесса компьютер издаст звуковой сигнал.

4.5 Извлечение данных из снимков Landsat

Поскольку каждый канал представлен отдельным растром, а это неудобно для дальнейшей обработки снимков, для облегчения работы растры объединяются в один многослойный снимок. Данная процедура проводилась в программном комплексе ENVI с помощью инструмента Layer Stacking. Важно учитывать последовательность, в которой слои будут состыкованы, в данном случае – по увеличению номера канала. Параметры “склеивания” каналов и создания выходного файла представлены на рисунке 19.

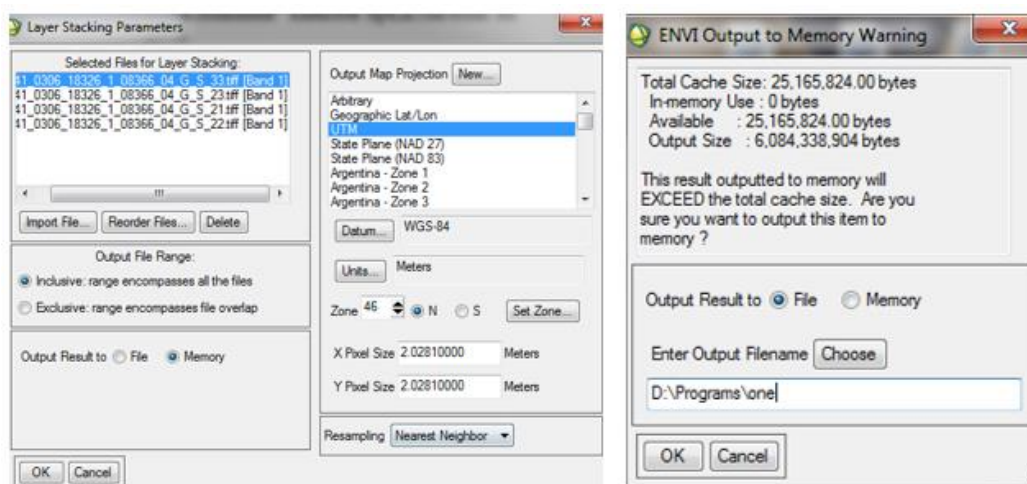


Рисунок 19 – Параметры “склеивания” 4 снимков в один

На выходе получается файл заголовка файла в формате hdr и файл растрового многоспектрального изображения.

Дальнейший процесс извлечение данных из снимков Landsat повторяет процесс извлечение данных из снимков Sentinel, описанный в пункте 4.3.

Таким образом, были получены текстовые файлы со значениями коэффициента отражения интересующих нас полей для снимков Landsat и Sentinel-2, необходимые для дальнейшего анализа.

4.6 Выводы

В данной главе описаны все этапы обработки спутниковых снимков – переформатирование, предварительная обработка снимков Landsat 8 OLI/TIRS и извлечение данных из снимков Sentinel и Landsat, создание векторного слоя полей. Описана работа с программным пакетом ENVI, ГИС QuantumGIS и SNAP.

5 Анализ данных

Для выявления значений отражения и индекса NDVI, соответствующих пару, был проведен сравнительный анализ этих показателей для засеянного поля и для пара. Местоположение тестовых полей представлено на рисунке 20.



Рисунок 20 – Границы тестовых полей на цветосинтезированном снимке (синтез каналов 2, 3 и 4) Sentinel-2 за 4 августа 2017 года

Вид полей во время полевых работ представлен на рисунках 21 и 22.

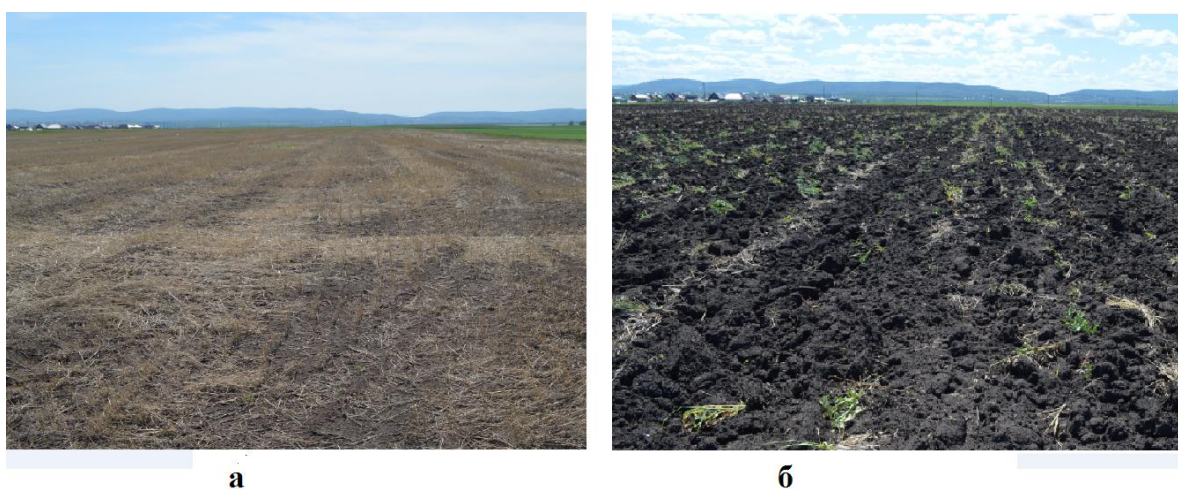


Рисунок 21 – Фотографии поля под паром: а – 16 июня 2017, б – 4 июля



а



б



в

Рисунок 22 – Фотографии поля с ячменём: а – 20 июня 2017, б – 4 июля, в – 15 августа (фото участка поля, нет общего плана)

Построены графики значений коэффициента отражения в синем, зеленом и красном каналах и NDVI по спутниковым данным для периода с апреля по август, графики представлены на рисунках с 23 по 27.

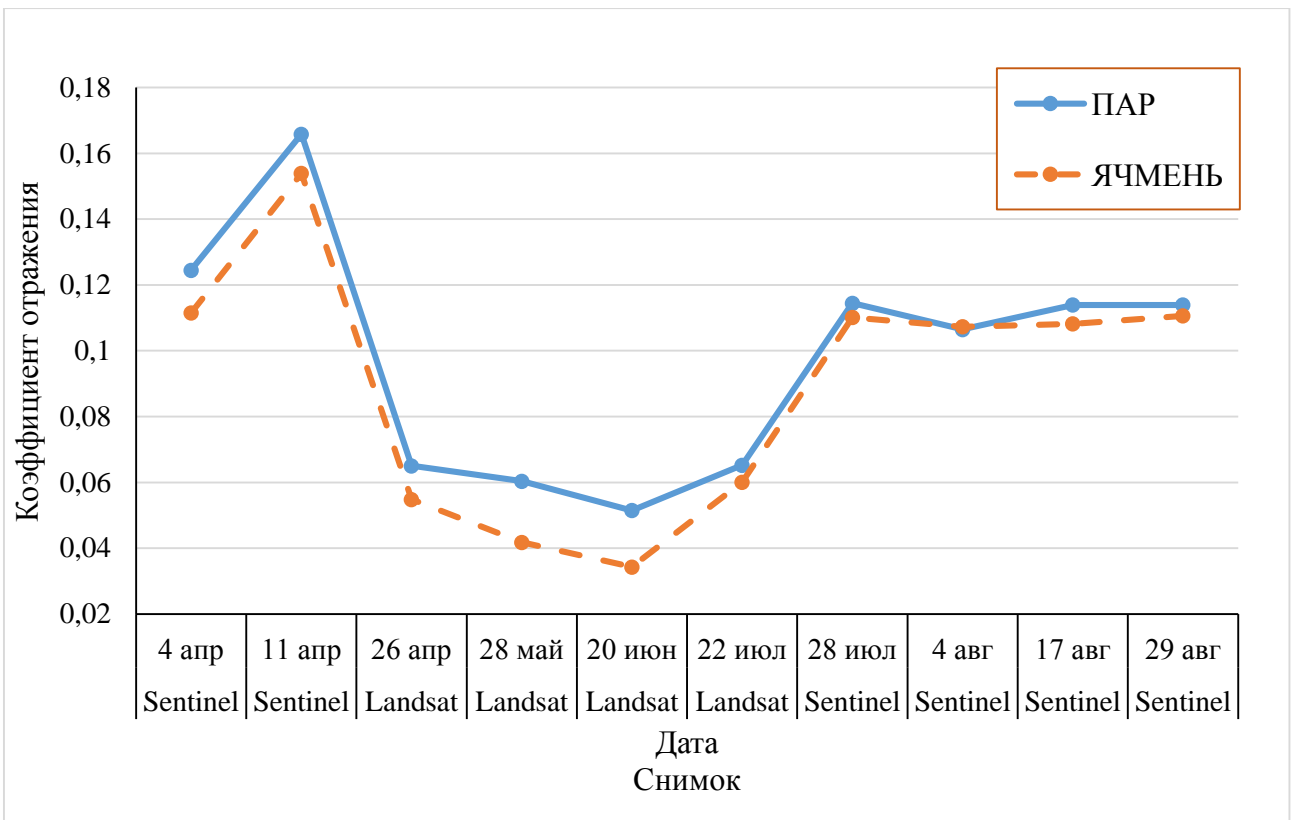


Рисунок 23 – Графики изменения коэффициента отражения в синем канале на протяжении вегетационного периода для пара и ячменя

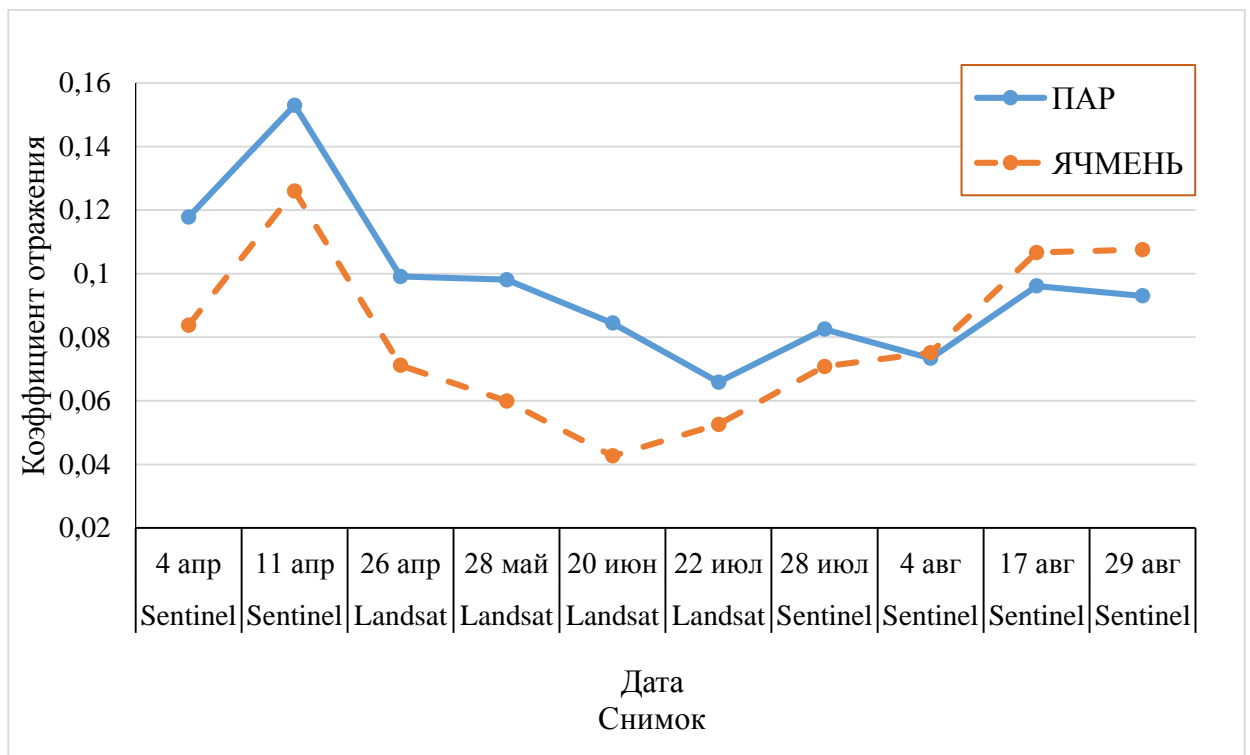


Рисунок 24 – Графики изменения коэффициента отражения в красном канале на протяжении вегетационного периода для пара и ячменя

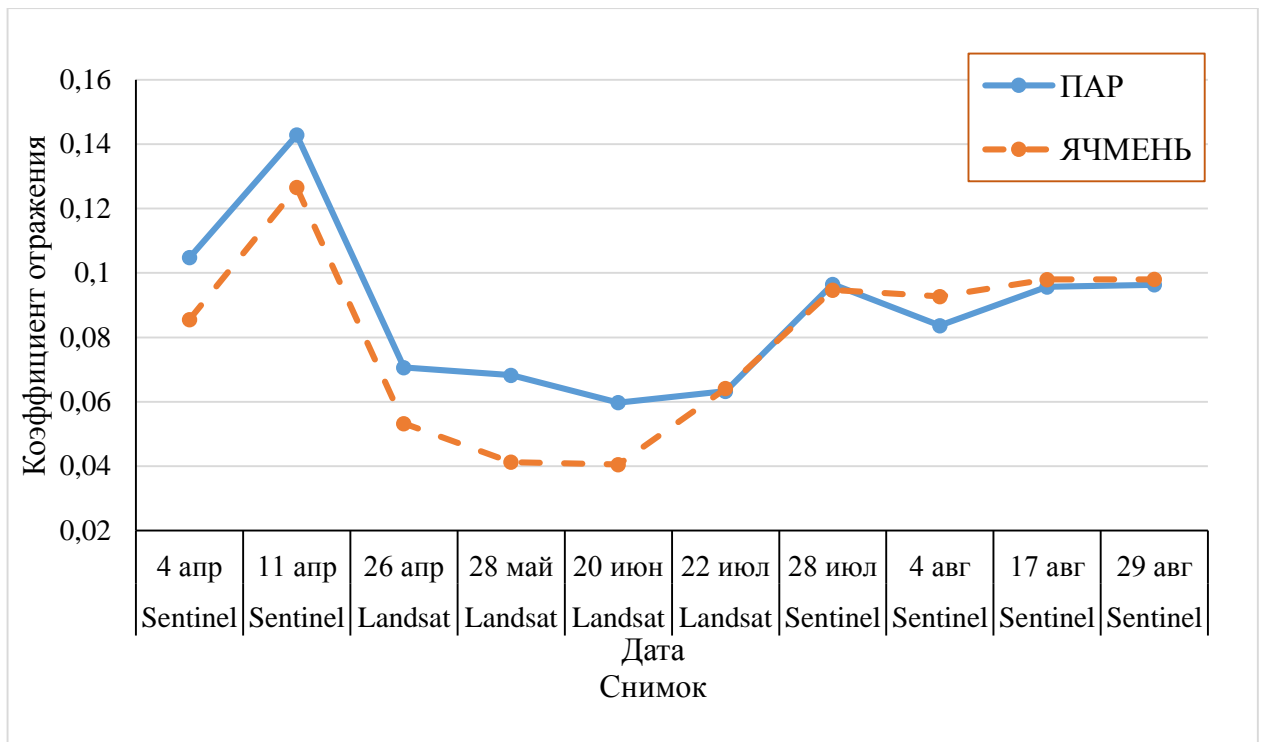


Рисунок 25 – Графики изменения коэффициента отражения в зеленом канале на протяжении вегетационного периода для пара и ячменя

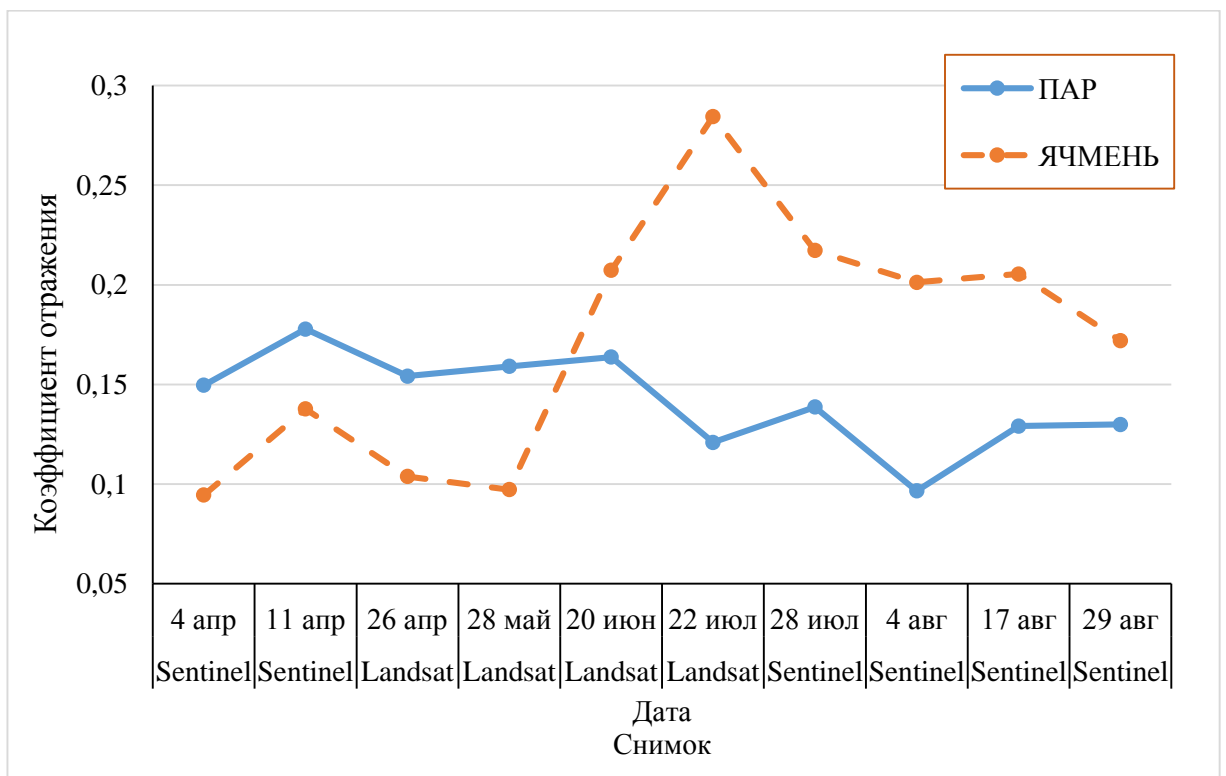


Рисунок 26 – Графики изменения коэффициента отражения в ближнем инфракрасном канале на протяжении вегетационного периода для пара и ячменя

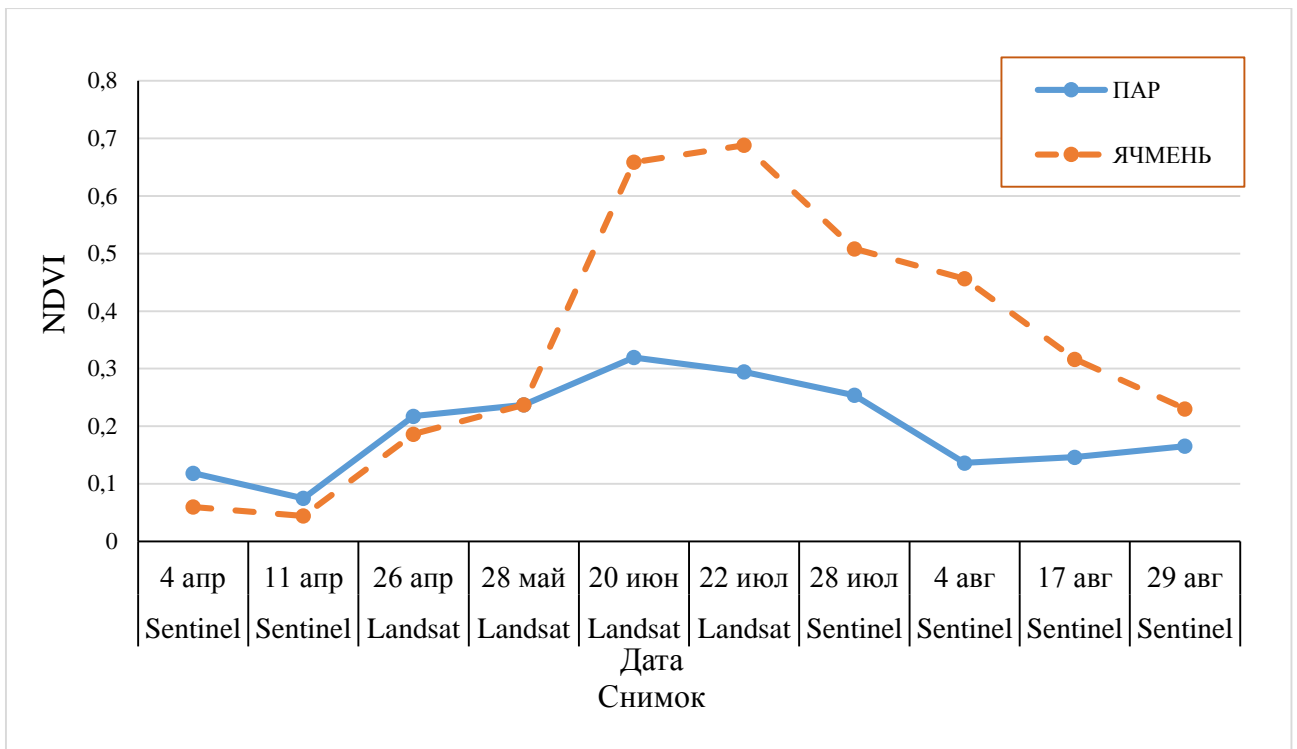


Рисунок 27 – Графики изменения NDVI на протяжении вегетационного периода для пара и ячменя

По графикам NDVI (рисунок 27) заметно, что наибольшие отличия в значениях приходятся на период с 20 июня по 4 августа.

Так как на поле имеются сорняки и стерни (остатки стеблей злаковых культур) необходимо построить графики, показывающие их влияние на КСЯ, графики представлены на рисунке 28.

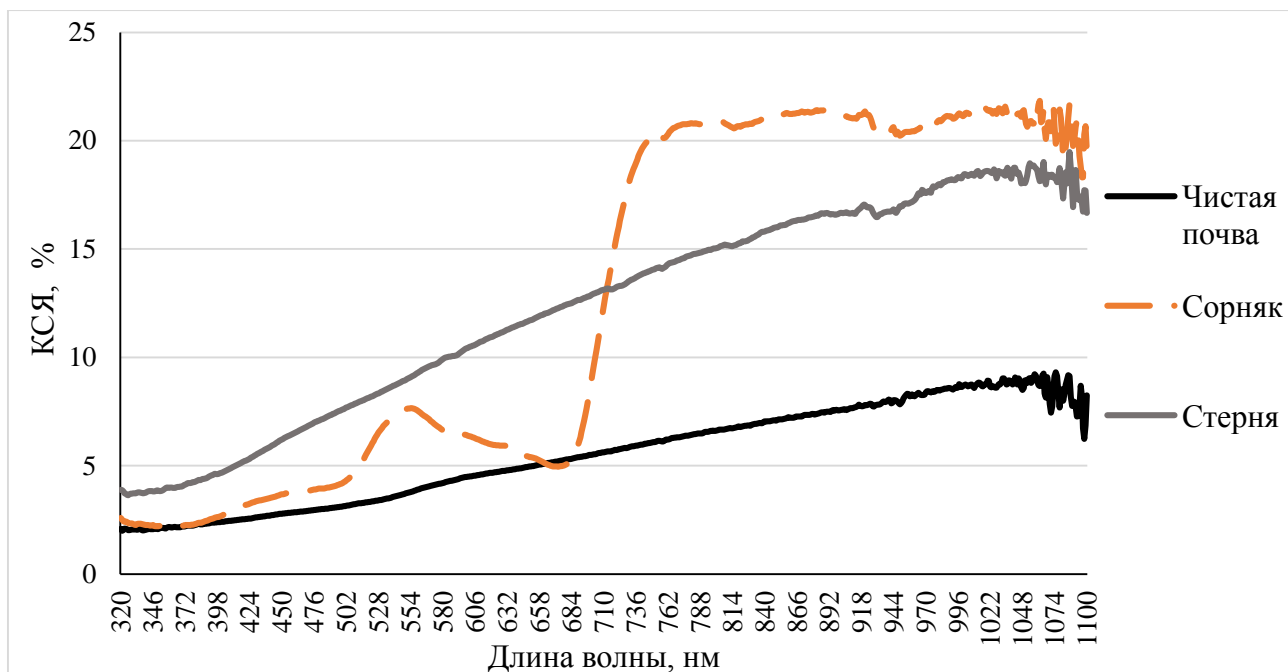


Рисунок 28 – Графики зависимости показателя КСЯ при различных видах засорения почв

Фотографии участков, для которых построены графики, представлены на рисунке 29.

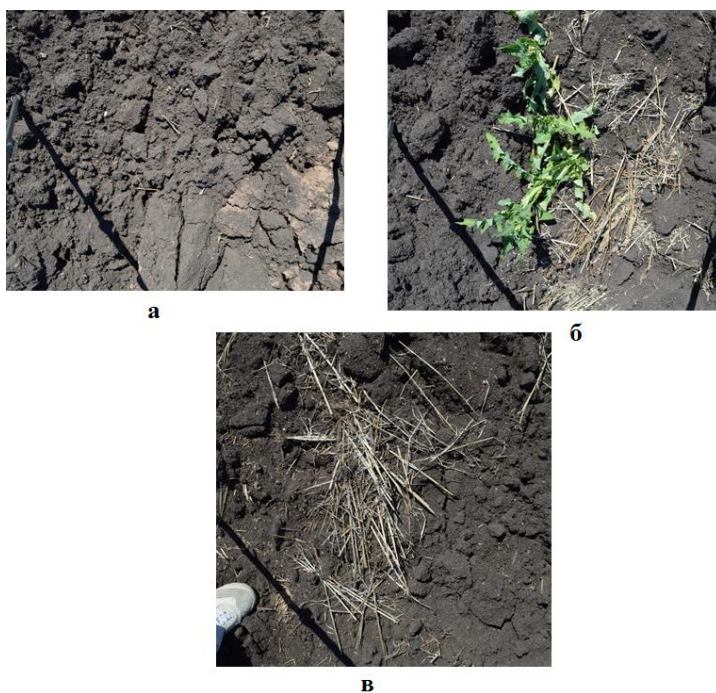


Рисунок 29 – Фотографии участков с почвой без засорений (а), с сорняком (б), остатками стерни (в)

Поскольку по графикам КСЯ (рисунок 28) видно, что наличие стерни значительно влияет на отражательные свойства, а поле в июне практически полностью покрыто стерней, то снимки за июнь не подходят для анализа. Таким образом, для выделения паров был выбран снимок Landsat 8 за 22.07.2017 как снимок с наибольшим отличием NDVI по сравнению с засеянным полем.

Для выделения паров на космическом снимке был построен растр с NDVI для нужной области с помощью плагина SCP в ГИС QGIS. Получившийся растр был обрезан по границам интересующей области с помощью инструмента Растр\Извлечение\Обрезать растр по маске. Результат представлен на рисунке 30.

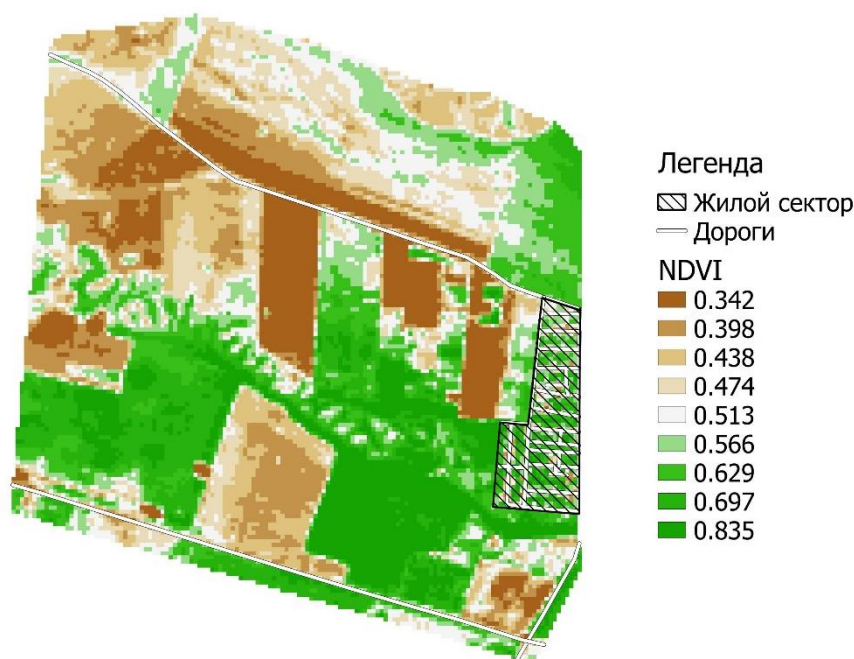
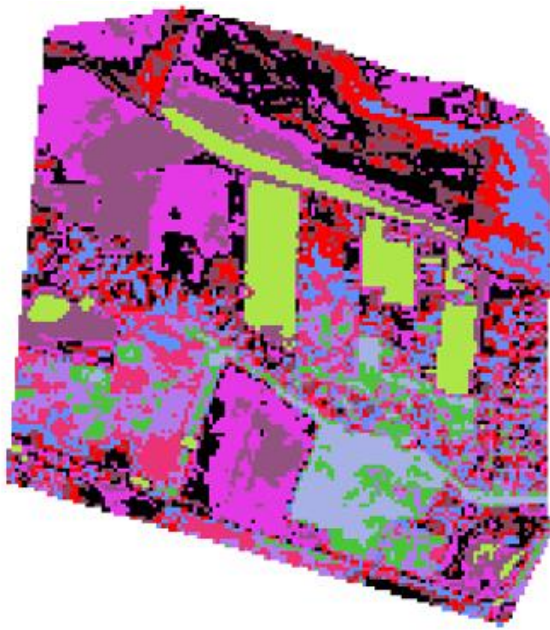
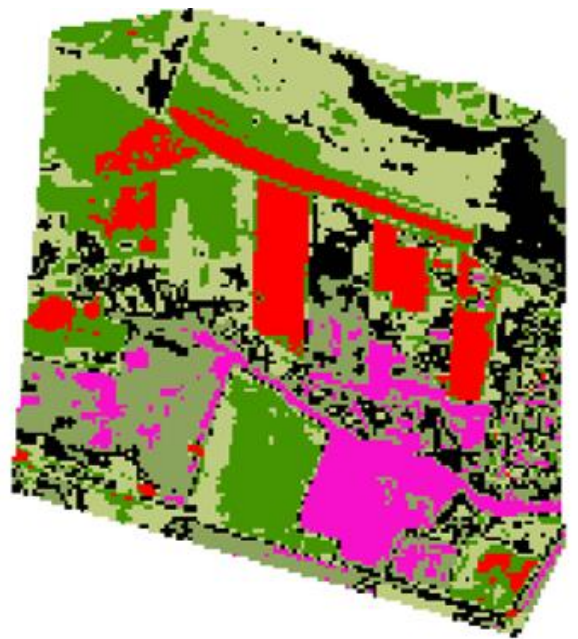


Рисунок 30 – Карта NDVI сельскохозяйственных полей близ п. Минино

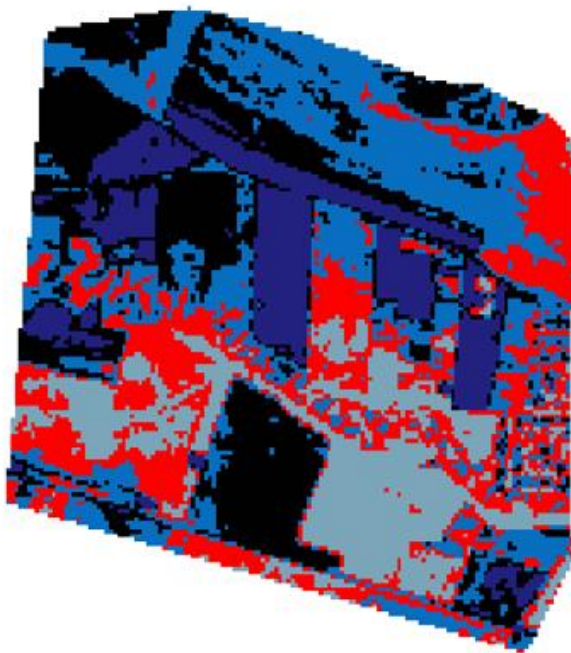
К полученному растровому слою NDVI были применены различные методы классификации и сегментации в различных ПО, результаты представлены на рисунке 31.



а



б



в



г

Рисунок 31 – Результаты применения к карте NDVI: а – ISODATA Clustering в QGIS(а), б – K-means Clustering в QGIS (6 кластеров), в – k-means Clustering в QGIS (5 кластеров), г – Segment Mean Shift в ArcGIS

Основная проблема классификаций ISODATA и k-means (k-средних) то, что поле Пар1 не выделялось полностью – верхняя правая часть отделялась, а при уменьшении количества кластеров эта проблема решилась, но в качестве пара выделялись дороги, в результате чего объединялись поля Пар7 и Пар3. Данная проблема отсутствует при сегментации методом среднего сдвига. Общая проблема всех попыток классификации и сегментации – это объединение полей Пар4, Пар5, Пар6 и в некоторых случаях Пар8 и объединение полей Пар1 и Пар9. Данная проблема может быть вызвана пространственным разрешением снимка – 30 метров, в то время как расстояние между полями 2–3 метра. Для дальнейшего анализа был выбран результат сегментации методом среднего сдвига, представленный на рисунке 32.

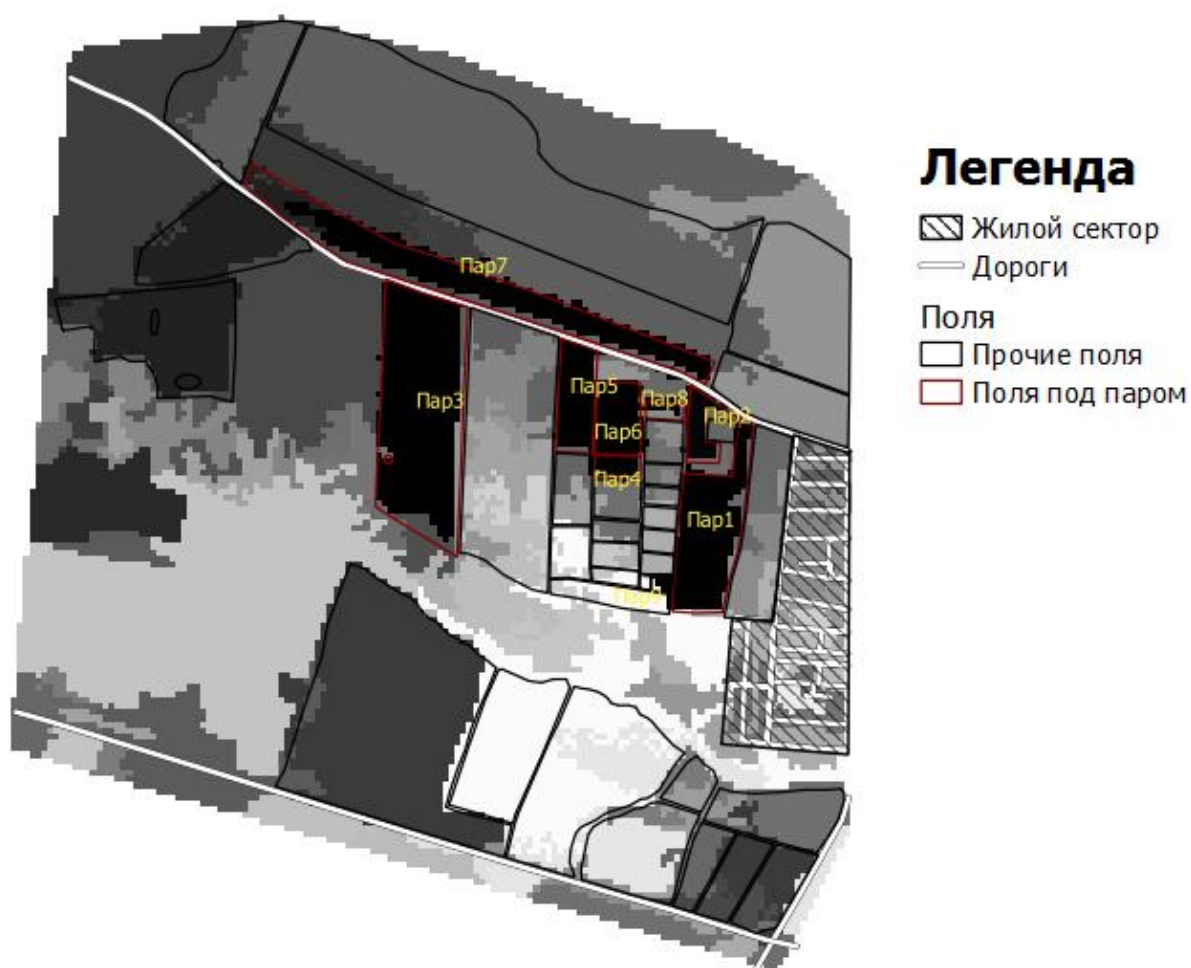


Рисунок 32 – Результат сегментации с выделенными границами полей

Растр с сегментацией был векторизован с помощью инструмента Растр\Преобразование\Создание полигонов в QGIS.

Для вычисления площадей и оценки точности полученных результатов, для векторного файла Vectorized (результат векторизации растра с сегментацией) и Поля (полигональный слой со всеми полями) в атрибутивные таблицы, с помощью Калькулятора полей, добавим поле area вычисляемое по формуле \$area. Данное поле отображает площадь полигона в метрах квадратных. Площади полей представлены в таблице 10. Для оценки точности вычисленных площадей была вычислена процентная погрешность. Так как некоторые поля в результате сегментации «слиплись» то для оценки площадей используется их сумма.

Таблица 10 – Сравнение площади полей при ручной векторизации и при векторизации сегментированного снимка

Название поля	Площадь полей при ручной векторизации (м ²)	Площадь полей при векторизации сегментированного снимка (м ²)	Погрешность оценки площади (%)
Пар1,9	229716,50	218663,03	4,81
Пар2	49675,00	45704,03	7,99
Пар3	481027,00	441804,47	8,15
Пар4,5,6,8	215177,00	222246,60	3,29
Пар7	357221,00	274222,96	23,23
Средняя погрешность			9,50

На основе полученной таблицы были сделаны следующие выводы:

- наибольшая погрешность площади получена для поля Пар7;
- несмотря на то, что поля Пар4, Пар5, Пар6, Пар8 объединились в одно поле, процентная погрешность невысокая, аналогично и для полей Пар1 и Пар9;
- средняя погрешность определения площади паров 9,5%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате данной работы была отработана методика оценки состояния площадей сельскохозяйственных посевов, в частности паров, по спутниковым и наземным спектрометрическим данным.

Был проведен анализ существующих методик поиска и оценки площади паров и в целом сельскохозяйственных полей по спутниковым данным, которые в большинстве случаев основываются на использовании вегетационного индекса NDVI.

Проведен сбор и предварительная обработка спутниковой информации. Получены данные о коэффициенте отражения для выбранных для сравнения полей (пар и засеянное поле – ячмень), на основе которых построены графики динамики коэффициента отражения для четырех спектральных каналов – синий, зеленый, красный и ближний инфракрасный, а также график NDVI. В результате анализа построенных графиков, выбран период и космический снимок наилучшим образом, подходящий для идентификации полей под паром.

Проведено полевое спектрометрирование объектов, полученные данные используются для оценки влияния засоренности (стернями и сорняками) на отражательные свойства, вследствие чего был сделан вывод об исключении снимков с высокой степенью засоренности для возможного анализа.

Был построен растр NDVI, для которого был подобран наилучший метод извлечения объектов из изображения – сегментация методом среднего сдвига. После чего вычислены площади полей полученные ручной векторизацией границ полей и полученные в результате векторизации сегментированного снимка. В результате анализа полученных расчетов выявлено, что средняя погрешность определения площадей полей под паром 9,5% – наименьшая погрешность 3,29%, наибольшая 23,23%.

Таким образом, можно сделать вывод об эффективности примененной методики и высокой точности полученных результатов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Медведева, О.Ю. Проблемы устойчивого землепользования в России: книга / О.Ю. Медведева. – Москва: ООО «Типография ЛЕВКО», 2009. – 104 с.
2. Богомазов, С. В. Основы технологии сельскохозяйственного производства / С. В. Богомазов, Е. В. Павликова, О. А. Ткачук – Пенза: РИО ПГСХА, 2014 – 146 с.
3. Сельскохозяйственный энциклопедический словарь / Гл. ред. В. К. Месяц. – Москва: Сов. энциклопедия, 1989. – 656 с.
4. Терехин, Э.А. Применение материалов космической съемки для оценки площади и состояния чистых паров Белгородской области / Э.А. Терехин // Научные ведомости – 2015. – Т. 32, № 15 – С. 178–183.
5. Valkov, V. Spectroscopy in Agriculture – Managing Crops and Assessing Food Quality [Электронный ресурс] / V. Valkov – AZoMaterials. – 2017. – Режим доступа: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=14434>
6. Сидько, А. Ф. Анализ динамики спектральной отражательной способности посевов сельскохозяйственных культур в период вегетации на территории Красноярского края и республики Хакасия по наземным и спутниковым измерениям / А. Ф. Сидько, И. Ю. Пугачева, А. П. Шевырнов // Исследования Земли из космоса. – 2008. – № 6. – С. 1– 8.
7. Гопп, Н. В. Использование вегетационного индекса (NDVI) для оценки запасов наземной фитомассы тундровых сообществ растений / Н. В. Гопп, В. В. Смирнов // Гео-Сибирь – 2009. – Т. 4, № 1 – С. 187–191.
8. Терехин, Э.А. Распознавание залежных земель на основе сезонных значений вегетационного индекса NDVI / Э.А. Терехин // Компьютерная оптика. – 2017. – Т. 41, № 5. – С. 719-725.

9. Belgi, M. Sentinel-2 cropland mapping using pixel-based and object-based time-weighted dynamic time warping analysis / M. Belgi, O.Csillik // Remote Sensing of Environment – 2018. – № 204. – С. 509 – 523.
10. Сайт ЗАО Научно-производственный геоинформационный центр «Геоцентр-Консалтинг» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.geocentre-consulting.ru/products/index?section=78>
11. Кирилин, А.Н. Космический аппарат «Ресурс-П» / Р.Н. Ахметов, Н.Р. Стратилатов, А.И. Бакланов, В.М. Федоров, М.В. Новиков // Геоматика – 2010. – № 4 – С. 23 – 26.
12. Пешкун, А. А. Ресурс-П. Возможности. Стандартные продукты В кн.: Материалы 14-ой Международной научно-технической конференции «От снимка к карте: цифровые фотограмметрические технологии», о. Хайнань: 2014. С. 27–32.
13. Сетевая энциклопедия Wikipedia [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Sentinel-2>
14. Дворкин, Б.А. Европейская программа GMES и перспективная группировка спутников ДЗЗ Sentinel / Б.А. Дворкин // Геоматика – 2011. – № 3 – С.14 – 26.
15. DARWin Compact для мобильной версии v1.2. Руководство пользователя: SpectralEvolutionInc – 2013. – 24 с.
16. Горбачева, Е.Н. Программный комплекс ENVI – профессиональное решение для комплексной обработки мультиспектральных, гиперспектральных и радарных данных / Е.Н. Горбачева // Геоматика – 2013. – № 2 – С.50 – 54.
17. Руководство пользователя QGIS версия 1.8.0 – 2013. – 283 с.
18. Обзор ArcGIS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.geocentre-consulting.ru/products/index?section=78>