



УДК 528.88:631.15

Выбор оптимального метода распознавания сельскохозяйственных культур по космоснимкам высокого разрешения (на примере Саратовского Заволжья)



**В. З. Макаров, В. А. Гусев,
П. А. Шлапак, Д. А. Решетарова**

Макаров Владимир Зиновьевич, доктор географических наук, профессор, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, makarovvz@rambler.ru

Гусев Виктор Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, geograf-nauka@yandex.ru

Шлапак Павел Александрович, старший преподаватель, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, henryxiv@list.ru

Решетарова Даниэлла Александровна, ассистент, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, reshetarova_dana@mail.ru

Статья посвящена поиску оптимального метода распознавания сельскохозяйственных культур по космоснимкам высокого разрешения (на примере съемочных систем Landsat 8 и Sentinel 2). Перечислены преимущества и недостатки существующих алгоритмов обработки космоснимков разных спутниковых систем, обозначены критерии выбора оптимального метода дешифрирования. Результатом исследования стали применение оптимального алгоритма определения видов сельскохозяйственных культур и его верификация на пахотных землях Саратовского Заволжья.

Ключевые слова: спутниковые системы Landsat 8, Sentinel 2, данные дистанционного зондирования Земли, спектральные образы сельскохозяйственных растений, кривые спектральных яркостей, сельское хозяйство, Саратовское Заволжье.

Поступила в редакцию: 21.03.2020 / Принята: 12.04.2020 / Опубликована: 31.08.2020

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

The Selection of the Optimal Detection Method for Agricultural Crops by Satellite Images of High Resolution (the Saratov Volga Region as an Example)

V. Z. Makarov, V. A. Gusev, P. A. Shlapak, D. A. Reshetarova

Vladimir Z. Makarov, <https://orcid.org/0000-0003-0505-5257>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, makarovvz@rambler.ru

Victor A. Gusev, <https://orcid.org/0000-0001-9223-2447>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, geograf-nauka@yandex.ru

Pavel A. Shlapak, <https://orcid.org/0000-0002-6418-8749>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, henryxiv@list.ru

Daniella A. Reshetarova, <https://orcid.org/0000-0002-7335-5051>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, reshetarova_dana@mail.ru

The article provides finding the optimal method for crop detection by high resolution satellite imagery (using the Landsat 8 and Sentinel 2 shooting systems as an example), examines the advantages and disadvantages of existing algorithms and recording systems and selects the optimal method. The result of the study is the application of the optimal algorithm for crop detection and its verification on arable lands of the Saratov Volga region.

Keywords: Landsat 8, Sentinel 2, Earth remote sensing data, spectral images, spectral brightness curves, agriculture, Saratov Volga region.

Received: 21.03.2020 / Accepted: 12.04.2020 / Published: 31.08.2020

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2020-20-3-162-170>

Актуальность исследования

Космические снимки являются одним из наиболее важных и широко применяемых инструментов получения информации для анализа пространственных данных. Ключевыми преимуществами методов аэрокосмических исследований являются: постоянная актуализация информации, высокая изобразительность и детальность рисунка снимаемой земной поверхности, строго определенные сроки получения данных, общедоступность спутниковой информации. Кроме того, космическая съёмка активно используется в картографии для актуализации и уточнения пространственной информации, в некоторых случаях заменяя полевые работы [1].

Наибольшее применение данные дистанционного зондирования находят в тех областях, где принципиально важна актуальная информация: мониторинг меняющейся экологической обстановки, прогнозирование развития опасных быстроразвивающихся процессов (затопление, лесные пожары), контроль состояния сельскохозяйственных угодий [2–6].

Одним из трендов в аэрокосмических исследованиях сельскохозяйственных угодий стало активное использование достаточно сложных



алгоритмов анализа снимков. Полученные со съёмочных систем изображения могут быть использованы для решения разных задач:

- мониторинга состояния растений на разных этапах вегетации [7–9];
- кадастровой оценки земельных угодий [10];
- идентификации сельскохозяйственных культур [11–14].

Проблема достоверного распознавания по космоснимкам сельскохозяйственных растений активно решается в России и за рубежом [1, 8, 9, 11–14]. Среди главных задач принципиально важными являются следующие: выбор доступных и достоверных методов распознавания культур, определение наиболее подходящих съёмочных систем и программных комплексов.

Часто для идентификации сельскохозяйственных растений используются снимки низкого разрешения (например, данные спектрорадиометра MODIS), по которым прослеживается изменение спектральных индексов [8, 9, 11, 13]. Однако недостаточная детальность этих снимков не позволяет проводить исследования на уровне отдельных сельскохозяйственных полей. Кроме того, полученная за весь вегетационный сезон информация теряет свою актуальность.

Другой подход при дешифрировании космоснимков заключается в применении специальных преобразований (например, трансформации Tasseled Cap, построения спектральных кривых) [1, 12, 15]. Но радиометрические возможности ныне используемых съёмочных систем не позволяют проводить идентификацию отдельных сельскохозяйственных культур по единовременным снимкам.

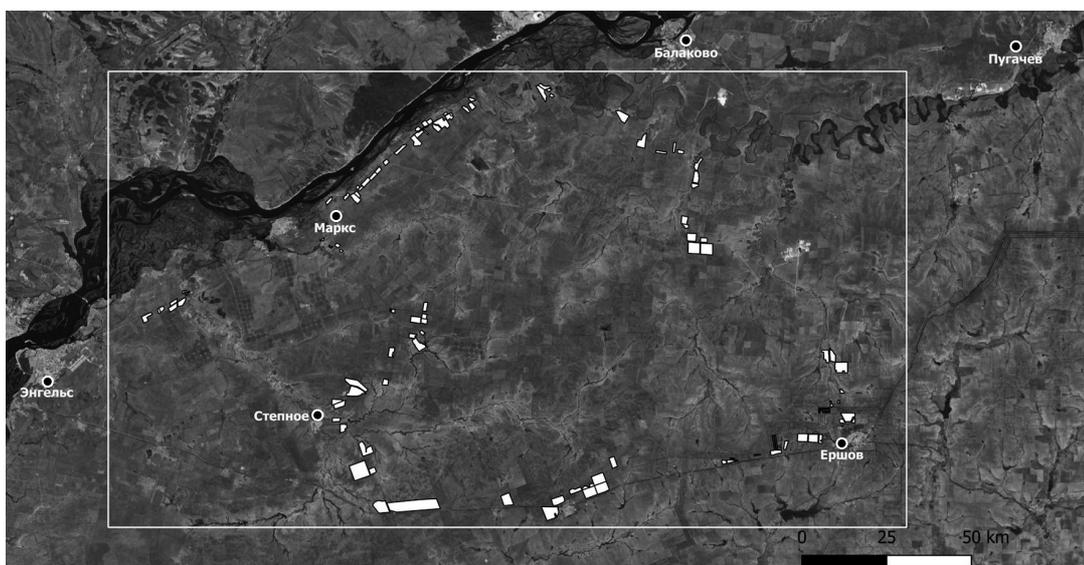
Целью данного исследования является выбор доступного и достоверного алгоритма распознавания сельскохозяйственных культур на космоснимках высокого разрешения. При этом важнейшими условиями решения указанной проблемы стали следующие: низкая стоимость используемых материалов и программного обеспечения, широкая возможность экстраполяции результатов, их доступность (в том числе для пользователей, не обладающих специальными знаниями в области аэрокосмических исследований), постоянно поддерживаемая актуальность информации.

В соответствии с поставленной целью решаются следующие задачи:

- выбор съёмочных систем с оптимальными характеристиками сенсоров;
- определение наиболее достоверных и применимых алгоритмов идентификации сельскохозяйственных культур;
- поиск программного обеспечения, позволяющего с наименьшими затратами реализовать выбранные алгоритмы;
- верификация распознавания сельскохозяйственных культур на основе полевых данных.

Характеристика объекта и методы исследования

Объектом исследования стали сельскохозяйственные угодья на волжских террасах и Низкой Сыртовой равнине в Саратовском Заволжье (рис. 1). Модельный полигон, где проводились полевые наблюдения, расположен в третьем и четвёртом сельскохозяйственных округах в Марковском, Энгельском и Ершовском муниципальных районах в южной полосе типичной степи [16].



Условные обозначения

- Города
- Ключевые участки

Рис. 1. Схема расположения ключевых участков сельскохозяйственных культур в Саратовском Заволжье (мозаика составлена из снимков Landsat 8. Июнь 2019 г.)



Почвы преимущественно суглинистые и глинистые темно-каштановые. Распаханность территории в Марксовском районе составляет 62%, Энгельском – 48%, Ершовском – 60,6%, Балаковском – 54%, Советском – 73,5%. На землях волжских террас культивируются овощные культуры, пшеница, сорго, нут, кукуруза, ячмень, подсолнечник.

На плакорно-увалистых сыртовых равнинах возделывают яровую пшеницу, ячмень, просо, сорго. Сельскохозяйственные земли центральной части Левобережья являются важнейшим ресурсом аграрного комплекса Саратовской области. Однако они требуют постоянного контроля своего агроэкологического состояния. Этим обусловлено место выбора модельного полигона с ключевыми участками полевых работ. Кроме того, для использования алгоритмов распознавания видов сельскохозяйственных растений по космоснимкам необходимы продолжительная безоблачная погода, малая залесенность территории, разнообразие выращиваемых культур. Модельная территория отвечает указанным условиям.

На предварительном этапе работ в качестве источников информации были использованы почвенные, ландшафтные, климатические карты, цифровые модели рельефа, мозаики снимков среднего и высокого разрешения, хранящиеся в фондах НВОЦ ГИС-центра СГУ. На основе данных материалов были разработаны полевые маршруты, вероятные «участки интереса» (ROI), формы описания объектов.

Выбор конкретных земельных угодий на местности осуществлялся на основании следующих требований:

- однозначная идентификация культур в полевых условиях;
- минимальная засоренность полей;
- максимальное разнообразие участков в границах модельного полигона.

На полевом этапе были определены виды культур, выявлены стадии вегетации растений, получен качественный показатель проективного покрытия. В программном комплексе QGIS 3.4 созданы пространственные объекты типа «полигон» в shape-файлах. Затем вся полученная информация была внесена в базы данных как атрибутивные свойства объектов. Всего было изучено 112 ключевых участков на территории между населенными пунктами Энгельс – Балаково – Пугачев – Ершов – Степное. Полевые работы проводились во второй декаде июня 2019 г. Площадь участков определялась размерами массивов сельскохозяйственных полей (до 10 км²). Схема расположения ключевых участков представлена на рис. 1.

На ключевых участках было определено 17 видов сельскохозяйственных растений, выделены культуры, формирующие наиболее многочисленную выборку. Это подсолнечник, озимая пшеница, просо, нут. Затем все участки с разными культурами были разбиты на две груп-

пы: обучающие и проверочные. Разделение было проведено в пропорции 4/1 согласно принятым требованиям к разбиению выборочной совокупности признаков [7].

Для поиска наилучшего метода распознавания сельскохозяйственных культур сделан сравнительный анализ съёмочных систем, методов классификации и программных комплексов.

Выбор съёмочной системы

Были рассмотрены требования к характеристикам съёмочных систем. Предпочтение отдавалось системам со следующими характеристиками снимков:

1) доступность снимков. Все космоснимки можно разделить на коммерческие и свободно распространяемые. Стоимость является важным аргументом для выбора. Желательно получить как можно более дешёвые снимки хорошего качества. В последние десятилетия на рынке космоснимков наблюдается тенденция к уменьшению средней цены снимка по отношению к детальности изображения. Ныне в открытом доступе можно найти снимки с высоким пространственным разрешением [17];

2) актуальность снимков. Для мониторинга состояния сельскохозяйственных культур постоянное обновление информации имеет первоочередное значение. Актуальность снимка характеризуется параметром «временное разрешение», определяемым как периодичность повторения съёмки одной и той же сцены. Чем меньше значение временного разрешения, тем лучше прослеживаются изменения объекта во времени. Однако проявляется и другое соотношение: чем выше детальность снимка, тем ниже его временное разрешение [8];

3) детализация объектов на снимке. Определяется параметром «пространственное разрешение», который показывает минимальный предел различимости объекта на снимке. Сверхвысокая детализация может быть полезной для изучения небольших объектов, но создаёт дополнительные сложности при идентификации более крупных. Обычно чем выше детальность снимка, тем больше его стоимость, меньше пространственный охват [8];

4) радиометрическое разрешение снимка. Этот параметр определяет ширину зон электромагнитного спектра излучения, исходящего от объектов. Разные объекты имеют наиболее характерные показатели отражения в разных спектральных диапазонах. Для идентификации растений наиболее важен ближний инфракрасный диапазон (NIR) ~0,7–0,9 мкм. Чем уже интервал регистрации излучения в данном диапазоне, тем выше вероятность распознавания сельскохозяйственных культур [17].

Современные спутниковые системы и фонд космических снимков можно разделить по сочетанию вышеобозначенных характеристик на несколько групп (таблица).



Сравнение групп съёмочных систем по коммерческим, пространственным, временным и радиометрическим характеристикам снимков [7, 18, 19]

Название	Плата за использование	Пространственное разрешение, м / пространственный охват, км	Временное разрешение, количество дней	Количество каналов в NIR зоне
1. Коммерческие снимки сверхвысокого разрешения (Pleiades, SPOT, KOMPSAT, Ресурс-П и др.)	Присутствует	0,4–5/15–25	До 5	1–2
2. Свободно распространяемые снимки среднего и высокого разрешения (Landsat, Sentinel 2, Aster и др.)	Отсутствует	10–30/60–300	10–20	1–5
3. Свободно распространяемые снимки низкого разрешения (Sentinel 3, MODIS и др.)	Отсутствует	300–1000/1270–2300	1–2	10–12

Сравнительный анализ детекторов трёх спутниковых систем позволил сделать следующие выводы.

1. Съёмочные системы первой группы имеют снимки с высоким пространственным разрешением, высокой детальностью изображения объектов. Однако малое количество каналов в ближнем инфракрасном диапазоне, их слишком широкий диапазон не позволяют дешифровать разные виды сельскохозяйственных растений.

2. Съёмочные системы третьей группы, напротив, имеют достаточно большое количество узких каналов регистрации излучения в ближней инфракрасной зоне, но очень низкое пространственное разрешение, что также не позволяет идентифицировать сельскохозяйственные культуры. Например, массив сельскохозяйственных полей площадью 900 га на изображении спектрорадиометра MODIS в любом из каналов NIR диапазона будет визуализирован лишь с помощью 9 пикселей. Тем не менее эта группа систем достаточно часто используется для общей классификации снимков.

Отметим, что снимков, полученных с помощью третьей группы съёмочных систем, довольно много. На них представлены разные агроэкологические процессы и явления (загрязнение водоемов, тепловые характеристики подстилающей поверхности, вегетационные характеристики растений и др.) [8, 15].

3. Вторая группа съёмочных систем более отвечает обозначенным выше критериям. Детекторы рассматриваемой группы систем создают снимки с оптимальным сочетанием требуемых характеристик. Снимки имеют относительно высокое пространственное разрешение, сняты в нескольких узких каналах ближнего инфракрасного диапазона спектра. Отметим частую повторяемость съёмки. Важным преимуществом этой группы также является свободное распространение снимков.

На следующем этапе исследования определялась конкретная съёмочная система, наилучшим образом удовлетворяющая критериям поставленной задачи. Здесь принципиально важно оптимальное сочетание уровня пространственного разрешения снимка и числа каналов в диапазоне NIR.

Указанному требованию соответствуют снимки Sentinel 2 Европейского космического агентства. Изображения этой съёмочной системы имеют в ближнем инфракрасном диапазоне четыре узких (15–20 нм) канала и один широкий (115 нм), а также удовлетворяющее поставленной задаче пространственное разрешение (10–20 м). Кроме того, съёмка конкретной территории повторяется каждые 10 дней, что важно для мониторинга состояния сельскохозяйственных угодий.

Итак, снимки системы Sentinel 2 являются оптимальными по пространственным, временным, радиометрическим характеристикам и наилучшим образом отвечают решению поставленной задачи.

Выбор алгоритма распознавания сельскохозяйственных культур

Необходимо выбрать оптимальный метод дешифрирования сельскохозяйственных растений, удовлетворяющий следующим требованиям:

- возможность идентификации сельскохозяйственных культур по единовременному снимку, а не по серии снимков за весь вегетационный период;
- обеспечение высокой достоверности классификации;
- реализация в разных программах.

Методы классификации снимков можно разделить на несколько групп.

1. *Использование спектральных индексов.* Эта группа методов в достаточной степени разработана. Существуют тысячи спектральных индексов, основанных на логических и математических операциях с каналами изображения. Индексные растры могут использоваться при классификации земельных угодий, изучении свойств растительных сообществ, почвенных характеристик, уточнении контуров водных объектов [15, 17, 20].

Преимуществами данной группы методов являются относительная простота и возможность использования в любом геоинформационном комплексе, даже специально не предназначенном для анализа снимков. Существенным минусом метода спектральных индексов является недостаточная достоверность идентификации сходных объектов.



В случае с распознаванием сельскохозяйственных культур эту проблему приходится решать путём добавления разновременных данных и формирования кривых изменения значений индексов во времени. Данное условие не позволяет говорить о высокой эффективности применения методов спектральных индексов при идентификации сельскохозяйственных культур [1].

2. *Распознавание с помощью специальных спектральных преобразований.* В эту группу включены преобразования Tasseled Cap, метод главных компонент (PCA) и др. Алгоритмы обладают высокой достоверностью, но требуют наличия специального программного обеспечения, нуждаются в адаптации к конкретным условиям и достаточно часто подтверждении результатов несколькими сессиями анализа по разновременным данным [12].

3. *Алгоритмы классификации растров.* Эта группа методов тщательно разработана. Количество алгоритмов классификации исчисляется десятками. Обычно их подразделяют на две большие подгруппы: с обучением (нейронные сети, дендрограмма принятия решений и др.) и без обучения (ISODATA, метод k-средних и др.). Первая подгруппа имеет куда больший процент достоверности, но очень требовательна к квалификации дешифровщика и качеству исходных данных. Вторая подгруппа имеет меньший уровень достоверности, но также весьма зависима от входной информации. Большой выбор алгоритмов классификации имеют специальные программные комплексы для анализа космоснимков.

Отдельно стоит отметить, что рассматриваемая группа методов редко используется на необработанных изображениях. Гораздо чаще алгоритмы классификации выполняются по построенным индексным растрам или, например, по синтезированным изображениям после применения метода главных компонент [15].

4. *Построение кривых спектральной яркости.* Реализация этого алгоритма весьма сложна и требует специализированного программного обеспечения, в котором должны быть построены кривые, отображающие исходящее излучение объекта в разных зонах спектра. Так формируется «спектральный образ» объекта, который позволяет однозначно его идентифицировать. Впоследствии формируется база эталонов отражательных свойств каждого класса. Регистрируемое излучение нового классифицируемого объекта сравнивается с уже существующими в базе данных, затем принимается решение об отнесении объекта к той или иной категории. Алгоритм характеризуется высокой достоверностью и не нуждается в разновременных данных, но достаточно требователен к обрабатываемым космоснимкам [13].

Отчасти метод построения кривых спектральной яркости схож с вышеописанными алгоритмами классификации с обучением. Качественное отличие заключается в том, что спектральные

кривые не ограничиваются расчетами по трём каналам, а создается трехмерный массив данных. К пространственной информации (плановые координаты) добавляется спектральная характеристика объекта (исходящее излучение, регистрируемое в разных диапазонах спектра и визуализируемое в виде кривой спектральной яркости).

Рассматриваемый метод крайне редко применяется при идентификации сельскохозяйственных культур, так как для формирования спектральных образов необходимо множество достаточно узких каналов в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне. Это требование до недавнего времени выполнялось лишь в небольшом сегменте гиперспектральных съёмочных систем (например, проект Hyperspec) и спектрорадиометрах низкого разрешения, таких как MODIS или Sentinel 3. Гораздо чаще метод спектральных кривых использовался в классификации землепользований, при идентификации горных пород [8,21,22].

С появлением в 2015–2016 гг. в открытом доступе материалов съёмочной системы Sentinel 2 возникла возможность идентификации растительности путём использования четырех узких и одного широкого канала NIR диапазона. В сочетании с высоким пространственным и временным разрешением снимки данной спутниковой системы оптимально подходят как для построения кривых спектральной яркости, так и для распознавания сельскохозяйственных культур. Поэтому метод построения кривых спектральной яркости по инфракрасным каналам космоснимков Sentinel 2 отвечает поставленным в исследовании задачам достоверного распознавания видов сельскохозяйственных культур.

Выбор программного обеспечения

Важными критериями выбора программного обеспечения (ПО) являются специфичность и доступность. Для решения конкретных задач можно выделить специальное ПО, решающее только вопросы обработки, анализа, классификации аэрокосмических изображений (ENVI, ScanEx IP, Erdas Imagine и др.). Эта группа ПО отличается мощным функционалом и широкими возможностями. В противоположный класс выделены продукты с общими функциями ГИС, включающими, в частности, и растровую обработку (ArcGIS, Mapinfo, Панорама, QGIS и др.). Функционал этих комплексов весьма обширен, но нередко ограничен в области анализа космоснимков.

Другим важным фактором выбора ПО является доступность. Одним из современных трендов развития программного обеспечения стала все возрастающая доступность (открытость) геоинформационных систем. Подобные примеры есть и в специальном сегменте ПО, направленном исключительно на обработку космоснимков (ILWIS, Multispec), и в общих ГИС-пакетах (QGIS). Одно из наиболее прогрессивных решений в открытых ГИС – блоковая структура, в которой отдельный



модуль является самостоятельной программой, реализованной на платформе открытого комплекса ГИС. QGIS служит ярким примером модульного строения ГИС. Здесь к достаточно ограниченному функционалу основной программы добавляется огромное количество дополнительных модулей разного назначения. Среди них имеются и весьма мощные инструменты, направленные на анализ и обработку космоснимков. Одним из достоинств модульной структуры ГИС является возможность работать с отдельными модулями пользователям, не имеющим высокой квалификации, для анализа космоснимков. Поэтому использование свободно распространяемого программного обеспечения QGIS вместе с дополнительными модульными расширениями наилучшим образом способствует решению поставленной в статье цели.

Результаты исследования и их обсуждение

После сравнительной характеристики съемочных систем, определения оптимального алгоритма идентификации сельскохозяйственных культур и выбора наиболее подходящего ПО был

выполнен комплекс полевых и камеральных работ.

На основе полевых данных с помощью модуля SemiAutomaticClassificationPlugin для QGIS 3.4 построены спектральные кривые разных сельскохозяйственных культур (рис. 2).

Виды растений с наибольшей выборкой на участках исследования (пшеница, подсолнечник, просо, нут) показаны на рис. 2. Наибольшей дифференциации значений графики достигают в диапазоне 0,7–0,85 мкм, что подтверждает гипотезу о применимости метода кривых спектральной яркости, построенных по инфракрасным каналам Sentinel 2 для распознавания сельскохозяйственных культур. Далее необходимо выполнить оценку полученных результатов на проверочной выборке. Из 25% отобранных участков для проверки идентификации каждой из представленных культур спектральный образ лишь одного участка не попал в границы, сформированные обучающей выборкой. Результаты классификации растений на ключевых участках сельскохозяйственных полей в Балаковском районе представлены на рис. 3.

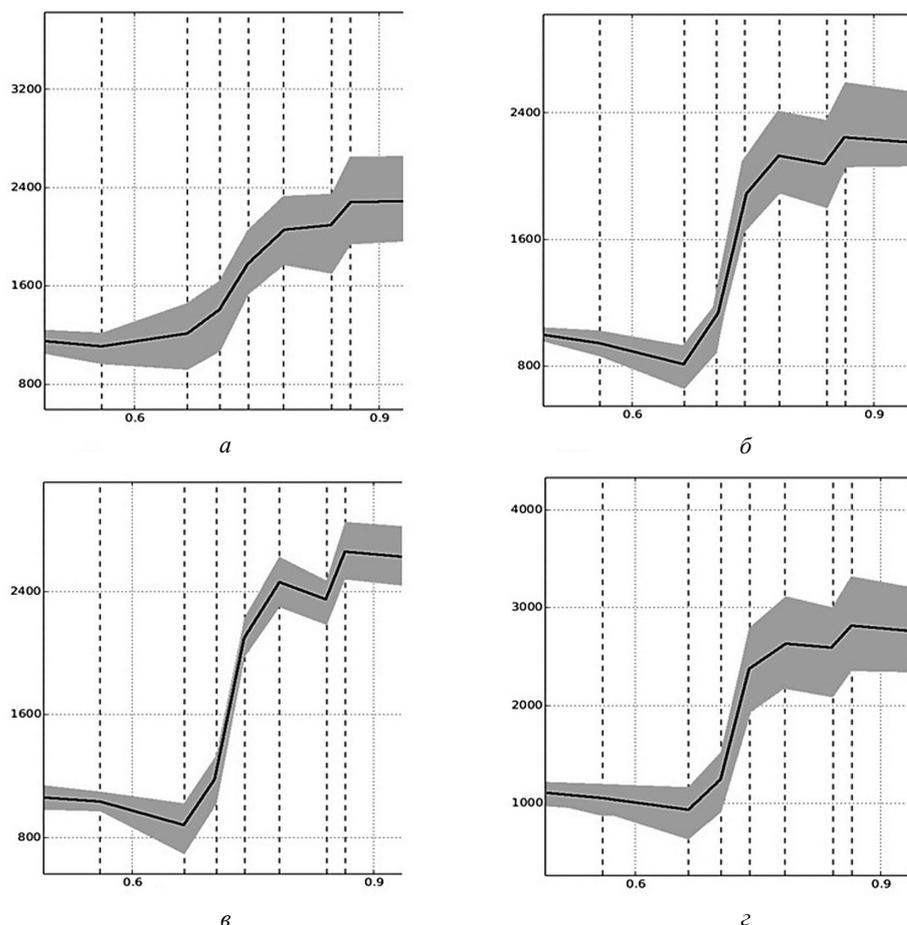


Рис. 2. Кривые спектральных яркостей озимой пшеницы (а), подсолнечника (б), просо (в) и нута (г). Вертикальная ось – длины волн, мкм, горизонтальная ось – регистрируемое исходящее излучение объектов. Черным показаны усредненные значения, серым – дисперсия спектральной яркости. Вертикальные пунктирные линии соответствуют видимым и ближним инфракрасным каналам Sentinel 2 (3, 4, 5, 6, 7, 8, 8а соответственно)



Рис. 3. Фрагмент космоснимка Sentinel 2 (июнь 2019 г.) территории северо-востока Балаковского района. Результат распознавания сельскохозяйственных растений методом кривых спектральных яркостей

Подчеркнём необходимость уточнения данных дешифрирования разновременными снимками. Формирование спектрального образа каждого класса выполняется в момент наибольшего различия между отражательными способностями объектов. Для сельскохозяйственных культур на юге европейской части России это временной промежуток со второй декады мая по вторую декаду июня. Именно в данный период наблюдаются наибольшие различия между видами сельскохозяйственных растений на космоснимках [23]. В итоге была сформирована база эталонов (сигнатур) отснятых сцен. Полученные результаты дешифрирования космоснимков в дальнейшем могут быть использованы для распознавания сельскохозяйственных культур на остальной территории Саратовского Заволжья. Более широкая экстраполяция результатов выполненной работы нуждается в дополнительном эталонировании и адаптации алгоритмов. Необходимо указать также на ограничения, касающиеся применения метода спектральных яркостей:

- необходимость использования определенных съемочных систем, удовлетворяющих конкретным требованиям;
 - приуроченность съёмки к конкретному периоду вегетации сельскохозяйственных растений (май-июнь на юго-востоке европейской части России);
 - требовательность к специальному программному обеспечению;
 - необходимость анализа данных по разным каналам, соединенным в единый массив данных.
- С учётом обозначенных ограничений рассмотренный авторами опыт распознавания сельскохозяйственных культур по космоснимкам Sentinel 2 может быть успешно реализован в условиях степного Саратовского Заволжья.

Выводы

Для классификации сельскохозяйственных угодий выбраны космоснимки съемочной системы Sentinel 2. Снимки данной системы, полученные



в ближнем инфракрасном диапазоне, позволяют использовать метод построения кривых спектральной яркости для уверенного распознавания видов сельскохозяйственных культур.

Метод кривых спектральных яркостей отвечает требованиям достоверности распознавания сельскохозяйственных растений и позволяет осуществлять дешифрирование по одиночному космоснимку, сделанному в календарный период с наибольшими различиями в вегетации.

Свободно распространяемое программное обеспечение QGIS с модулями специальной обработки изображений отвечает требованиям дешифрирования и существенно удешевляет и облегчает мониторинг агроэкологической ситуации.

Работа выполнена при финансовой поддержке Русского Географического Общества (проект № 07_2019-Р «Космические снимки для мелиорации Саратовского Заволжья»).

Библиографический список

1. Воробьева Н. С., Сергеев В. В., Чернов А. В. Информационная технология раннего распознавания видов сельскохозяйственных культур по космическим снимкам // Компьютерная оптика. 2016. Т. 40, № 6. С. 929–938.
2. Геоэкологический риск-анализ нефтяных месторождений Саратовской области с применением ГИС-технологий / А. Н. Чумаченко, А. В. Молочко, В. Э. Макаров [и др.]; под ред. А. Н. Чумаченко. Саратов : Издательство Саратовского университета, 2017. 104 с.
3. Морозова В. А. Применение ГИС-технологий совместно с данными дистанционного зондирования (ДДЗ) для мониторинга и картографирования зон затопления на примере рек Саратовской области // Теория и практика гармонизации взаимодействия природных, социальных и производственных систем региона : материалы междунар. науч. практ. конф. : в 2 т. / редкол. : С. М. Вдовин (отв. ред.) [и др.]. Саранск : Издательство Мордовского университета, 2017. Т. 1. С. 359–364.
4. Чумаченко А. Н., Хворостухин Д. П., Морозова В. А. Построение гидрологически-корректной цифровой модели рельефа (на примере Саратовской области) // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2018. Т. 18, вып. 2. С. 104–109.
5. Проказов М. Ю., Шлапак П. А. Использование ГИС-технологий в картографировании геосистемных и геоэкологических характеристик Волжской островной поймы в районе г. Саратова // Геоинформационное картографирование в регионах России : материалы X Всерос. науч.-практ. конф. Воронеж : Научная книга, 2018. С. 137–141.
6. Чумаченко А. Н., Гусев В. А., Данилов В. А., Макаров В. Э., Затонский В. А., Пичугина Н. В., Федоров А. В., Шлапак П. А. Геоэкологическая оценка качества поверхностных вод бассейна реки Чардым Саратовской области // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2016. Т. 16, вып. 2. С. 93–97.
7. Комарова А. Ф., Журавлева И. В., Яблоков В. М. Открытые мультиспектральные данные и основные методы дистанционного зондирования в изучении растительного покрова // Принципы экологии. 2016. № 1. С. 40–74.
8. Терехин Э. А. Анализ спектральных свойств сельскохозяйственной растительности Белгородской области по спутниковым данным modis // Научные ведомости БелГУ. Сер. Естественные науки. 2013. № 10 (153). С. 150–156.
9. Pringle M. J., Denham R. J., Devadas R. Identification of cropping activity in central and southern Queensland, Australia, with the aid of MODIS MOD13Q1 imagery // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2012. Vol. 19. P. 276–285.
10. Перов А. Ю., Шумаева К. В., Ярыш С. С. Применение метода сегментирования объектов в Quantum GIS в рамках подготовительного этапа проведения кадастровой оценки земель сельскохозяйственного назначения // Colloquium-journal. 2019. № 26. С. 53–45.
11. Wu Z., Thenkabail P., Mueller R., Zakzeski A., Melton F., Johnson L., Rosevelt C., Dwyer J., Jones J., Verdin J. Seasonal cultivated and fallow cropland mapping using MODIS-based automated cropland classification algorithm // Journal Applied Rem. Sens. 2014. Vol. 8. P. 1–17.
12. Хворостухин Д. П., Кликунов А. А. Применение ГИС, данных дистанционного зондирования Земли и преобразования Tasseled Cap для изучения современной растительности ландшафтов региона // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2013. Т. 13, вып. 2. С. 40–42.
13. Терехин Э. А. Спектральные отражательные свойства сельскохозяйственной растительности Белгородской области (по материалам космической съемки) // Научные ведомости БелГУ. Сер. Естественные науки. 2012. № 15 (134). С. 188–193.
14. Prishchepov A. V., Radeloff V. C., Dubinin M., Alcantara C. The effect of Landsat ETM/ETM + image acquisition dates on the detection of agricultural land abandonment in Eastern Europe // Remote Sensing of Environment. 2012. Vol. 126. P. 195–209.
15. Воронина П. В., Мамаш Е. А. Классификация тематических задач мониторинга сельского хозяйства с использованием данных дистанционного зондирования MODIS // ЖВТ. 2014. № 3. С. 76–102.
16. Макаров В. Э., Пичугина Н. В., Гусев В. А., Затонский В. А. Природный потенциал сельскохозяйственных округов Саратовской области // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2015. Т. 15, вып. 4. С. 13–18.
17. Чермошенцев А. Ю. Оценка измерительных свойств космических снимков высокого разрешения : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2012. 130 с.
18. Торсунова О. Ф. Исследование возможности применения космических снимков для определения границ зон с особыми условиями использования территорий // Вестник Сибирского государственного университета геосистем и технологий. 2017. № 3. С. 180–193.
19. Терёшкина Н. И., Карпова Л. А. Аналитический обзор применения спутниковых снимков для создания крупномасштабных картографических произведений // Наука и



инновации : Векторы развития : материалы Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых : в 2 кн. Барнаул : РИО Алтайского ГАУ, 2018. Кн. 2. С. 277–279.

20. Морозова В. А. Расчет индексов для выявления и анализа характеристик водных объектов с помощью данных дистанционного зондирования [Электронный ресурс] // Современные проблемы территориального развития. 2019. № 2. С. 1–11. URL: [http:// https://terjournal.ru/wp-content/uploads/2019/05/ID85.pdf](http://https://terjournal.ru/wp-content/uploads/2019/05/ID85.pdf) (дата обращения: 20.12.2019).

21. Рогачев А. Ф. Методические подходы к получению и обработке данных дистанционного зондирования для

обоснования мелиоративных мероприятий // Известия НВ АУК. 2018. № 4 (52). С. 332–339.

22. Калиничева С. В., Железняк М. Н., Кириллин А. Р., Федоров А. Н. Выявление и картографирование мерзлых участков с использованием космических снимков (на примере Эльконского горста в южной Якутии) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2017. № 3 (87). С. 30–36.

23. Казяк Е. В., Леценко А. В. Спектральные преобразования космических снимков Landsat 8 для картографирования растительности агроэкосистем // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. 2015. № 1. С. 79–84.

Образец для цитирования:

Макаров В. З., Гусев В. А., Шлапак П. А., Решетарова Д. А. Выбор оптимального метода распознавания сельскохозяйственных культур по космоснимкам высокого разрешения (на примере Саратовского Заволжья) // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2020. Т. 20, вып. 3. С. 162–170. DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2020-20-3-162-170>

Cite this article as:

Makarov V. Z., Gusev V. A., Shlapak P. A., Reshetarova D. A. The Selection of the Optimal Detection Method for Agricultural Crops by Satellite Images of High Resolution (the Saratov Volga Region as an Example). *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Earth Sciences*, 2020, vol. 20, iss. 3, pp. 162–170 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2020-20-3-162-170>
