

Естественные травянистые сообщества как рефугиумы биоразнообразия: возможности использования ДЗЗ для их выявления и изучения

**А.Ю. Баврина¹, А.Ю. Денисова², Л.М. Кавеленова², Е.С. Корчиков²,
О.А. Кузовенко², Ю.В. Макарова², Н.В. Прохорова², Д.А. Терентьева²,
В.А. Федосеев^{1,2}**

¹Институт систем обработки изображений РАН - филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Молодогвардейская 151, Самара, Россия, 443001

²Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34А, Самара, Россия, 443086

Аннотация. Природные и восстановленные на месте бывших сельскохозяйственных полей травянистые экосистемы могут являться рефугиумами (местами сохранения в естественных типичных условиях) для редких видов растений. Такие экосистемы представляют большой интерес для исследования окружающей среды и планирования хозяйственной деятельности во многих странах, включая ЕС и США. На территории Самарской области травянистые экосистемы сохранились фрагментарно вследствие интенсивной распашки залежавших здесь ранее целинных степей. Обычной практикой в настоящее время является совместное использование данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и процедур наземного обследования. Настоящая статья описывает результаты исследований возможности классификации естественных травянистых сообществ в Самарской области по данным серии сезонных мультиспектральных данных ДЗЗ среднего разрешения с использованием точечных наземных обследований. Исследования затрагивают вопросы формирования обучающей выборки для естественных растительных сообществ большой площади с оптимизацией наземных обследований и содержат результаты классификации территории двух обширных объектов, имеющих охранный статус.

1. Введение

Растительные сообщества степей, некогда обширные на равнинных пространствах умеренных и субтропических поясов Северного и Южного полушарий, подверглись распашке и иным формам антропогенного преобразования экосистем [1; 2]. Результатом этого для стран Западной и Центральной Европы и европейской части РФ стало сохранение фрагментов целинных степей исключительно в природных резерватах и неудобьях. Значительная доля редких и охраняемых видов высших растений повышает значимость степных экосистем как ценных объектов природного наследия и компонентов биологического разнообразия планеты [1]. Международная практика сохранения травянистых сообществ (степных и луговых угодий) в странах Западной Европы в настоящее время успешно реализуется посредством охраны и мониторинга сообществ с пониженной сельскохозяйственной нагрузкой либо ее отсутствием. Природоохранное законодательство стран Европейского союза (ЕС)

предусматривает, в частности, сохранение и мониторинг так называемых «high nature value (HNV) farmlands», или «имеющих высокую природную ценность сельхозугодий» (например, [3-7]), в том числе как рефугиумов (природных мест сохранения, убежищ) редких и охраняемых видов растений. В результате принятия этих законов была внедрена так называемая система показателей HNV, которая требует от всех государств-членов ЕС создания общенациональной системы мониторинга районов HNV. Эти системы мониторинга относятся к объектам со сложной пространственной конфигурацией, что делает дорогостоящим и длительным полевой мониторинг.

Эффективным путем оптимизации мониторинга является внедрение методов дистанционного зондирования, опыт применения которого в данном направлении в странах ЕС уже значителен [8-12]. Возможность распознавания степных сообществ различного видового состава обуславливается их визуальной различимостью и характеризуется приуроченностью к комплексу орографических, гидрологических, почвенно-грунтовых условий. При этом не подвергается сомнению необходимость проведения на эталонных наземных участках комплексных обследований, данные которых используются для адекватной обработки данных ДЗЗ и построения классификаторов [13-15]. Для Самарской области практика использования материалов ДЗЗ освоена структурами, организующими природоохранную деятельность, в частности, в определении границ ООПТ (памятников природы), что в целом близко к практике ведения земельного кадастра. Однако, для автоматической дифференциации типов покрытой растительностью территорий, особенно выявления естественных экосистем разного видового состава, требуется более глубокая качественная проработка материалов, предполагающая разработку адекватных классификаторов и выбор качественных эталонов распознавания.

Настоящая статья рассматривает возможность автоматической классификации естественных травянистых сообществ Самарской области по данным ДЗЗ и данным точечных наземных обследований. В разделе 2 приводится общая характеристика особенностей травянистых сообществ Самарской области с обоснованием потенциальной распознаваемости отдельных видов травянистых сообществ. В разделе 3 дан обзор мирового опыта в области классификации травяной растительности по данным ДЗЗ с обоснованием выбранного метода распознавания. В разделе 4 приведены подробности проведенного исследования, а именно, описана исследуемая территория, обоснован выбор данных конкретного космического аппарата в качестве источника данных ДЗЗ, приведен алгоритм классификации, детально описано построение обучающей выборки, приведены результаты классификации.

В настоящей работе для распознавания травянистых сообществ предлагается использовать сезонные композиты мультиспектральных данных спутника Sentinel-2, позволяющие получить достаточное количество снимков за сезон с пространственным разрешением до 10 м. В качестве классификатора выбран метод опорных векторов с радиальными базисными функциями (SVM-RBF [16]), хорошо зарекомендовавший себя для классификации гиперспектральных данных [17-18]. Особое внимание уделено построению обучающей выборки, так как площадь контрольно-измерительных полигонов, на которых проводились наземные обследования, мала. Для формирования обучающих полигонов адекватных размеров было предложено совместить данные наземных измерений, данные ДЗЗ высокого разрешения из открытых источников и данные кластеризации композита из индексов NDVI за начальный период вегетации. Такой подход позволяет оптимизировать количество наземных обследований и их трудоёмкость. Экспериментальные исследования показали хорошую согласованность результатов классификации с визуальным анализом серии сезонных снимков.

2. Общая характеристика особенностей травянистых сообществ Самарской области

Сохранившиеся в Самарской области участки степной растительности разных типов, в том числе самые большие из них, расположенные на территории Большечерниговского района, приурочены к определенным формам рельефа, специфическим почвенно-грунтовым условиям и режиму увлажнения. Средний размер таких участков достаточно большой (сотни гектаров) и характеризуется высокой степенью изрезанности границ.

Для Самарской области характерно преобладание таких травянистых сообществ, как суходольные луга, типчаковая степь, полынно-злаковая степь и типчаково-ковыльная степь. Для данных видов степей можно выделить следующие физиономические различия аспекта, влияющие на отражательные свойства и формирующие различную фактуру изображений этих участков на космоснимках: высота травостоя, процент проективного покрытия травостоя, характеризующий наличие открытой почвы в рамках ареала растений, а также концентрация зелёного пигмента в листьях растений, влияющая как на цвет растений, так и на интенсивность процессов фотосинтеза в течение вегетационного цикла.

Для Самарской области и рассмотренных доминирующих типов степей высота травостоя в зависимости от типа рассмотренных степных фитоценозов может изменяться в диапазоне значений от 20 см до 1 м. Проективное покрытие растительности может достигать 100% (суходольный луг), либо характеризоваться значительной выраженностью открытой почвы между куртинами злаков (типчаковая степь). Наиболее ярким отражением в зелёной части спектра характеризовался суходольный луг, приуроченный к понижениям рельефа и временным водотокам, тогда как полынно-злаковая степь отличается наименьшей яркостью травостоя в этом же спектральном диапазоне. Компонент, известный как седое разнотравье, наиболее массово представлен в полынно-злаковой и типчаково-полынной степях, рисунок 1, и представляет собой травянистые, как правило, невысокие растения с выраженным седоватым опушением поверхности побегов, маскирующим ярко-зеленую окраску хлорофиллов.



Рисунок 1. Визуальные особенности растительного покрова в различных типах степных сообществ (Большечерниговский район Самарской области).

Участки степей характеризуются различным видовым богатством высших растений по общему числу видов и по представленности редких видов (редких, включенных в Красные книги различного уровня: России, Самарской области и других регионов). Поэтому другим важным

параметром оценки травянистых сообществ является количество произрастающих в их пределах видов редких растений, которое может быть определено в рамках наземных наблюдений.

Таким образом, типы степей, доминирующие в Самарской области, потенциально обладают необходимыми характеристиками, позволяющими производить их распознавание по данным ДЗЗ и их выявление имеет большое значение для природоохранных мероприятий.

3. Мировой опыт классификации травянистых сообществ по данным ДЗЗ

Всесторонне проблема классификации травяной растительности и извлечение ее характеристик по космическим снимкам рассматривается в работах [19-21]. В этих работах рассматриваются использование различных принципов получения изображений (активный и пассивный), пространственное разрешение (от низкого до сверхвысокого), спектральное разрешение (мультиспектральные и гиперспектральные датчики) и временное разрешение (частота получаемых снимков за период вегетации). Особое внимание уделяется выбору методов классификации растительности, рассматриваются достоинства и недостатки различных классификаторов. Также различные аспекты классификации травяной растительности рассматриваются и в более узко направленных работах.

В целом можно отметить, что использование серии снимков за вегетационный период дает больше возможностей при классификации, по сравнению с использованием одного снимка [12; 22; 23]. Однако это значительно повышает размерность признакового пространства и, как следствие, вычислительную сложность. Для снижения размерности, как правило, используют метод главных компонент (РСА) или замену нескольких спектральных каналов каналом, содержащим значения нормализованного разностного индекса вегетации NDVI. Здесь, однако, есть риск потери части значимой информации. Кроме того, в ряде работ целесообразность использования NDVI для степной растительности ставится под сомнение. Так как в исследовании [24] пришли к выводу, что этот индекс плохо подходит для оценки биомассы в засушливых районах.

До недавнего времени классификация растительности производилась, в основном, на довольно укрупненные классы: по климатическим зонам (альпийская тундра, горная степь, пустынная степь), видам растительных сообществ (луга и степи, агроценозы, леса, солончаки и т.п.). Однако с появлением новых, зачастую открытых, данных ДЗЗ с высокими значениями разрешения (пространственного, спектрального и временного) всё больше работ посвящено более детальной классификации, например, поиску инвазивных растений [25; 26] или классификации травяной растительности по видовому составу [12; 19; 27-29].

Из методов классификации наиболее используемыми являются метод опорных векторов (SVM), деревья решений, объектные методы, методы, основанные на нечеткой логике а также различные комбинации этих методов. При этом в статье [30] отмечается, что классификаторы SVM, характеризующиеся самоадаптируемостью, быстрым темпом обучения и ограниченными требованиями к размеру обучения, доказали свою надежность в области интеллектуальной обработки данных, полученных с помощью дистанционного зондирования.

Проведенный обзор позволил авторам направить усилия на исследование классификации травянистой растительности по серии мультиспектральных данных ДЗЗ за вегетационный период с применением снижения размерности с использованием РСА и метода SVM в качестве метода классификации.

4. Классификация степных сообществ по данным ДЗЗ

4.1. Исследуемая территория

В рамках статьи распознавание участков степей разного типа производилось на примере двух территорий неподалёку от с. Большая Черниговка. Исследуемые участки включают в себя территории ООПТ «Урочище Мулин дол» и «Участок типчаково-ковыльной целинной степи», а также земли, расположенные в окрестности этих ООПТ, рисунок 2.

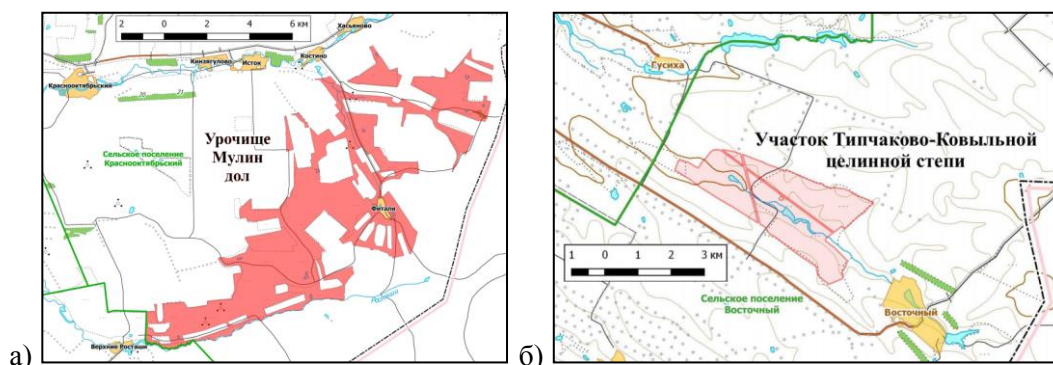


Рисунок 2. Территории с участками степной растительности: а) ООПТ «Урочище Мулин дол», б) ООПТ «Участок типчаково-ковыльной целинной степи».

4.2. Используемые данные ДЗЗ

Типовые размеры анализируемых объектов – участков степи с однородным видовым составом – составляют от нескольких десятков до нескольких сотен метров в поперечнике, поэтому допустимыми вариантами являются космические снимки высокого и среднего разрешения.

Для решения задач оценки состояния экосистем степного типа на территории Самарской области авторским коллективом был выполнен анализ доступных открытых данных ДЗЗ среднего разрешения за 2018 г., по итогам которого выбран приоритетный источник данных и определён порядок их обработки. Необходимым требованием к данным ДЗЗ при классификации растительности является наличие инфракрасного канала, как наиболее информативного при анализе растительного покрова. Кроме того, учитывая скоротечность вегетационного периода, важную роль играет высокая периодичность съёмки. В результате выбор осуществлялся между данными спутников Sentinel-2A и 2B (инструмент MSI) [31] и Landsat-8 (инструмент OLI) [32]. Их сравнительные характеристики представлены в таблице 1. Из таблицы 1 следует преимущество снимков Sentinel-2 над Landsat-8 по всем основным показателям: пространственное разрешение, периодичность съёмки, ширина полосы захвата территории. В результате для исследований были выбраны данные спутников Sentinel-2 (А и В).

Таблица 1. Доступные для исследований источники данных ДЗЗ.

Название	Разрешение	Ширина полосы	Периодичность съёмки	Доступ
Sentinel-2 MSI	10 м (4 канала), 20 м (6 каналов)	290 км	5 дней или чаще	Свободный
Landsat-8 OLI	30 м (9 каналов)	185 км	до 16 дней	Свободный

Основным критерием для отбора снимков служило полное отсутствие облачности в границах исследуемой территории в течение всего вегетационного периода с апреля по октябрь 2018 г. В результате были отобраны 9 снимков, даты которых указаны в таблице 2.

Таблица 2. Снимки Sentinel-2, использованные для анализа участков степной растительности.

№	Дата	№	Дата	№	Дата
1	17.04.2018	4	22.05.2018	7	16.06.2018
2	02.05.2018	5	24.05.2018	8	01.09.2018
3	14.05.2018	6	27.05.2018	9	04.09.2018

Использованные данные Sentinel-2 соответствовали уровню продукта L2A с выполненной атмосферной коррекцией и содержали информацию из 8 спектральных каналов в диапазоне длин волн от 496,6 нм до 864,8 нм с пространственным разрешением 10 и 20 м. В результате предварительной обработки спектральные каналы с 20 м пространственным разрешением

приводились к 10 м разрешению и из полученных 8-канальных изображений был составлен единый 72 канальный композит.

4.3. Методы и алгоритмы классификации

Для классификации участков степей в настоящей статье используется метод опорных векторов с радиальными базисными функциями (SVM-RBF). Программная реализация классификатора была выполнена в среде MATLAB.

Кратко процесс классификации может быть описан следующим образом:

1. Расчёт признаков. Для расчёта признаков используется нормализация данных ДЗЗ с последующим снижением размерности признакового пространства с помощью метода главных компонент. Нормализация производится с помощью линейного контрастирования каждого канала композита с приведением его значений к диапазону от -1 до 1.

2. Пространственная предобработка. Так как метод SVM чувствителен к шумам, для удаления случайных выбросов в исходных данных применялась медианная фильтрация в окне 3×3 .

3. Управляемая классификация методом SVM-RBF.

Для обучения классификатора необходимо наличие достоверных наземных данных, т.е. обучающей выборки, процесс создания которой более детально рассматривается в следующем подразделе.

4.4. Построение обучающей выборки на основе анализа различных источников данных

Для рассматриваемых участков ООПТ не существует актуальной и подробной карты видов растительности, которая могла бы быть использована при обучении классификатора и проверки качества его работы. Поэтому для построения обучающей выборки сначала по снимкам ДЗЗ производилось выделение потенциальных участков, представляющих интерес для исследований с помощью кластеризации. Затем, по выделенным участкам специалистами экологами из коллектива авторов статьи были произведены точечные наземные исследования с целью описания этих участков и выделения классов распознаваемых растительных сообществ.

Для определения потенциально делимых по данным ДЗЗ травяных растительных сообществ были использованы снимки за наиболее информативный для данного типа растительности фенологический период – начальный период вегетации. Поскольку вегетационный индекс NDVI позволяет достаточно хорошо определить стадии развития растительности, композит снимков ДЗЗ для кластеризации был составлен из значений вегетационного индекса NDVI, рассчитанных по данным снимков Sentinel 2 за период с 1 по 30 мая 2018 г. В результате, был получен композит с 5 каналами, содержащий в каждой точке значение вегетационного индекса NDVI за различные даты: 2, 14, 22, 24 и 27 мая.

Для выделения потенциально делимых по снимку классов растительности и соответствующих им участков к полученному композиту значений NDVI был применён обобщённый алгоритм EM кластеризации [33]. Данный алгоритм оценивает количество кластеров и их параметры в соответствии с моделью смеси гауссовых распределений.

С точки зрения задачи поиска эталонных участков для полевых исследований сформированные метки кластеров должны соответствовать определённому растительному сообществу, основным отличием которых друг от друга является время формирования первых всходов и густого зеленого растительного покрова.

В пределах наибольших областей по кластеризации, соответствовавших различным кластерам естественной растительности, были заданы точки для наземного обследования (16 штук, рисунок 3). Одним из критериев выбора точек являлась их транспортная доступность (расположение вблизи полевых дорог) и сгруппированность (для минимизации времени перемещения от одного участка к другому).

Специалисты экологи в составе коллектива авторов статьи провели сбор данных о состоянии природных сообществ в данных точках летом 2018 г. В ходе наземного комплексного обследования и камеральной обработки данных специалисты экологи обследовали данные участки и дали оценку соответствия результатов кластеризации и видового разнообразия

растительности на их территории. Наибольшее количество точек соответствовало степным экосистемам, по которым удалось подобрать наибольшее количество участков достаточной площади и с отчетливой выраженностью различий видового состава. Для участков степей в окрестностях выделенных точек была выполнена координатная GPS-привязка, комплексное обследование растительного покрова и оценка значимости по присутствию раритетных видов. Результаты наземных обследований были совмещены с результатами кластеризации и были выделены следующие основные детектируемые рассматриваемым методом кластеризации классы естественной растительности:

- 1) типчаково-полынная степь – точки 1, 14;
- 2) луговые степи в понижениях и кустарники вдоль рек – точки 4, 5, 8-10;
- 3) типчаково-ковыльная степь – точки 7, 13, 15;
- 4) разнотравно-ковыльная степь и засоленные луга – точки 2, 3, 6, 11, 12, 16.

Дополнительно по данным высокого разрешения из открытых источников (Яндекс карты [34]) были выделены отдельно такие классы как участки леса и кустарники. Также добавлен класс степных участков, подвергающихся покосам и выпасам (они характеризуются обновлением растительности в течение летнего сезона), который представлял интерес для исследований.

В результате анализа областей, полученных кластеризацией, данных наземного обследования и снимков высокого разрешения был составлен итоговый пополненный список классов (таблица 3) и выбраны области для обучающей выборки классификатора (рисунок 4).



Рисунок 3. Фрагменты изображения территории в окрестности исследуемых эталонных участков (Sentinel-2, 27 мая 2018 г.).

Таблица 3. Классы наземного покрова, использованные при классификации степных территорий.

№	Название
1	Вода
2	Лес
3	Кустарник
4	Степи в понижениях
5	Типчаково-ковыльная степь
6	Разнотравно-типчаково-ковыльная степь
7	Разнотравно-типчаковая степь, возможны покосы и выпасы
8	Типчаково-полынная степь

Кроме того, результаты наземных обследований были включены в систему регионально верифицированной базы эталонных контрольно-измерительных полигонов (КИП) наземного сопровождения ДЗЗ, создаваемой в последние годы объединенными усилиями специалистов в области геоинформатики и экологии Самарского университета. Для различных эталонных площадок, в зависимости от типа степных сообществ, было зафиксировано присутствие от 3 до 13 видов высших растений, включенных в Красную книгу Самарской области, при среднем уровне 8-9 видов. Что позволяет считать сохранившиеся участки естественной степной

растительности потенциальными рефугиумами, где с высокой вероятностью произрастают раритетные виды растений, относящиеся к охраняемым разного статуса, и повышает важность выявления и мониторинга таких фрагментов территории Самарской и сопредельных областей.

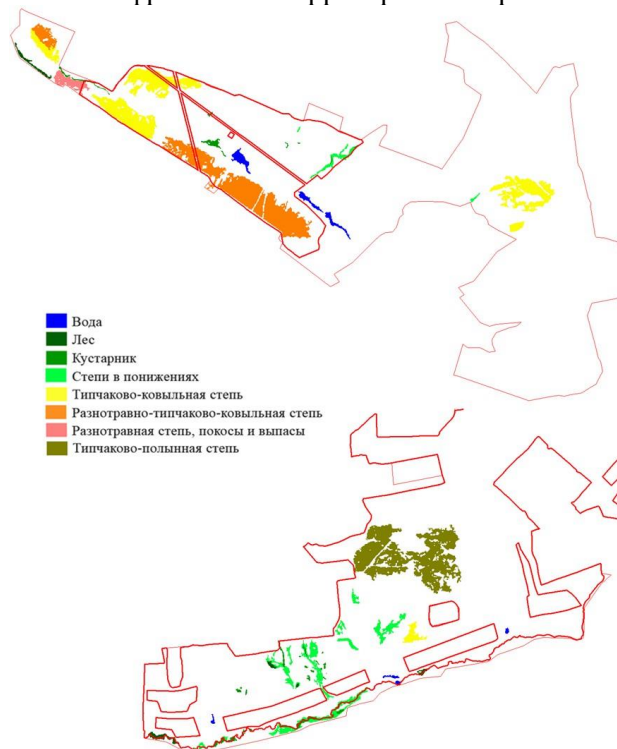


Рисунок 4. Участки, отобранные в качестве обучающей выборки для классификатора степной растительности.

4.5. Классификация территории естественных травяных сообществ

Классификация производилась согласно описанию произведённому в пункте 4.3 настоящей статьи. В качестве признаков использовались компоненты разложения методом главных компонент, в которых сосредоточена основная энергия изображения. Для исследуемого изображения основная энергия – 0,98% – была сосредоточена в девяти первых компонентах преобразования. Однако, так как качество классификации однозначным образом не связано с качеством представления исходных данных, то имело смысл определить набор признаков «с запасом», поэтому решено было взять 40 первых компонент преобразования.

Результаты классификации представлены на рисунке 5.

Для рассматриваемых территорий не существует актуальной и подробной карты видов растительности, которая могла бы быть использована при обучении классификатора и проверки качества его работы (как, например, данные таксации лесной растительности или данные о выращиваемых культурах для сельскохозяйственных посевов). В связи с этим оценить работу классификатора численно можно только на обучающей выборке. На обучающих данных вероятность ошибки составляет 0,0034, что говорит о хорошей разделимости классов и хорошем качестве обучающей выборки (отсутствуют примеси посторонних, не учтенных классов). Для всей рассматриваемой территории естественных степных сообществ результаты классификации оценивались преимущественно визуально.

Классификацией были выделены обширные участки типчаково-полынной, типчаково-ковыльной и разнотравно-типчаково-ковыльной степи. Эти однородные участки большой площади соответствуют целинной степи. Участки степи, являющиеся залежами, характеризуются мозаичным сочетанием нескольких классов. Участки леса и кустарника были выделены с хорошим качеством, что может быть проверено по снимкам высокого разрешения из открытых источников. Области, соответствующие классу «разнотравная степь, покосы и

выпась», не были найдены в местах, отличных от обучающей выборки, что требует дальнейшего изучения.

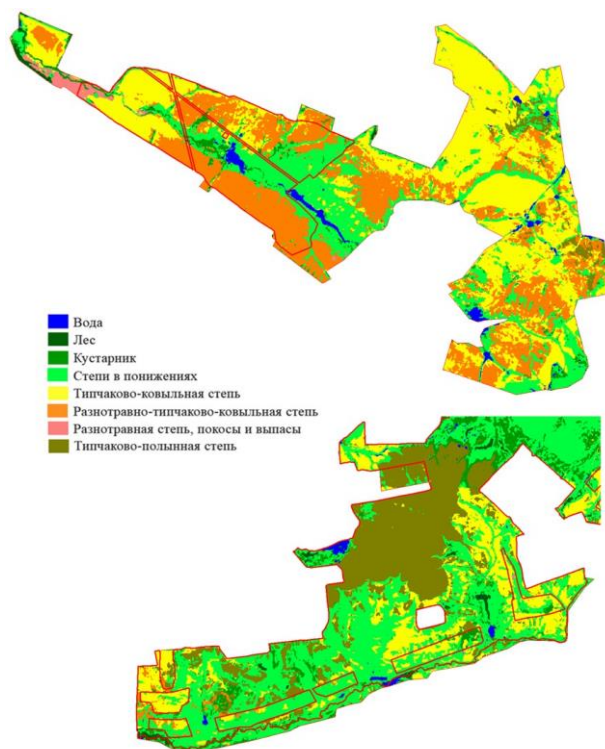


Рисунок 5. Тематическая карта видов степных растительных сообществ, полученная в результате классификации.

5. Выводы

В статье исследуется вопрос о возможности классификации травянистых сообществ на территории Самарской области с использованием данных ДЗЗ. С этой целью был проведен анализ типичных травянистых сообществ для Самарской области с выделением целевых классов и составлением их семантического описания. В результате анализа исследований мирового уровня в данной области для классификации было предложено использовать метод опорных векторов и композиты мультиспектральных снимков ДЗЗ среднего разрешения за сезон вегетации. Для обучения классификатора в статье был предложен подход для выбора эталонных участков распознавания, основанный на предварительной кластеризации композита из вегетационного индекса NDVI за разные даты в пределах периода вегетации и точечных наземных обследований в границах наибольших кластеров. Экспериментальное исследование классификатора производилось на территории ООПТ «Участок типчаково-ковыльной целинной степи» и сопредельной территории, а также части ООПТ «Урочище Мулин дол».

По результатам исследований классификатора степной растительности можно сделать следующие выводы. Предложенный подход к выбору эталонных участков позволяет «прицельно» выбирать эталонные участки с учетом их дешифрируемости по используемым космическим снимкам, тем самым снижая объем полевых исследований и повышая их эффективность. Построенный классификатор степной растительности дает высокую точность на обучающей выборке. Результаты классификации в целом согласуются с визуальным анализом космических снимков за рассматриваемый период (апрель-сентябрь 2018 года).

6. Литература

- [1] Werger, M.J.A. Eurasian Steppes. Ecological Problems and Livelihoods in a Changing World / M.J.A. Werger, M.A. van Staalduin. – Springer, 2012. – 570 p.

- [2] Чибилев, А.А. Степная Евразия: региональный обзор природного разнообразия. – Оренбург: Институт степи РАН, 2017. – 324 с.
- [3] Critchley, C.N.R. Conservation of lowland semi-natural grasslands in the UK: a review of botanical monitoring results from agri-environment schemes / C.N.R. Critchley, M.J.W. Burke, D.P. Stevens // *Biological Conservation*. – 2003. – Vol. 115. – P. 263-278.
- [4] Henle, K. Identifying and managing the conflicts between agriculture and biodiversity conservation in Europe – a review / K. Henle, D. Alard, J. Clitherow, P. Cobb, L. Firbank, T. Kull, D. McCracken, R. Moritz, J. Niemala, M. Rebane, D. Wascher., A. Watt, J. Young // *Agricultural Ecosystems and Environment*. – 2008. – Vol. 124. – P. 60-71.
- [5] Stoate, C. Ecological impacts of early 21st century agricultural change in Europe – a review / C. Stoate, A. Baldi, P. Beja, N. Boatman, I. Herzon, A. Van Doorn, G. De Snoo, L. Rakosy, C.J. Ramwell // *Environmental Management* – 2009. – Vol. 91. – P. 22-46.
- [6] Sullivan, C. The ecological status of grasslands on lowland farmlands in western Ireland and implications for grassland classification and nature value assessment / C. Sullivan, M. Skeffington, M. Gormally, J. Finn // *Biological Conservation*. – 2010. – Vol. 143. – P.1529-1539.
- [7] Stenzel, S. Identification of high nature value grassland with remote sensing and minimal field data / S. Stenzel, F.E. Fassnacht, B. Mack, S. Schmidtlein // *Ecological Indicators*. – 2017. – Vol. 74. – P. 28-38.
- [8] Schmidtlein, S. Mapping of continuous floristic gradients in grasslands using hyperspectral imagery / S. Schmidtlein, J. Sassin // *Remote Sensing of Environment*. – 2004. – Vol. 92. – P. 126-138.
- [9] Forster, M. Approaches to utilising Quick Bird data for the monitoring of NATURA 2000 habitats / M. Forster, A. Frick, H. Walentowski, B. Kleinschmit // *Community Ecology*. – 2008. – Vol. 9(2). – P. 155-168.
- [10] Rocchini, D. Uncertainty in ecosystem mapping by remote sensing / D. Rocchini, G. Foody, H. Nagendra, C. Ricotta, M.He.K. Anand, V. Amici, B. Kleinschmit, M. Foerster, S. Schmidtlein, H. Feilhauer, A. Gishla, M. Metz, M. Neteler // *Computers and Geosciences*. – 2012. – Vol. 50. – P. 128-135.
- [11] Feilhauer, H. Mapping the local variability of Natura 2000 habitats with remote sensing / H. Feilhauer, C. Dahlke, D. Doktor, A. Lausch, S. Schmidtlein, G. Schulz, S. Stenzel // *Applied Vegetation Science*. – 2014. – Vol. 17(4). – P. 765-779.
- [12] Schuster, C. Grassland habitat mapping by intra-annual time series analysis – Comparison of RapidEye and TerraSAR-X satellite data / C. Schuster, C. Conrad, B. Kleinschmit, M. Foerster // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. – 2015. – Vol. 34. – P. 25-34.
- [13] Geller, G.N. Remote Sensing for Biodiversity / G.N. Geller, P.N. Halpin, B. Helmuth, E.L. Hestir, A. Skidmore, M.J. Abrams, N. Aguirre, M. Blair, E. Botha, M. Colloff, T. Dawson, J. Franklin, N. Horning, C. James, W. Magnusson, M.J. Santos, S.R. Schill, K. Williams // *The GEO Handbook on Biodiversity Observation Networks*. – 2017. – P. 187-210.
- [14] Jongman, R.H.G. Global Terrestrial Ecosystem Observations: Why, Where, What and How? / R.H.G. Jongman, A.K. Skidmore, C.A. (Sander) Múcher, R.G.H. Bunce, M.J. Metzger // *The GEO Handbook on Biodiversity Observation Networks*. – 2017. – P. 19-38.
- [15] Lauhaichi, M. A reliable and non-desructive method for estimating forage shrub cover and biomass in arid environments using digital vegetation charting technique / M. Lauhaichi, S. Hassan, K. Clifton, D.J. Johnson // *Agroforest Systems*. – 2018. – Vol. 92. – P. 1341-1352.
- [16] Boser, B.E. A Training Algorithm for Optimal Margin Classifiers / B.E. Boser, I.M. Guyon, V.N. Vapnik // *Proceedings of the 5th Annual Workshop on Computational Learning Theory (COLT'92)*, Pittsburgh, 1992. – P. 144-152.
- [17] Борзов, С.М. Классификация типов растительного покрова по гиперспектральным данным дистанционного зондирования Земли / С.М. Борзов, О.И. Потатуркин // *Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии*. – 2014. – Т. 12, № 4. – С. 13-22.

- [18] Федосеев, В.А. Классификация гиперспектральных спутниковых изображений по эталонным участкам территории // Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2018): сборник трудов IV международной конференции и молодежной школы. – 2018. – С. 966-975.
- [19] Комарова, А.Ф. Открытые мультиспектральные данные и основные методы дистанционного зондирования в изучении растительного покрова / А.Ф. Комарова, И.В. Журавлева, В.М. Яблоков // Принципы экологии. – 2016. – № 1. – С. 40-74.
- [20] Corbane, C. Remote sensing for mapping natural habitats and their conservation status – New opportunities and challenges / C. Corbane, S. Lang, K. Pipkins, S. Alleaume, M. Deshayes, V.E. García Millán, T. Strasser, J. Vanden Borre, S. Toon, F. Michael // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2015. – Vol. 37. – P. 7-16.
- [21] Ali, I. Satellite remote sensing of grasslands: from observation to management / I. Ali, F. Cawkwell, E. Dwyer, B. Barrett, S. Green // Journal of Plant Ecology. – 2016. – Vol. 9(6). – P. 649-671.
- [22] Fassnacht, F.E. Mapping degraded grassland on the Eastern Tibetan Plateau with multi-temporal Landsat 8 data — where do the severely degraded areas occur? / F.E. Fassnacht, L. Li, A. Fritz // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2015. – Vol. 42. – P. 115-127.
- [23] Frankea, J. Assessment of grassland use intensity by remote sensing to support conservation schemes / J. Frankea, V. Keucka, F. Siegert // Journal for Nature Conservation. – 2012. – Vol. 20. – P. 125-134.
- [24] Guo, X. Monitoring grassland health with remote sensing approaches / X. Guo, C. Zhang, J.F. Wilmshurst, R. Sissons // Prairie Perspective. – 2005. – Vol. 8. – P. 11-22.
- [25] Dorigo, W. Mapping invasive Fallopia japonica by combined spectral, spatial, and temporal analysis of digital orthophotos / W. Dorigo, A. Lucieer, T. Podobnikar, A. Carni // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2012. – Vol. 19. – P. 185-195.
- [26] Laba, M. Mapping invasive wetland plants in the Hudson River National Estuarine Research Reserve using Quickbird satellite imagery / M. Laba, R. Downs, S. Smith, S. Welsh, C. Neider, S. White, M. Richmond, W. Philpot, P. Baveye // Remote Sensing of Environment. – 2008. – Vol. 112. – P. 286-300.
- [27] Lan, H. A semi-ellipsoid-model based fuzzy classifier to map grassland in Inner Mongolia, China / H. Lan, Y. Xie // Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2013. – Vol. 85. – P. 21-31.
- [28] Lopatin, J. Mapping plant species in mixed grassland communities using close range imaging spectroscopy / J. Lopatin, F.E. Fassnacht, T. Kattenborn, S. Schmidlein // Remote Sensing of Environment. – 2017. – Vol. 201. – P. 12-23.
- [29] Joshi, C. Remote sensing and gis applications for mapping and spatial modelling of invasive species / C. Joshi, J. de Leeuw, I.C. van Duren // Proceedings of the XXth ISPRS congress: Geo-imagery bridging continents. – 2004. – P. 669-677.
- [30] Mountrakis, G. Support vector machines in remote sensing: A review / G. Mountrakis, J. Im, C. Ogole // Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2011. – Vol. 66(3). – P. 247-259.
- [31] Frampton, W.J. Evaluating the capabilities of Sentinel-2 for quantitative estimation of biophysical variables in vegetation / W.J. Frampton, J. Dash, G. Watmough, E.J. Milton // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2013. – Vol. 82. – P. 83-92.
- [32] Li, P. Cross-Comparison of Vegetation Indices Derived from Landsat-7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) and Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) Sensors / P. Li, L. Jiang, Z. Feng // Remote Sensing. – 2013. – Vol. 6(1). – P. 310-329.
- [33] Денисова, А.Ю. EM clustering algorithm modification using multivariate hierarchical histogram in the case of undefined cluster number / А.Ю. Денисова, В.В. Сергеев // Proceedings of SPIE, – 2018. – Vol. 10806. – P. 108064H.
- [34] Яндекс карты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://yandex.ru/maps> (01.12.2018).

Благодарности

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 16-29-09494 офи_м, 18-07-00748 а), а также субсидии (код субсидии 08-08), выделенной в соответствии с соглашением от 26.02.2018 г. № 074-02-2018-294, предоставленной на государственную поддержку федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» в целях повышения конкурентоспособности Учреждения среди ведущих мировых научно-образовательных центров.

Natural and revitalized grassy ecosystems as biodiversity refuges: on the abilities of remote sensing survey for their detection and study

A.Y. Bavrina¹, A.Y. Denisova², L.M. Kavelenova², E.S. Korchikov², O.A. Kuzovenko², Y.V. Makarova², N.V. Prokhorova², D.A. Terentyeva², V.A. Fedoseev^{1,2}

¹Image Processing Systems Institute of RAS - Branch of the FSRC "Crystallography and Photonics" RAS, Molodogvardejskaya street 151, Samara, Russia, 443001

²Samara National Research University, Moskovskoe Shosse 34A, Samara, Russia, 443086

Abstract. The natural and revitalized on the place of former fields grassy ecosystems can be the refuges (places of conservation in natural typical conditions) for many types of rare plant species. Such ecosystems are of great interest for the environment exploration and management activities planning over many countries including EU and USA. Samara region territory demonstrates the residual nature of grassy ecosystems as a result of intensive agricultural exploration of virgin grasslands, located here at the past. Consolidative usage of remote sensed data and ground-based surveys is the common practice nowadays. This paper describes the possibilities of high-nature value grasslands classification in Samara Region using intra-annual time series of multispectral remote sensed data of medium spatial resolution with the use of spotted ground- based surveys. Investigations engage the training set generation for the large natural vegetation communities with ground-based surveys optimization and include the classification results for two vast grassland objects with protected status.