

Обнаружение и оценка возраста выгоревших участков естественных травянистых сообществ в Самарской области с использованием данных Sentinel 2

А.Ю. Баврина^{1,2}, Л.М. Кавеленова², О.А. Кузовенко², Н.В. Прохорова²

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. Анализ экологических и социально-экономических аспектов, связанных со степными пожарами – периодически повторяющимися природными и природно-антропогенными чрезвычайными ситуациями, – показывает их высокую значимость как негативного явления для Российской Федерации. В статье рассматривается возможность детектирования гарей (выгоревших участков) и определения их возраста по данным Sentinel-2 на основе вычисления спектральных индексов между двумя последовательными во времени снимками. Исследование проводилось для естественных степных территорий Самарской области, на которых в 2018 году наблюдалась активизация пожаров. Использование современных источников ДЗЗ позволяет получить дополнительные данные для исследования и анализа многолетней динамики пирогенных процессов в нашем регионе.

1. Введение

Природный (ландшафтный) пожар представляет собой процесс горения, не поддающийся контролю, возникающий стихийно и активно распространяющийся в окружающей среде. Такое явление может возникать по естественным причинам: вследствие удара молнии, извержения вулкана, высекания искр, вызванном ударами камней при падении. Палеоботанические исследования показали, что периодические природные пожары естественны для степной зоны, пирогенный фактор во многом определил облик современной степи.

Но в настоящее время чаще всего причиной природных пожаров является человеческий фактор, проявляющийся в намеренных поджогах (сельскохозяйственные палы), в нарушении мер пожарной безопасности; в производственной деятельности людей при добыче и транспортировке полезных ископаемых, проведении лесозаготовительных и сельскохозяйственных работ и др. [1]. Увеличение количества засушливых лет усилило негативные последствия природных пожаров в лесных и степных регионах нашей страны. С конца 90-х годов XX века в нашей стране отмечается резкое увеличение числа и масштабов пожаров еще и по причине сокращения сельскохозяйственного производства, снижение выпаса скота, что способствует активному накоплению растительной ветоши (связанное с восстановлением растительности) на неиспользуемых пастбищных, сенокосных и пахотных угодьях [2].

В целом анализ публикаций по данной тематике показывает, что мнения исследователей о роли пирогенного фактора могут существенно различаться. Одни авторы подчеркивают улучшение состояния пастбищ после пожаров в степи [3], другие, наоборот, констатируют деградацию естественных травянистых фитоценозов. Отмечается, что рост масштабности, интенсивности и регулярности пожаров приводит к значительным нарушениям и трансформации степных экосистем. Сгорают верхние слои почвы, гибнут травы с неглубокой корневой системой, существенно страдают кустарники с низкой кроной и поверхностным залеганием почек возобновления, уничтожается банк семян. Меняется соотношение разных групп растений: естественная степная растительность смещается в сторону бурьянистых видов, а редкие виды погибают [4-7].

Возрастание масштабов, частоты и интенсивности степных пожаров стало причиной усиления внимания исследователей к данной проблеме, а также повлияло на расширение арсенала методов и технологий для изучения их причин и последствий в степных регионах нашей страны. Кроме традиционных наземных исследований, все чаще привлекаются современные технологии, в частности ДЗЗ (в данной работе будет рассмотрено использование только оптических сенсоров).

В настоящее время область дистанционного зондирования достаточно развита. Множество спутников предоставляют данные в различных спектральных диапазонах и пространственном разрешении. Некоторые данные, как оперативно полученные, так и архивные, открыты для свободного доступа, что, несомненно, дает существенный толчок для проведения исследований на новом качественном уровне.

На сегодняшний день, как и на протяжении многих последних десятилетий, основная оперативная информация об очагах возгорания поступает после анализа данных измерения температуры земной поверхности, полученных с датчиков спектрорадиометров спутниковых систем с высокой частотой съемки (сенсоры AVHRR и MODIS). Наиболее широко используются продукты сенсоров MODIS в виде точек активного горения Active Fire [8]. Используя эти данные можно узнать дату пожара, однако для оценки площади сгоревшей территории следует использовать значения коэффициентов спектральной яркости в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах. Конечно, сенсоры MODIS регистрируют не все пожары. Пожары скоротечные, низкой интенсивности и небольшие по площади возгорания (какими зачастую и являются степные пожары) не будут зарегистрированы в данных Active Fire.

Для оценки площади территории, пройденной огнем, широко используются данные среднего пространственного разрешения. До недавнего времени это были данные программы Landsat, предоставляющей снимки с 1972 года (в открытом доступе имеются снимки, начиная с более позднего времени). С появлением в 2015 году данных семейства Sentinel-2, обладающих более высоким пространственным разрешением, а главное, более высокой периодичностью съемки (раз в 2-3 дня), исследователи обладают возможностью более полного анализа причин и последствий пожаров. Согласованность диапазонов спектральных каналов Sentinel-2 и Landsat-8 обеспечивает возможность для совместного анализа этих данных.

Несмотря на высокую частоту съемки, довольно часты ситуации, когда не удается получить безоблачные снимки на протяжении довольно длительного периода и данные Active Fire не содержат точек в пределах исследуемой территории. Данная работа имеет целью не только выделение области, пройденной огнем, на основе имеющихся снимков Sentinel-2, но и получение оценки "возраста" гари (количества суток, прошедшее с момента прохождения территории огнем до времени наблюдения) для обеспечения исследователей более полными данными для анализа.

Работа организована следующим образом. Во втором разделе дается краткий обзор методов и алгоритмов выделения сгоревших участков по космическим снимкам. Третий раздел посвящен описанию используемой технологии выделения гарей и определения их возраста, экспериментальным исследованиям её эффективности, а также анализу полученных результатов. Перспективы дальнейших исследований находятся в заключении.

2. Дистанционное зондирование при исследовании степных пожаров

Работы отечественных исследователей направлены на анализ многолетней динамики степных пожаров, выявление причин и закономерностей, составление карт повторяемости пожаров на изучаемой территории. Такие исследования проведены для Волгоградской, Оренбургской, Астраханской областей, Калмыкии [2, 7, 9, 10]. В основном дешифрирование регионов, пройденных огнем, в этих работах проводилось вручную для обеспечения необходимой точности. Визуальное дешифрирование продолжает использоваться (в том числе для обучения или валидации) поскольку эксперт способен различать довольно незначительные цветовые градации, учитывать текстуру и контекстную информацию.

В исследованиях зарубежных авторов помимо традиционного визуального анализа применяются уменьшение размерности данных, классификация с учителем и без, анализ спектральных смесей, анализ временных серий изображений, объектно-ориентированный анализ [11-13].

Изменения в спектральных сигнатурах растительности, которые возникают вследствие пожара, могут быть использованы для определения сгоревших участков [11]. Когда растительность сожжена, происходит резкое снижение коэффициента отражения от видимого до ближнего инфракрасного диапазона спектра, а отражательная способность в короткой и средней инфракрасной части увеличивается. По этой причине сожженные участки относительно легко различить визуально. Однако автоматическое обнаружение сталкивается с трудностями из-за широкого диапазона спектральных сигнатур и пространственной неоднородности, вызванной условиями пожара, типом сожженной растительности и условиями окружающей среды.

Для автоматического детектирования гарей на снимках ДЗЗ широко применяются спектральные индексы, благодаря их концептуальной простоте и вычислительной эффективности [14-16]. Некоторые спектральные индексы были разработаны специально для обнаружения последствий пожара: BAI, CSI, MIRBI, NBR. Как показывают исследования, наибольшей эффективностью обладают индексы NBR и MIRBI [14, 16].

Помимо спектральных индексов, часто используемым инструментом является обнаружение изменений на последовательных во времени снимках (до и после пожара), так как это существенно уменьшает ошибки, вызванные спектральным сходством между гарями и объектами местности, такими, как вода, тени, темная почва [11].

Для классификации применяются как традиционные методы, такие как классификатор по максимальному правдоподобию и k-ближайших средних, так и относительно более современные: метод опорных векторов, деревья решений (decision trees), нейронные сети, метод "случайный лес" (random forest) [12, 13, 17].

Необходимо отметить, что разработка метода, дающего хорошие результаты на всем разнообразии степных территорий, довольно затруднительна, поэтому в последние годы больше используются локально-адаптивные алгоритмы, которые учитывают специфику исследуемого региона [12].



Рисунок 1. Природа Самарской области: а) карта доли агроценозов, б) типчаково-ковыльная степь, в) последствия степного пожара.

Самарская область характеризуется широким распространением степных ландшафтов (рисунок 1). Не смотря на значительную сельскохозяйственную нагрузку, участки естественной

степной растительности довольно разнообразны по видами степей и по представленности раритетных видов растений. Среди работ по Самарской области следует выделить работу Ильиной В.Н. [4], в которой приводятся теоретические основы и анализ пирогенного фактора степных природных экосистем с опорой на наземные исследования. Примеров изучения степных пожаров в Самарской области с использованием данных ДЗЗ авторам не известно, поэтому надеемся, что данная работа положит начало более интенсивным исследованиям этого важнейшего вопроса в нашем регионе.

3. Детектирование гарей с помощью данных Sentinel-2

В настоящем исследовании при выделении области, пройденной огнем, авторы опирались в основном на работу [16], в которой проведено исследование пожаров небольшой площади по данным Sentinel-2 и продукта Active Fire спектро радиометра MODIS. Детектирование гарей производилось с помощью двухэтапного алгоритма. На первом этапе производилось сравнение спектральных индексов (MIRBI и NBR2) и канала NIR для двух последовательных во времени снимков. Предварительные сгоревшие территории отбиралась на основе фиксированных порогов при условии нахождения неподалёку точки Active Fire. На втором этапе значения дифференциальных спектральных индексов MIRBI и NBR2 для предварительно отобранных сгоревших территорий использовались для формирования вероятностной кривой принадлежности произвольной точки к сгоревшей территории.

В данной работе авторы применяют идею использования дифференциальных спектральных индексов для выделения территории, пройденной огнем. Эти значения используются для обучения классификатора определения возраста гари. Информация о дате пожара (необходимая для получения возраста гарей для территорий из обучающей выборки) берется из данных Active Fire спектро радиометра MODIS.

В таблице 1 приведены спектральные диапазоны каналов Sentinel-2, используемых в работе. При вычислении спектральных коэффициентов в качестве NIR (Near Infra-Red) использовался канал B8A для потенциальной совместимости с данными Landsat-8. Из каналов коротковолнового инфракрасного спектра использовались B11 в качестве SSWIR (Short Wave Infrared Short reflectance,) и B12 в качестве LSWIR (Short Wave Infrared Long reflectance).

Таблица 1. Характеристики используемых каналов Sentinel-2.

Канал	Центральная длина волны, нм	Ширина полосы, нм	Пространственное разрешение, м
B8A	865	33	20
B11	1612	142	20
B12	2194	240	20

Коэффициент NBR использует спектральную область ближнего инфракрасного (NIR) и коротковолнового инфракрасного (LSWIR) спектра (ρ – это отражательная способность в соответствующем спектральном диапазоне) [18]:

$$NBR = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{LSWIR}}{\rho_{NIR} + \rho_{LSWIR}}.$$

В области SWIR солнечное излучение сильно поглощается содержанием воды в растительности или почвах. Выжигание и высыхание почвенного покрова после пожара увеличат отражение в канале SWIR.

Коэффициент NBR2 является модификацией коэффициента NBR, использующей вместо диапазона NIR диапазон SSWIR. Использование NBR2 вместо NBR, согласно некоторым исследованиям, дает большую разделимость классов сожженной и несожженной растительности [19, 16]:

$$NBR2 = \frac{\rho_{SSWIR} - \rho_{LSWIR}}{\rho_{SSWIR} + \rho_{LSWIR}}.$$

Коэффициент MIRBI был разработан для кустарниково-саванной растительности, где длины волн NIR менее полезны из-за сухого состояния растительности в пожароопасный период. Индекс использует спектральные каналы SSWIR/LSWIR и, как показывают исследования, описанные в литературе, его эффективность стабильна во времени для саванных экосистем [20]:

$$MIRBI = 10 \rho_{LSWIR} - 9,8 \rho_{SSWIR} + 2.$$

Несмотря на то, что индексы MIRBI и NBR2 основаны на одних и тех же каналах, использование их совместно оправдано, так как они имеют разное распределение и позволяют уменьшить ложноположительные ошибки. Использование канала NIR (в дополнение к индексам) позволяет учитывать некоторую текстурную информацию о земной поверхности. Кроме того, канал NIR при детектировании сгоревших территорий более полезен, чем каналы видимого диапазона спектра вместе взятые [16].

3.1. Использование спектральных коэффициентов для детектирования гарей

В данном разделе рассматривается обоснованность применения спектральных индексов MIRBI, NBR и NBR2 для выделения областей, пройденных огнем.

Рассмотрены три территории в пределах ООПТ "Мулин Дол" (Самарская область, Большечерниговский район). Две территории были затронуты пожаром во время вегетационного периода 2018 года (Region1, Region2), третья территория осталась нетронутой (Region3). Согласно данным векторного слоя Active Fire, возгорание на территории Region1 произошло 17.04.2018, на территории Region2 – 03.05.2018.



Рисунок 2. Снимок Sentinel-2 территории ООПТ "Мулин Дол" (натуральные цвета, дата съемки 14.05.2018).

Для исследуемой территории были подобраны 9 безоблачных снимков за апрель-сентябрь 2018 года. Все снимки прошли атмосферную коррекцию с помощью пакета Sen2Cor [21]. На рисунке 3 представлены зависимости средних величин значений индексов MIRBI, NBR, NBR2 по областям от даты съемки.

Из графиков можно сделать следующие выводы

- Все рассмотренные индексы реагируют на произошедший пожар (резкое повышение коэффициента MIRBI и понижение NBR и NBR2 для кривых Region1 и Region 2 по сравнению с Region3).
- Значение индексов MIRBI и NBR2 для гарей отличается от несгоревшей территории на протяжении довольно длительного срока (около 4 месяцев для рассмотренных территорий).
- Примерно через месяц после пожара значения коэффициентов изменяются довольно плавно (что свидетельствует о восстановлении растительности на этой территории).

- Значение индекса NBR для гарей достигает значения для негоревшей территории уже через, примерно, месяц (пересечение кривых для Region1 и Region 2 с кривой для Region3).

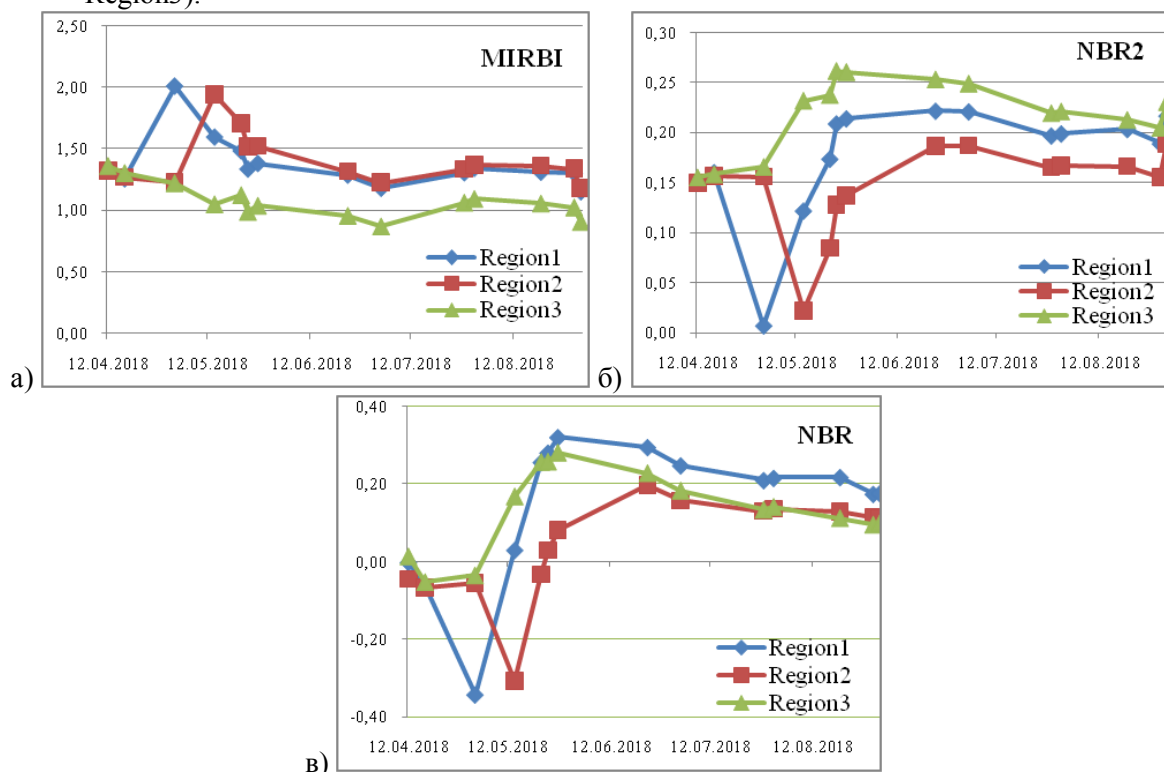


Рисунок 3. Зависимости средних величин значений индексов по областям от даты съемки:
 а) MIRBI, б) NBR2, в) NBR.

Следовательно, для оперативного обнаружения гарей можно применять любой из рассматриваемых индексов. Если между пожаром и датой съемки прошло больше месяца, детектирование гарей целесообразно проводить с использованием индексов MIRBI и NBR2. Через месяц после пожара довольно затруднительно определить "возраст" гари.

3.2. Технология детектирования и оценки возраста гарей

Предлагаемую технологию определения гарей и оценки их возраста по снимкам ДЗЗ можно представить в виде следующих этапов:

1. Отбор безоблачных снимков. Предварительная обработка снимков до уровня 2 (пакет sen2cor для данных Sentinel-2) - атмосферная коррекция.
2. Получение изображений, содержащих разности спектральных коэффициентов (дифференциальные спектральные коэффициенты) и разностный канал NIR. Анализируются пары, для которых временной интервал между съемками не превышает месяц.
3. Формирование обучающей выборки. Для получения информации о возрасте гари используются данные Active Fire.
4. Обучение классификатора.
5. Применение классификатора на конкретной паре снимков. Рассматривается только естественная растительность (с помощью маски).
6. Постобработка результатов классификации (медианный фильтр).
7. Анализ результатов классификации.

3.3. Исследование эффективности работы технологии

При обучении классификатора рассматривалась территория на границе Самарской и Оренбургской областей (рисунок 4), на которой располагаются естественные степные

территории с охранным статусом и без. Анализировались данные "Active Fire" сенсоров MODIS и VIIRS за период апрель-июль 2018 года. В обучении участвовали 11 пар снимков, по которым вычислялись разностные спектральные коэффициенты MIRBI, NBR2 и разностный канал NIR.

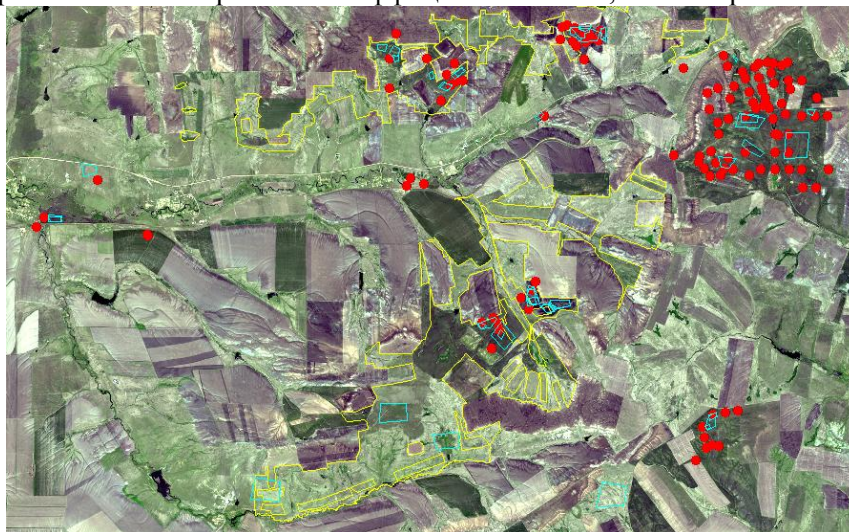


Рисунок 4. Исследуемая территория (площадь более 70 000 га). Красным обозначены точки "Active Fire" в исследуемый период, голубым – полигоны обучающей выборки, желтым – ООПТ.

Вблизи точек Active Fire очерчивались полигоны (полигоны охватывали лишь фрагмент гари, детектируемой на снимке). Полигоны соответствовали некоторому возрасту гари, который определялся как разница между датой более позднего снимка и датой точки Active Fire. Метки классов формировались следующим образом: 0-5 дней (номер класса равен 2), 6-10 дней (класс 3), 11-20 дней (класс 4), старше 20 дней (класс 5). Гари возрастом более 30 дней не рассматривались. Дополнительно был сформирован класс естественной растительности, не затронутой горящими (класс 1). Мультиспектральные данные различных пар (разностные значения MIRBI, NBR2 и NIR) и соответствующие им маски классов стыковались в один файл, эти данные подавались на вход классификатора для обучения.

Классификация проводилась методом SVM-RBF [22], реализованном в среде Visual Studio с использованием библиотеки DLib [23]. Так как объемы обучающей выборки для разных классов разные, при обучении использовалось ограничение на количество пикселей каждого класса (бралось максимум 7000 пикселей).

Качество классификации на данных обучающей выборки исследовалось с помощью алгоритма кроссвалидации. Матрица ошибок, вероятности правильной классификации по классам и средняя вероятность правильной классификации представлены в таблице 2.

Таблица 2. Качество классификации по результатам кроссвалидации.

Матрица ошибок					Вероятности правильной классификации	Средняя вероятность правильной классификации
0,9918	0	0	0	0,0083		
0	0,9518	0,0078	0,0404	0	0,9518	
0	0,0106	0,6773	0,3115	0,0006	0,6773	0,7539
0,0207	0,0191	0,4462	0,4584	0,0556	0,4584	
0,1647	0	0,0134	0,1315	0,6904	0,6904	

Анализ матрицы ошибок показывает:

- вероятность верной классификации отсутствия пожара равна 0,9917
- вероятность верного обнаружения пожара равна 0,9627

- вероятность пропуска пожара 0,0373
- вероятность ложного обнаружения пожара 0,0083

Относительно возраста пожара, хорошую вероятность правильной классификации показывают классы 1 и 2 (отсутствие гари и "молодая" гарь). Классы 3 и 5 показывают приемлемую вероятность правильной классификации. Пиксели класса 4 с примерно равной вероятностью классифицируются и в класс 4, и в класс 3. Причин для этого может быть несколько. Возможно, что на этом возрасте гари (11-20 дней) наблюдается разница в скорости восстановления различных типов растительности. Также вероятно, что это вызвано различиями в скорости изменения растительности в зависимости от вегетационного периода (в апреле-июле растительность восстанавливается быстрее, чем в августе-сентябре). В этом ключе, показатель "возраста" гари может быть проинтерпретирован как степень восстановленности растительности после пожара.

Также были проведены эксперименты по выделению гарей и определению их возраста на территориях, рассмотренных в пункте 3.1 (рисунок 5 для Region1 рисунок 6 для Region2). К ним применялась разработанная технология детектирования гарей. Для получения территории, затронутой пожаром, производилось объединение классов 2-5. Результаты сравнивались с результатом выделения гарей, произведенным специалистом в области обработки данных ДЗЗ (по видимым и инфракрасному каналам). На рисунках 5,6 а приведены композиты из разностных значений MIRBI, NBR2 и NIR (признаки для классификации), желтым контуром выделена территория ООПТ (по ней происходит дальнейшее маскирование естественной степной территории), синий контур соответствует области гари, выделенной экспертом. На рисунках 5,6 б представлены результаты классификации. На рисунках 5,6 в приведены результаты детектирования гари, полученные путем объединения классов 2-5, при этом цвет территории соответствует истинному возрасту гари.

Для области Region1 площадь гари, выделенная экспертом (внутри ООПТ), – 701,66 га, выделенная автоматически – 762,24 га. Для области Region2 площадь гари, выделенная экспертом (внутри ООПТ), – 114,37 га, выделенная автоматически – 112,6 га. Следует заметить, что в разницу между площадями входит доля, вносимая пикселями на периметре контура, которые могут быть отнесены к тому или иному классу в зависимости от правила растеризации векторного контура.

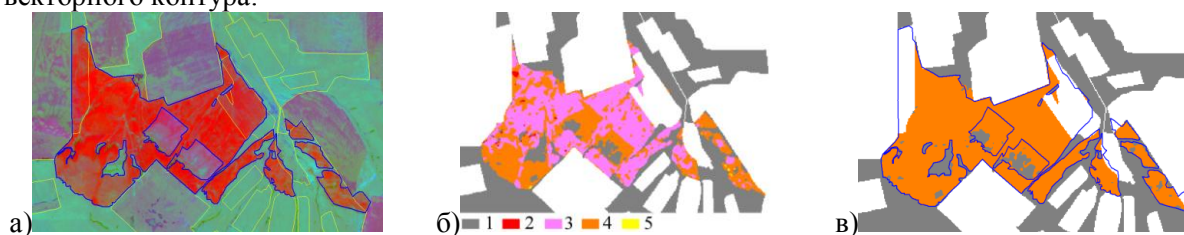


Рисунок 5. Выделение гари и определение ее возраста для Region1 (возраст гари 14 суток, класс 4): а) композит из признаков для классификации, б) результаты классификации, в) результаты детектирования гари.

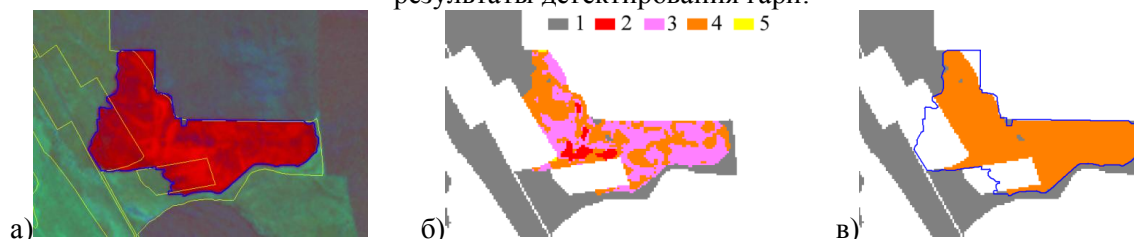


Рисунок 6. Выделение гари и определение ее возраста для Region2 (возраст гари 11 суток, класс 4): а) композит из признаков для классификации, б) результаты классификации, в) результаты детектирования гари.

Данная часть исследований показывает хорошие результаты работы представленной технологии выделения гарей по данным Sentinel-2. Результаты по определению возраста гарей

согласуются с численными данными (смещения классов 3 и 4), и могут быть объяснены разницей в скорости восстановления различных типов растительности и погодными условиями. Учет этих факторов должен повысить качество классификации и обеспечить лучшее понимание процессов, происходящих на естественных степных территориях.

4. Заключение

Охрана ценных природных объектов, исследование процессов и контроль изменений, происходящих на их территории, экологическая грамотность населения – это задачи, к важности которых сознательное общество приходит не смотря на нестабильность и экономические трудности. Явления, которые могут привести к расшатыванию хрупкого экологического равновесия, должны быть изучены и предотвращены. Для этого необходимо объединение усилий различных ведомств, исследователей разных областей, интеграция разноплановых источников данных.

В данной работе мировой опыт и современные источники данных применяются для получения необходимого инструментария для дальнейшего изучения динамики пожаров в Самарской области. Повышение качества работы технологии выделения гарей и оценки их возраста возможно за счет использования информации о типах растительности, накопленной в базе регионально верифицированных полигонов, описанной в предыдущих работах авторов [24, 25]. Также планируется рассмотреть совместное использование данных Sentinel-2 и Landsat-8.

5. Благодарности

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 18-01-00748 а), а также при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках выполнения работ по Государственному заданию ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН (соглашение № 007-ГЗ/ЧЗ363/26).

6. Литература

- [1] Исаева, Л.К. Экология пожаров, техногенных и природных катастроф / Л.К. Исаева – М.: Академия ГПС МВД России, 2000. – С. 301.
- [2] Павлейчик, В.М. Многолетняя динамика природных пожаров в степных регионах (на примере Оренбургской области) / В.М. Павлейчик // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2016. – Т. 6, № 194. – С. 74-80.
- [3] Лысенко, Г.Н. Стабильность степных фитоценоструктур: термодинамический аспект / Г.Н. Лысенко // Степи Северной Евразии: Материалы IV международного симпозиума – Оренбург: ИПК «Газпромпечатъ» ООО «Оренбурггазпромсервис», 2006. – С. 449-451.
- [4] Ильина, В.Н. Пирогенное воздействие на растительный покров / В.Н. Ильина // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. – 2011. – Т. 20, № 2. – С. 4-30.
- [5] Мартынова, Л.В. Сравнительная оценка воздействия пирогенного фактора на растительный покров степной зоны / Л.В. Мартынова // Вестник КрасГАУ. – 2016. – Т. 6. – С. 112-119.
- [6] Кобечинская, В.Г. Сезонная продуктивность степей равнинного Крыма при воздействии на них пирогенного фактора / В.Г. Кобечинская, О.А. Андреева // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2017. – Т. 3, № 69(3). – С. 29-43.
- [7] Шинкаренко, С.С. Оценка динамики площадей степных пожаров в Астраханской области / С.С. Шинкаренко // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2018. – Т. 15, № 1. – С. 138-146.
- [8] Fire Information for Resource Management System (FIRMS) [Electronic resource]. – Access mode: <https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/firms> (26.12.2019).

- [9] Шинкаренко, С.С. Анализ многолетней динамики степных пожаров в Волгоградской области / С.С. Шинкаренко, А.Н. Берденгалиева // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2019. – Т. 16, № 2. – С. 98-110.
- [10] Dubinin, M. Reconstructing long time series of burned areas in arid grasslands of southern Russia by satellite remote sensing / M. Dubinin, P. Potapov, A. Lushchekina, V.C. Radeloff // Remote Sensing of Environment. – 2010. – Vol. 114. – P. 1638-1648.
- [11] Pereira, J.M.C. Remote sensing of burned areas: a review / J.M.C. Pereira, E. Chuvieco, A. Beaudoin, N. Desbois // A review of remote sensing methods for the study of large wildland fires – Alcalá de Henares Spain, 1997. – P. 127-184.
- [12] Chuvieco, E. Historical background and current developments for mapping burned area from satellite Earth observation / E. Chuvieco, F. Mouillot, G.R. Werf, J.S. Miguel, M. Tanase, N. Koutsias, M. Garcia, M. Yebra, M. Padilla, I. Gitas, A. Heil, T.J. Hawbaker, L. Giglio // Remote Sensing of Environment. – 2019. – Vol. 225. – P. 45-64.
- [13] Meng, R. Remote sensing of fire effects : A review for recent advances in burned area and burn severity mapping / R. Meng, F. Zhao – Taylor & Francis Group, 2017. – P. 261-281.
- [14] Schepers, L. Burned Area Detection and Burn Severity Assessment of a Heathland Fire in Belgium Using Airborne Imaging Spectroscopy (APEX) / L. Schepers, B. Haest, S. Veraverbeke, T. Spanhove, J. Vanden Borre, R. Goossens // Remote Sensing. – 2014. – Vol. 6(3). – P. 1803-1826.
- [15] Smith, A.M.S. Production of Landsat ETM+ reference imagery of burned areas within Southern African savannahs: comparison of methods and application to MODIS / A.M.S. Smith, N.A. Drake, M.J. Wooster, A.T. Hudak, Z.A. Holden, C.J. Gibbons // International Journal of Remote Sensing. – 2007. – Vol. 28(12). – P. 2753-2775.
- [16] Roteta, E. Development of a Sentinel-2 burned area algorithm: Generation of a small fire database for sub-Saharan Africa / E. Roteta, A. Bastarrika, M. Padilla, T. Storm, E. Chuvieco // Remote Sensing of Environment. – 2019. – Vol. 222. – P. 1-17.
- [17] Кузнецов, А.В. Сравнение алгоритмов управляемой поэлементной классификации гиперспектральных изображений / А.В. Кузнецов, В.В. Мясников // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38, № 3. – С. 494-502.
- [18] Key, C.H. The Normalized Burn Ratio (NBR): A Landsat TM Radiometric Measure of Burn Severity / C.H. Key, N. Benson // US Geol. Surv. North. Rocky Mt. Sci. Center, 1999.
- [19] Lopez-Garcia, M.J. Mapping burns and natural reforestation using Thematic Mapper data / M.J. Lopez-Garcia, V. Caselles // Geocarto International. – 1991. – Vol. 6(1). – P. 31-37.
- [20] Trigg, S. An evaluation of different bi-spectral spaces for discriminating burned shrub-savannah / S. Trigg, S. Flasse // Remote Sensing. – 2001. – Vol. 22(13). – P. 2641-2647.
- [21] Processor for Sentinel-2 Level 2A product generation and formatting [Electronic resource]. – Access mode: <http://step.esa.int/main/third-party-plugins-2/sen2cor/> (26.12.2019).
- [22] 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, 1992. – P. 144-152.
- [23] Dlib toolkit with machine learning algorithms and tools [Electronic resource]. – Access mode: <http://dlib.net/> (26.12.2019).
- [24] Bavrina, A. Some Problems of Regional Reference Plots System for Ground Support of Remote Sensing Materials Processing / A. Bavrina, A. Denisova, L. Kavelenova, E. Korchikov, O. Kuzovenko, N. Prokhorova, D. Terentyeva, V. Fedoseev // Information Technologies in the Research of Biodiversity. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences, 2019. – P. 131-143.
- [25] Bavrina, A.Y. Natural and revitalized grassy ecosystems as biodiversity refuges: on the abilities of remote sensing for their detection and study / A.Y. Bavrina, A.Y. Denisova, L.M. Kavelenova, E.S. Korchikov, O.A. Kuzovenko, Y.V. Makarova, N.V. Prokhorova, D.A. Terentyeva, V.A. Fedoseev // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1368(3). – P. 032021.

Detection and age estimation of burned areas of natural grassy communities in the Samara region using Sentinel-2 data

A.Y. Bavrina^{1,2}, L.M. Kavelenova², O.A. Kuzovenko², N.V. Prokhorova²

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. An analysis of the environmental and socio-economic aspects associated with the steppe fires - periodically recurring natural and natural-anthropogenic emergencies - shows their high importance as a negative phenomenon for the Russian Federation. The article discusses the possibility of the detection of burned areas and their age estimation based on the calculation of spectral indices between two consecutive Sentinel-2 acquisitions. The study was conducted for the natural grassy communities of the Samara region, in which an increase in fires was observed in 2018. Using up-to-date sources of remote sensing allows to obtain additional data for research and analysis of pyrogenic processes in our region.