

Распознавание лесных и кустарниковых сообществ на основе данных ДЗЗ, подкрепленных наземными обследованиями

А.Ю. Денисова¹, Л.М. Кавеленова¹, Е.С. Корчиков¹, А.В. Помогайбин¹,
Н.В. Прохорова¹, Д.А. Терентьева¹, В.А. Федосеев^{1,2}, Н.В. Янков¹

¹Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34А, Самара, Россия, 443086

²Институт систем обработки изображений РАН - филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Молодогвардейская 151, Самара, Россия, 443001

Аннотация. Лесные и кустарниковые сообщества известны как важные компоненты окружающей среды, обеспечивающие широкий спектр экологических услуг. Леса и кустарники в Самарской области разбросаны по территории, что затрудняет их мониторинг наземными методами. Кроме того, развитие лесных и кустарниковых сообществ области ограничено природными и антропогенными причинами, поскольку Самарская область является экотонной лесостепной территорией с высоким уровнем антропогенной активности. При этом густые кустарниковые сообщества являются в основном вторичными экосистемами, ограниченными лесами или расположенными внутри естественных травянистых сообществ, полей. В настоящей статье исследуется возможность распознавания лесных и кустарниковых экосистем Самарской области по данным дистанционного зондирования (ДЗЗ), включая спутниковые снимки, с использованием материалов предварительных наземных обследований. В рамках статьи приводятся результаты анализа статистических данных по развитию лесных и кустарниковых сообществ Самарской области, описывается процесс выбора контрольно-измерительных площадок (КИП) для верификации данных ДЗЗ и рассматриваются результаты применения авторской технологии классификации композитов мультиспектральных данных ДЗЗ для классификации лесных сообществ области.

1. Введение

Лесные экосистемы эффективно участвуют в стабилизации биосферных процессов, сохранении планетарного биоразнообразия, обеспечении различных направлений природопользования и являются ценнейшей частью природного богатства Российской Федерации (РФ). При лучшей, чем в ряде стран мира, сохранности лесов в целом, леса Европейской части РФ обнаруживают негативные изменения, связанные с ухудшением качественного состава, возрастной и породной структуры, сменой лесных формаций и сокращением биоразнообразия [1]. Данный факт делает актуальной задачу мониторинга лесных сообществ по снимкам дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с целью получения оперативных и независимых наблюдений за текущим состоянием территории.

Результаты лесного мониторинга в РФ используются на разных уровнях государственного управления. На уровне страны, в РФ задачи лесного мониторинга включают в себя:

«...оперативное слежение за изменениями состояния лесного фонда, вызванных лесопользованием, природными и техногенными воздействиями на леса, обработку и анализ этих данных, составление прогнозов с целью охраны и защиты лесов, рационального использования лесных ресурсов и устойчивого развития лесного сектора экономики России.» Правовой основой лесного мониторинга является постановление Совета Министров РФ от 24.11.94 г. № 1229 «О создании единой государственной системы экологического мониторинга» и решение Межведомственной комиссии по экологической безопасности Совета безопасности Российской Федерации от 16.06.94 г. № 8, в котором признано необходимым разработать и внедрить систему лесного мониторинга, как составную часть единой государственной системы экологического мониторинга (ЕГСЭМ).» [2]. На региональном уровне, функциями лесного мониторинга являются разработка и адаптация методического и программного обеспечения для организации и ведения лесного мониторинга с учетом специфики региона [3].

Для Самарской области задачи лесного мониторинга можно сформулировать как: региональная верификация данных ДЗЗ и разработка технологии классификации лесных сообществ, в том числе по данным Лесного плана области. В рамках данной статьи описываются результаты решения этих задач, полученные специалистами по экологии и геоинформатике Самарского университета с учётом особенностей рассматриваемых растительных сообществ в Самарской области. В первом разделе приводятся результаты анализа глобальных статистических данных открытых информационных ресурсов о характере изменений лесных и кустарниковых сообществ в регионе. Во втором разделе описывается выбор контрольно-измерительных площадок (КИП) для региональной верификации данных ДЗЗ. В третьем разделе приводятся описание авторской технологии управляемой локальной классификации на основе сезонных композитов мультиспектральных данных ДЗЗ и экспериментальные результаты ее апробации для территории с известным Лесным планом. В этом же разделе приведены результаты анализа классификации Лесного плана с использованием верифицированных данных ДЗЗ с целью определения произошедших в растительном сообществе изменений.

2. Особенности лесных и кустарниковых сообществ Самарской области

Доминирование древесных пород в зрелых лесах определяется изменением географической широты. Выделяют три основных лесных региона: бореальный, гемибореальный и неморальный, к которому принадлежит северо-восточная часть Самарской области. Для неморального региона наиболее типичными являются широколиственные леса и лесостепные ландшафты [4,5].

По природно-климатическим условиям Самарская область является пространством, где осуществляется переход от лесостепи к степи [6]. С 1996 г. все леса области, с учетом экологической обстановки, переведены в первую экологическую группу [7], а в соответствии с лесорастительным районированием, утвержденным приказом Минсельхоза России от 09.03.2011 № 61, леса Самарской области отнесены к лесостепной зоне лесостепного района Европейской части РФ. Все леса области по целевому назначению относятся к защитным лесам, которые подлежат освоению в целях сохранения средообразующих, водоохранных, защитных, санитарно-гигиенических, оздоровительных и иных полезных функций лесов [8].

В силу особенностей природных условий региона, а также его высокой антропогенной трансформации, покрытые лесом территории в значительной мере фрагментированы. При малой лесистости Самарской области в целом (12,8 %), данный показатель для муниципальных районов варьируется от 2% и менее (южные районы) до 22 ...25% (северные и северо-западные районы) [8,9].

Общие тенденции изменений лесов Самарской области за период с начала XIX века выражаются в их существенной трансформации, сокращении площади более чем в 2 раза, изменении видовой (уменьшении участия дуба, увеличении площади осинников) и возрастной структуры. Площади реликтовых нагорных боров и дубрав в Жигулях продолжают сокращаться [10].

Анализ официальных статистических данных, характеризующих общие показатели лесов Самарской области за последние годы, рисунок 1, отражает некоторое снижение и последующий возврат показателей площади лесов к уровню 2004 г.

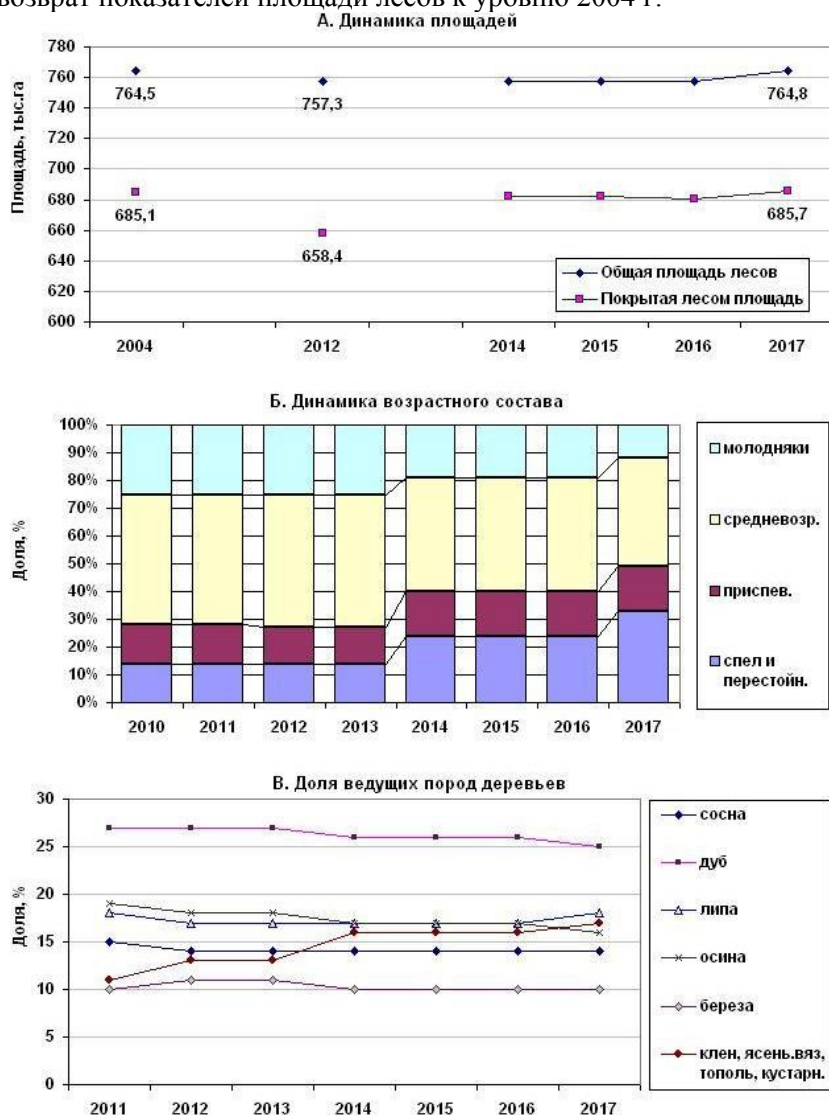


Рисунок 1. Общая динамика показателей лесов Самарской области в последние годы (составлено по данным Государственных докладов с 2004 по 2017 г. [6,9-17]).

Более важным моментом качественных изменений выступает снижение доли молодых и в меньшей степени – средневозрастных насаждений, а также рост доли спелых и перестойных насаждений. Изменения породного состава проявляются в тенденции снижения доли площадей, занятых осинкой и в меньшей степени – дубом, одновременно с ростом доли площадей, которые занимают клен, ясень, вяз, тополь и кустарники.

Таким образом, особенностями лесных растительных сообществ для Самарской области являются:

- своеобразии растительного покрова с точки зрения его экосистемной разнокачественности, орографической локализации, особенностей геологии и почвенного покрова;
- присутствие в лесном фонде естественных лесов, антропогенных насаждений разных типов, а также вторичных лесных экосистем, развивающихся в ходе ревитализации на нарушенных территориях и залежах;
- значительная неоднородность древесных насаждений по площади, локализации, породному и возрастному составу, усиливающаяся в процессе сукцессионных изменений;

- высокая фрагментация и разная принадлежность компонентов лесного фонда области. Выявленные особенности являются причинами необходимости формирования сети наземных эталонных площадок с подробным описанием территории для последующего использования в верификации методов и алгоритмов обработки данных ДЗЗ с целью классификации лесных и кустарниковых сообществ.

3. Выбор контрольно-измерительных площадок для верификации данных ДЗЗ

Для ручного дешифрования снимков ДЗЗ и их автоматической классификации необходимо наличие эталонов, позволяющих верифицировать результаты дешифрования и классификации, т.е. произвести проверку качества классификации. Региональная сеть эталонных контрольно-измерительных площадок призвана обеспечить возможности верификации данных ДЗЗ и выполнять настройку алгоритмов и технологий анализа данных ДЗЗ с учетом региональной специфики, т.е. особенностей состава территории и климатических особенностей. С 2017 г. в Самарском университете производятся работы по созданию сети КИП на территории Самарской области по ряду естественных растительных сообществ, представляющих ценность для сохранения биологического разнообразия региона.

В 2018 г. группой экологов, входящих в коллектив авторов статьи, были проведены выбор и маршрутное обследование ряда КИП, относящихся к категории лесных и кустарниковых сообществ. В Красносамарском лесном массиве и Новосемейкинском лесничестве было проведено обследование однородных по породному составу древостоя участков, представляющих интерес как места произрастания охраняемых видов высших растений (дубравы, а также березняки, в которых произрастают редчайшие виды орхидных и папоротников). В качестве КИП было выделено три участка отображённых на рисунке 2. Участок №1 соответствует березняку, участки №2-3 соответствуют дубравам. Участок №2 содержит не значительные примеси березы (концентрация менее 1%), а для участка 3 характерно присутствие примеси березы и осины (концентрация примеси до 10%). Однако, в силу особенностей погоды в 2018 г. (затяжная и холодная весна с быстрым началом вегетации при наступлении тепла), летними полевыми обследованиями не был захвачен фенологический момент наибольшей различимости листовых пород, что ограничило круг исследований в данном направлении.

Выполненное в этот же период обследование кустарниковых сообществ позволило выделить 6 КИП в Большечерниговском и Кинельском районах Самарской области, рисунок 3. Участки №1 и №2 представляют собой несомкнутую кустарниковую степь с проективным покрытием крон кустарников около 50%. Для участка №1 характерно преобладание ракитника и чилиги, для участка №2 доминируют чилига и миндаль низкий. Участок №3 – сомкнутая кустарниковая степь с проективным покрытием крон кустарников 100% с преобладанием чилиги. Участок №4 – склон ковыльной степи и не содержит кустарников. Участок №5 характеризуется неравномерным зарастанием кустарниками с проективным покрытием в среднем 80-90%. В ярусе кустарников участка №5 - монодоминант чилига с примесью отдельных деревьев вяза мелколистного. Участок №6 – кустарниковая степь с высокой сомкнутостью крон (проективное покрытие кустарников 80%). Ярус кустарников составляют: чилига 80%, миндаль низкий 20%.

Выделенные участки кустарниковых сообществ характеризуются малой площадью (100×100 м и менее), преимущественным расположением на склонах заметным перепадом высот (от 3 до 20 м) и расположением по границам более массивных лесных и степных сообществ.

Проведенное обследование кустарниковых сообществ показало, что при вторичном характере данных сообществ для них трудно выбрать достаточно большие однородные участки (рисунок 4). Кроме того, полевые обследования подтвердили их бедность редкими видами высших растений. Тем не менее, кустарниковые сообщества заслуживают дальнейшего изучения, поскольку в окружении агроценозов они фактически становятся убежищами для представителей фауны, в том числе и охраняемых видов.



Рисунок 2. Участки КИП для березняков и дубрав, выявленные при первичном обследовании.

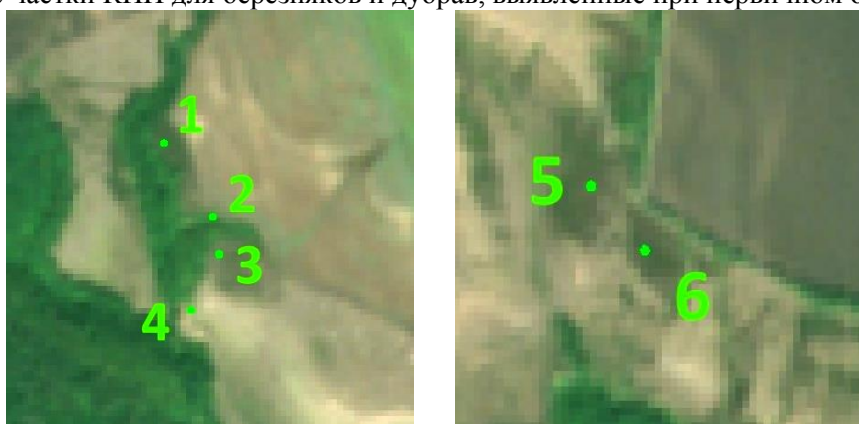


Рисунок 3. Центры участков КИП кустарниковых растительных сообществ.

Очевидно, что объём выделенных участков КИП не даёт возможности организовать уверенное распознавание лесных и кустарниковых сообществ в силу малого размера и количества участков. Однако информация о КИП может использоваться для уточнения результатов классификации, настройка которой производилась по иным источникам геоинформационных данных, например, картам особо охраняемых природных территорий или Лесных планов. Причиной необходимости уточнения классификации при обучении по данным геоинформационных источников является длительный срок обновления картографических материалов, что приводит к уменьшению точности используемой обучающей выборки по мере устаревания информации.

4. Технология управляемой локальной классификации композитов мультиспектральных данных ДЗЗ и ее применение для классификации лесных сообществ

В настоящей статье приводится описание технологии классификации, разработанной частью коллектива авторов статьи, и результаты ее применения для классификации лесных сообществ. Выбор лесных сообществ для исследования был продиктован наличием для обучения классификатора достаточного объёма доступных векторных данных Лесного плана области (актуальность 2013-2014 гг.) в окрестностях, выделенных КИП для лесных территорий. Для кустарниковых сообществ отсутствовали подобные источники информации для обучения классификатора, а данных выделенных КИП было недостаточно из-за малого размера участков и количества участков. Кроме того отсутствовали доступные снимки высокого разрешения для данных территорий, поэтому классификация кустарниковой растительности остается вопросом дальнейших исследований.

Применяемая в настоящей статье технология классификации растительных сообществ использует для классификации композиты разновременных мультиспектральных данных ДЗЗ и основана на процедурах пространственной обработки и поэлементной классификации

гиперспектральных данных, предложенных в работах [18-19]. С точки зрения анализа растительных сообществ композиты разновременных мультиспектральных снимков за сезон вегетации позволяют получить более полноценное признаковое описание растительности, поскольку отражают моменты наступления определённых фенологических фаз, а методы обработки гиперспектральных изображений позволяют эффективно обрабатывать получаемые многомерные массивы данных.



Рисунок 4. Общий вид кустарниковых сообществ, июнь-июль 2018 г. (верхние фото – Большечерниговский, нижние фото – Кинельский район Самарской области).

4.1. Общее описание классификатора

Исходными данными классификатора являются композит мультиспектральных снимков среднего разрешения, маска обучающей выборки на этапе обучения и маска тестовой выборки на этапе классификации. Композит составляется из всех каналов доступных за сезон вегетации безоблачных снимков среднего разрешения (10-20 м) и обязательно включает каналы относящиеся к ближнему инфракрасному и красному спектральным диапазонам, характеризующим наличие и густоту зеленой растительности. Маска обучающей выборки представляет собой изображение индексов классов для участков снимка с известной классификацией. Маска тестовой выборки содержит значение «1» в пикселях классифицируемых областей и «0», иначе. Выходными данными классификатора является изображение, содержащее в каждом пикселе индекс класса в данной точке снимка.

Технология классификации состоит из следующих этапов:

1. Расчёт признаков. Данный этап включает в себя нормализацию и снижение размерности признакового пространства методом главных компонент [20]. Нормализация выполняется путём приведения яркости в каждом канале к диапазону $[-1,1]$.

2. Пространственная предобработка. Этап необходим для сокращения уровня шумов в исходных данных при сохранении информации о границах на изображении и заключается в медианной фильтрации малым окном размера $N \times N$.

3. Кластеризация. Кластеризация применяется для вычленения из исходного множества данных подмножеств сходных по признаковому описанию. Для кластеризации в рамках данной статьи использовался обобщённый EM алгоритм кластеризации, предложенный в работе [21]. Данный алгоритм оценивает приблизительное количество кластеров и их параметры в соответствии с моделью гауссовой смеси распределений. Кластеризация производится по максимуму условной вероятности принадлежности вектора признаков заданному кластеру.

4. Сегментация по областям связности кластеризации. На данном этапе, поскольку сходные по признаковому описанию пиксели (члены одного кластера) могут быть расположены в различных частях изображения, возникает задача разметки результатов кластеризации на области связности, т.е. установки уникального индекса для каждой компоненты связности каждого кластера. Изображение, полученное после сегментации по областям связности, будем называть сегментированным изображением, а сами области – сегментами.

5. Управляемая поэлементная классификация. В рамках данной статьи она производилась с помощью метода опорных векторов с радиальными базисными функциями SVM-RBF[22]. На этапе обучения классификатора по данным маски обучающей выборки и композиту снимков выполняется настройка классификатора. Во время классификации, полученные настройки используются для обработки пикселей тестовой выборки.

6. Агрегация результатов классификации и сегментации необходима для обеспечения учета пространственных взаимосвязей пикселей изображения после поэлементной классификации. В рамках настоящей статьи для агрегации использовался метод голосования большинства, т.е. для каждого сегмента результат классификации устанавливается равным классу, встречающемуся в данном сегменте наибольшее число раз;

7. Пространственная постобработка результатов классификации. Данный этап представляет собой алгоритм анализа изображения меток классификации локальным окном размера $M \times M$ с порогом T , предложенный в работе [18]. Для каждого положения окна определяется доминирующий класс. Если количество пикселей окна, относящихся к доминирующему классу, превышает порог T и номер класса для центрального пикселя окна не совпадает с доминирующим номером класса, то значение центрального пикселя окна заменяется на номер доминирующего в окне класса. Данный вариант постобработки результатов классификации является аналогом медианной фильтрации и направлен на уменьшение количества неправильно проклассифицированных единичных пикселей.

4.2. Применение классификатора для классификации лесных сообществ

Данные Лесного плана характеризуются высокой полнотой описания лесных сообществ и содержат в векторном виде границы участков с указанием долей конкретных пород деревьев. Однако за период, прошедший со времени последнего обновления Лесного плана, могли произойти изменения характера насаждений, то есть используемая обучающая выборка, сформированная по данным Лесного плана, может приводить к ошибкам в настройках классификатора и, как следствие, к ошибкам в классификации. Поэтому была принята следующая схема исследований:

1. Обучение классификатора на обучающей выборке по данным Лесного плана.
2. Применение классификатора на контрольной выборке по данным Лесного плана.
3. Анализ ошибок классификации и верификация результатов классификации с помощью наземных обследований.

Для классификации лесных растительных сообществ была применена описанная выше авторская технология классификации на примере территории Красносамарского леса, для которого были доступны данные Лесного плана за 2013-2014 гг. в виде векторной карты в ГИС «Ингео» и 17 безоблачных снимков Sentinel-2, полученных в период с апреля по октябрь 2018 г. Составленный из доступных снимков многоканальный композит содержал 135 компонент (по 8 каналов из каждого снимка за исключением каналов с 60 метровым пространственным разрешением). Спектральные каналы изображений Sentinel-2 с исходным пространственным разрешением 20 м были приведены к 10 м разрешению с использованием средств пакета Scanex Image Processor. Все используемые снимки соответствовали уровню продукта L2A с выполненной атмосферной коррекцией.

Обучение классификатора производилось на участках Лесного плана с долей преобладания одной древесной породы более 0,8. Отобранные участки представляли 9 классов пород: берёза, вяз, дуб, ива, клён, осина, сосна, тополь, ясень, – и были использованы для обучения и тестирования классификатора. Векторные границы участков предварительно преобразовывались в растровую форму, т.е. в изображение-маску, содержащее метку класса

преобладающей породы в пределах каждого из участков и ноль, вне границ используемых участков. Пространственное разрешение маски классов соответствовало разрешению используемого композита снимков. Маски классов формировались для обучающей и контрольной выборок независимо и не имели общих участков. Причем обучающей выборке соответствовала северная часть лесничества, а контрольной – южная. Для того, чтобы обучающая выборка не была адаптирована под особенности конкретного леса, было принято, что для каждого класса в обучающую выборку будут включены по 2000 пикселей. Таким образом, исключалась возможность влияния доминирующих пород деревьев на результаты классификации.

В результате применения описанной технологии классификации на контрольной выборке была получена точность классификации 0,8160. При этом на этапе расчёта признаков использовалось 40 главных компонент, а параметры фильтров пространственной предобработки и пост обработки были равны $N=3$, $M=5$, $T=3$. Для 43 ошибочно классифицированных участков была получена маска ошибок классификации, рисунок 5.

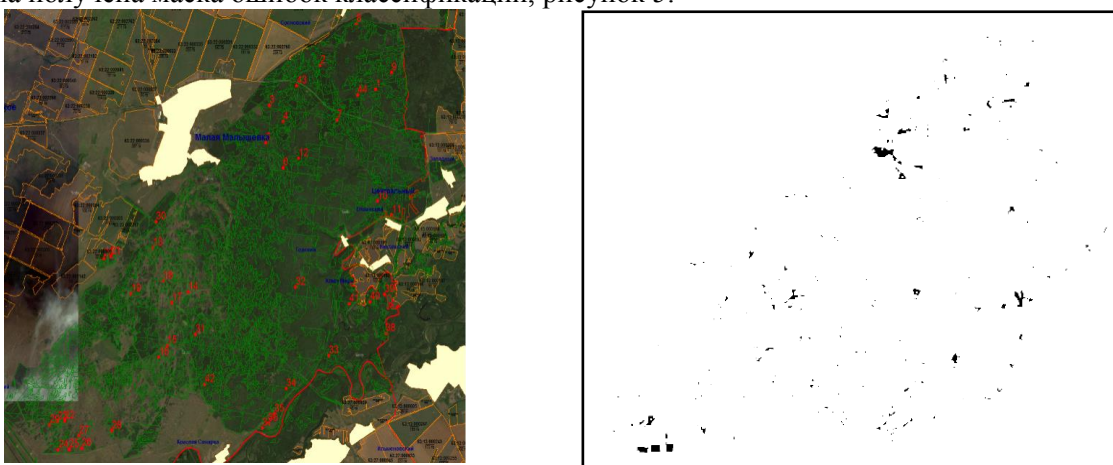


Рисунок 5. Карта и маска 43 ошибочно классифицированных участков Лесного плана.

Выявленные ранее КИП и выборочные участки с ошибочной классификацией были использованы для анализа качества классификации, описываемого в следующем подразделе.

4.3. Анализ ошибок классификации с использованием данных наземных обследований

Выявленные ранее для лесной растительности КИП для березняков и дубрав подтвердили правильность классификации в данных участках. Следует отметить, что для выбранных КИП характерна большая площадь насаждений и, следовательно, долговременная устойчивость сообществ к значительным изменениям в их составе. Данный факт позволяет заключить, что выбранные КИП подходят для верификации данных ДЗЗ в широком временном интервале при отсутствии антропогенных изменений и изменений, вызванных чрезвычайными ситуациями.

Что касается участков с ошибочной классификацией, то есть участков для которых данные Лесного плана не совпадают с результатами классификации, то для выявления причин ошибочной классификации были отобраны 13 наиболее крупных участков, по которым осенью 2018 г. было произведено дополнительное наземное обследование. Обследование включало экспресс-оценку видового состава древостоя, характера существующих насаждений и определение актуального статуса экосистем.

Обследования показали, что для 8 из 13 участков данные таксации не соответствовали актуальному статусу насаждений. Причинами несоответствия являются:

1. Выпадение старых экземпляров и внедрение в формирующиеся «окна» молодых экземпляров других древесных пород, которые привели к частичной смене доминирующих древесных пород и пространственной картины распределения древостоя.

2. Выгорание древесного яруса в результате пожаров в последние годы, для части наиболее старых горельников началось зарастание преимущественно осиной и березой.

3. Ошибки распознавания, связанные с молодым возрастом хвойных лесокультур, которые в первые годы развития не отличаются на снимках от степной растительности.

4. Изначально неточно определенные границы между выделами.

На рисунке 6 приведены примеры произошедших изменений на участках с ошибочной классификацией по данным осеннего обследования 2018 г.



Рисунок 6. Изменения в выделах Красносамарского леса: выпадение старых экземпляров древостоя и внедрение новых особей в древесный ярус (верхние фото); выгоревшие ранее участки сосняков: сохранившиеся экземпляры сосны, зарастание осиной горельников (нижние фото).

5. Выводы

В результате исследования были произведены наземные обследования с выбором контрольно-измерительных площадок, содержащих лесные и кустарниковые растительные сообщества. Целью выбора КИП являлось расширение сети верифицированных наземных площадок на территории Самарской области для анализа естественных растительных сообществ. Для выбранных КИП было составлено актуальное описание состояния растительности и территории. Отобранные КИП частично были применены при анализе результатов классификации по данным снимков среднего разрешения и Лесного плана для территории Красносамарского лесничества.

В статье рассмотрена классификация данных с обучением по информации карт Лесного плана с использованием авторской технологии классификации мультиспектральных сезонных композитов снимков среднего разрешения. Анализ результатов классификации с применением ранее выделенных КИП для лесной растительности показал, что отобранные КИП не претерпели существенных изменений за последние 5 лет (с момента создания Лесного плана) и, следовательно, являются устойчивыми растительными сообществами, которые могут быть использованы для верификации других методов и алгоритмов классификации данных сообществ на территории Самарской области. Для анализа расхождения результатов классификации с данными Лесного плана было произведено дополнительное наземное обследование самых крупных участков с расхождениями, в результате которого было выявлено, что причинами ошибок классификации являются неточности границ выделов в лесном плане и наличие существенных изменений в составе доминирующих пород в рамках данных участков, что подтвердило эффективность рассматриваемой технологии классификации.

Для кустарниковых сообществ оказалось, что данные сообщества преимущественно расположены на участках рельефа с сильным перепадом высот от 3 до 20 метров, что при сравнительно малой площади участков затрудняет их исследование с использованием открытых данных ДЗЗ среднего разрешения. Поэтому исследование кустарниковых сообществ с использованием выделенных КИП составляет перспективу дальнейших исследований и требует применения средств ДЗЗ высокого разрешения или беспилотных летательных аппаратов.

6. Литература

- [1] Национальная Стратегия сохранения биоразнообразия России. – М.: Министерство природных ресурсов РФ, 2002. – 129 с.
- [2] Положение о лесном мониторинге. Федеральная служба лесного хозяйства России. Письмо от 29.11.95 года N МГ-1-17-6/287.
- [3] Таранков, В.И. Мониторинг лесных экосистем. / В.И. Таранков. – Воронеж: Издательство Воронежской государственной лесотехнической академии, 2006. – 299 с.
- [4] Восточноевропейские широколиственные леса /под ред. О.В. Смирновой. – М.: Наука, 1994. – 364 с.
- [5] Smirnova, O.V. European Russian Forests: Their Current State and Features of Their History / O.V. Smirnova, M.V. Bobrovsky, L.G. Khanina. – Springer, 2017. – 572 p.
- [6] Государственный доклад о состоянии окружающей среды и природных ресурсов Самарской области за 2013 год. Выпуск 24. – Самара, 2014. – 283 с.
- [7] Экономическая энциклопедия регионов России. Самарская область / под ред. Е.В. Полиевктовой. – М.: ЗАО «Экономика», 2007. – 396 с.
- [8] Доклад об экологической ситуации в Самарской области за 2017 год. Выпуск 28. – Самара, 2018. – 226 с.
- [9] Государственный доклад о состоянии окружающей среды и природных ресурсов Самарской области за 2016 год. Выпуск 27. – Самара, 2017. – 198 стр.
- [10] Государственный доклад о состоянии окружающей среды и природных ресурсов Самарской области за 2014 год. Выпуск 25. – Самара, 2015. – 298 с.
- [11] Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Самарской области в 2004 году». Выпуск 15. Самара, 2005. – 214 с.
- [12] Государственный доклад о состоянии окружающей среды и природных ресурсов Самарской области за 2010 год. Выпуск 21. – Самара, 2011. – 336 с.
- [13] Государственный доклад о состоянии окружающей среды и природных ресурсов Самарской области за 2011 год. Выпуск 22. – Самара, 2012. – 343 с.
- [14] Государственный доклад о состоянии окружающей среды и природных ресурсов Самарской области за 2012 год. Выпуск 23. – Самара, 2013. – 397 с.
- [15] Государственный доклад о состоянии окружающей среды и природных ресурсов Самарской области за 2015 год. Выпуск 26. – Самара, 2016. – 296 с.
- [17] Государственный доклад о состоянии окружающей среды и природных ресурсов Самарской области за 2016 год. Выпуск 27. – Самара, 2017. – 198 с.
- [18] 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.
- [19] Федосеев, В.А. Классификация гиперспектральных спутниковых изображений по эталонным участкам территории / В.А. Федосеев // Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2018): сборник трудов IV международной конференции и молодежной школы, 2018. – С. 966-975.
- [20] Wold, S. Principal Component Analysis / S. Wold, K. Esbensen, P. Geladi // Chemometrics and intelligent laboratory systems. – 1987. – Vol. 2(1-3). – P. 37-52.
- [21] Denisova, A.Y. EM clustering algorithm modification using multivariate hierarchical histogram in the case of undefined cluster number / A.Y. Denisova, V.V. Sergeev // Proceedings of SPIE. – 2018. – Vol. 10806. – P. 108064H. DOI: 10.1117/12.2503151.

- [22] Zhang, T. An Introduction to Support Vector Machines and Other Kernel-based Learning Methods / T. Zhang // AI Magazine. – 2001. – Vol. 22(2). – P. 103-104. DOI: 10.1017/CBO9780511801389.

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.

Recognition of forest and bushy communities on the base of remotely sensed (RS) data supported by ground studies

A.Y.Denisova¹, L.M.Kavelenova¹, E.S. Korchikov¹, A.V. Pomogaybin¹, N.V. Prokhorova¹, D.A. Terentyeva¹, V.A. Fedoseev^{1,2}, N.V. Yankov¹

¹Samara National Research University, Moskovskoe Shosse 34A, Samara, Russia, 443086

²Image Processing Systems Institute of RAS - Branch of the FSRC "Crystallography and Photonics" RAS, Molodogvardejskaya street 151, Samara, Russia, 443001

Abstract. The forest and bushy communities are known as important components of environment provide wide spectrum of ecological services. The forests and bushy cover in Samara region is dispersed on the territory what makes its monitoring difficult. As for the forests space, it is limited by natural and anthropogenic causes for Samara region as ecotone forest-steppe territory with the high level of human activity. The bushy communities are mostly secondary ecosystems incorporated in natural grassy communities or fields or enclosed to forests. These specific ecosystems can be recognized on remote sensing data including satellite images supported by preliminary ground surveys. This article is postulated on the base of numerous scientific data including foreign and our own results.