

К возможностям обнаружения и оценки состояния лесополос на основе комплексного использования данных ДЗЗ и наземного обследования

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

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

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

Аннотация. В лесостепных и степных районах с высокой степенью распаханности земель существенно нарушается природное биологическое равновесие экосистем. Создаваемые здесь защитные лесные насаждения – основное звено сохранения природных и антропогенных ландшафтов. Для Самарской области в системе защитных лесополос присутствуют составные части, относящиеся к различным периодам создания: в конце XIX-начале XX вв., в середине XX в., в 60-70 годы XX в. и более молодые насаждения. Ввиду многочисленности и дисперсного распространения лесополос фактически по всей территории нашей области, их разной «принадлежности» и отсутствию достаточных средств, организация наземного обследования их текущего состояния представляется крайне маловероятной. Содействовать выходу из этой ситуации может использование дистанционного мониторинга состояния существующих лесополос с использованием материалов космосъемки, обработка которых осуществляется при верификации путем привлечения данных, полученных на эталонных полигонах. Своеобразие лесополос как линейного протяженного объекта сравнительно небольшой ширины актуализирует задачу разработки методических приемов их мониторинга. В статье анализируются некоторые результаты такой работы, выполненные для эталонных участков полезащитных и придорожных лесополос Самарской области.

1. Введение

1.1. Задача обнаружения и оценки состояния лесополос и её актуальность

В лесостепных и степных районах с высокой степенью распаханности земель существенно нарушается природное биологическое равновесие экосистем. Создаваемые здесь защитные лесные насаждения – основное звено сохранения природных и антропогенных ландшафтов. Участвуя в перераспределении влаги, изменении скорости ветровых потоков, лесополосы противостоят ветровой и водной эрозии. Поглощая аэральное загрязнение, они осуществляют его перераспределение из воздуха в фитомассу и далее – в почвенную среду, формируя зоны с повышенным накоплением техногенных поллютантов. Развивающиеся на базе лесополос экосистемы также характеризуются неоднозначностью. С одной стороны, в условиях

преобладания агроценозов они становятся убежищами видов природной флоры. С другой стороны, включенные в состав лесополос растения-интродуценты могут выходить за пределы насаждений и распространяться в окружающей среде, становясь агентами биологического загрязнения, что в Самарской области носит массовый характер для клена ясенелистного, вяза мелколистного, лоха узколистного. Тем не менее, положительная роль лесополос объективно может считаться преобладающей, а направленные на их сохранение меры - необходимыми.

Для Самарской области в системе защитных лесополос присутствуют составные части, относящиеся к различным периодам создания: в конце XIX-начале XX вв., в середине XX в., в 60-70 годы XX в. и более молодые насаждения. Первые попытки создания лесополос в Самарской области были предприняты в 1872 г. Высаживались светолюбивые породы (ясень обыкновенный, жёлтая акация и единично дуб обыкновенный), преимущественно на солонцеватых почвах, малопригодных для лесоразведения, поэтому большая часть посадок практически полностью погибла, сохранившись лишь на 16 % [1.4.1]. В 1894-1897 гг. на площади более 60 га были заложены лесополосы, получившие название «Тимашевские». По результатам этих работ Н.К. Генко были разработаны основные положения агротехники выращивания лесонасаждений. Созданные под его руководством водораздельные лесные полосы представляют собой широкие ленты искусственного леса шириной более 600 м, расположенные ломаными линиями длиной от 2,5-3,5 до 25 км по водоразделам рек Самары и Чапаевки (Дубовские и Тепловские), Чапаевки и Чагры (Камышинские, Безенчукские и Владимирские), Сока и Падовки (Шиланские) [1, 2]. Данные лесополосы протягиваются преимущественно с юго - запада на северо - восток, перпендикулярно направлению суховея и разделены продольными, а через каждые 80 - 200 м и поперечными просеками, используемыми как лесные дороги [1]. Сохранившиеся фрагменты генковских лесополос, которым в настоящее время присвоен статус памятников природы, по сравнению с исходными насаждениями существенно трансформировались. Наиболее старые экземпляры деревьев были утрачены в результате вырубки, их место заняли сформировавшиеся за счет самосева особи, что привело к искажению породного состава полос. Рядовое размещение древесных растений также не полностью прослеживается. На период 1892-1906 гг. приходится наибольший объём работ по созданию лесополос, в 1906 г. посадки были прекращены, а затем возобновлены только в 1949 г. С 1966 по 1982 гг. ежегодно создавалось более 3 тыс. га защитных лесонасаждений в год, в период с 1995 по 1998 гг. – не более 100 га / год, в последние годы прослеживается тенденция к активизации данного вида деятельности [1, 2].

По учёту лесного фонда на данный момент общая площадь лесных полос области составляет более 8,5 тыс. га. Они расположены на территории 4 лесхозов – Безенчукский (Хворостянского и Безенчукского лесничества), Самарский (Дубово-Умётское и Чапаевское лесничества), Красноярский (Шиланское лесничество) и Кинельский. Самый большой объём посадок приходится на Дубово-Умётское и Хворостянского лесничества [1]. В настоящее время лесополосы представлены преимущественно порослевыми древостоями второго поколения, возникшими в результате сплошных рубок. Средний возраст – 55 лет. Насаждения семенного происхождения в возрасте 90 - 100 лет занимают меньшую площадь, т.к. в военное время были единственным источником получения древесины. Массово представленные в области лесополосы «среднего» возраста, как полезащитные, так и придорожные, характеризуются различным жизненным состоянием древостоя. В последние годы отчетливо проявилась тенденция к выпадению во многих насаждениях берез, для которых последовательное воздействие стрессовых условий зимы 2009/2010 гг. и последующей засухи 2010 г. вызвали тяжелое повреждение корневых систем. Растянувшееся на несколько лет отмирание деревьев привело к фактической потере ряда придорожных полос с березой в качестве главной породы.

1.2. Постановка задачи исследования

Ввиду многочисленности и дисперсного распространения лесополос фактически по всей территории нашей области, их нахождения на землях разного подчинения, а также отсутствия достаточных средств, организация наземного обследования их текущего состояния представляется крайне маловероятной. Содействовать выходу из этой ситуации может

использование дистанционного мониторинга состояния существующих лесополос с использованием материалов космосъемки, обработка которых осуществляется при верификации путем привлечения данных, полученных на региональных эталонных контрольно-измерительных полигонах (КИП). Своеобразие лесополос как линейного протяженного объекта сравнительно небольшой ширины актуализирует задачу разработки методов их обнаружения и оценки состояния, в том числе с использованием спектральных характеристик данных насаждений. В данной работе представлены первичные результаты исследования, посвящённого обнаружению лесополос на космических снимках.

Работа организована следующим образом. В разделе 2 представлены результаты работы, проведённой на местности для выявления и категоризации контрольных участков местности, которые в дальнейшем фигурируют в качестве обучающих данных. В разделе 3 описана технология автоматического выявления лесополос на космических снимках с использованием обучающих данных и результаты её апробации. Завершает работу заключение, содержащее выводы по результатам исследования.

2. Выбор и обследование контрольных участков местности

В Кинельском районе Самарской области в соответствии с доступными картографическими материалами был определен перспективный с точки зрения подбора эталонных участков лесополос (целевых КИП) фрагмент территории. На данной территории были выделены три КИП (см рисунок 1) с учетом их целевой принадлежности (полезащитные, придорожные) и породного состава. Далее в ходе наземного обследования были проведены координатная привязка точек начала и конца участков и их комплексное обследование, включавшее определение состояния насаждений.

Рисунок 1. Схема расположения эталонных участков лесополос: КИП 1 – окрестности пос. Бобровка, КИП 2 – окрестности пос. Формальный, КИП 3 – окрестности с. Малая Малышевка.

В пределах КИП «Окрестности с. Бобровка», расположенного в Кинельском районе в 3 км на восток от с. Бобровка, выполнено комплексное полевое обследование 2 эталонных участков лесополос полезащитного назначения.

Первая лесополоса по конструкции представляет собой четырехрядное насаждение (ясень ланцетный, ясень ланцетный, вяз шершавый, вяз шершавый) с хорошо развитым древесным самосевом с северо-западной стороны. В существующем виде насаждение практически непроходимое, с высокой степенью сомкнутости, представляет «сплошной массив» сомкнутых крон без «окон» и прогалов, при наличии отдельных обращенных вниз усохших ветвей, засохших стволов, светлых вкраплений стволов без коры. Насаждение достаточно однородно, в вегетирующем состоянии осуществляет активное светопоглощение (с максимумами в красной и синей областях спектра).

Вторая лесополоса также является четырехрядным насаждением (вяз шершавый, ясень ланцетный, ясень ланцетный, вяз шершавый), для которого отмечены разреженность, наличие

«окон» и прогалов, которые могли возникнуть в результате гибели части деревьев и вследствие несанкционированных порубок. Здесь также присутствуют стволы погибших деревьев, обращенные вниз усохшие ветви. Насаждение достаточно ажурное в области крон, подлесок образует густые заросли. Неоднородный характер, особенно заметный в ярусе крон главных пород, будет проявляться в особенностях картины светопоглощения.

Для КИП «Окрестности пос. Формальный», который находится в Кинельском районе в 2 км на северо-восток от пос. Формальный, было выполнено обследование 3 эталонных участков, среди которых один относился к группе полезащитных полос, и два – к придорожным.

Для участка полезащитной лесополосы регулярно выполняется расчистка прилегающей части поля от древесной поросли и всходов, но внутри полосы меры по уходу давно не проводились, насаждение трудно непроходимое из-за поросли, древесного самосева и присутствия поникших сухих ветвей. По конструкции данная лесополоса также представляет четырехрядное насаждение (вяз шершавый, ясень ланцетный, ясень ланцетный, вяз шершавый) с относительно разреженным размещением деревьев. С обеих сторон полосы выражен самосев древесных пород, его полосы не достигли 4 м высоты. Отмечены единичные, обращенные вниз усохшие ветви. Насаждение ажурное в области крон, в нижней части частично ажурное, должно давать относительно однородную картину светопоглощения.

Второй участок, представляющий фрагмент придорожной полосы, - также четырехрядное насаждение (береза повислая, вяз шершавый, береза повислая, вяз шершавый), с самосевом древесных пород обеих сторон, которое характеризуется неравномерным размещением деревьев в результате гибели отдельных экземпляров. Отмечены единичные, обращенные вниз усохшие ветви. Насаждение ажурно-разреженное в области крон, в нижней части частично ажурное. Светопоглощение в пределах лесополосы должно давать неоднородную картину из-за выпадения местами древесного яруса.

Третий участок, также представляющий фрагмент придорожной полосы, по конструкции – четырехрядное насаждение (вяз шершавый, береза повислая, вяз шершавый, береза повислая), без прилегающего к полосе самосева древесных пород. Гибель части берез привела к появлению прогалов в древесном ярусе и сделала размещение деревьев неравномерным. Частичное заполнение вакантных мест в насаждениях происходит благодаря самосеву (ясень, вяз мелколистный) и поросли березы, которая берет начало от стволов ослабленных деревьев и отдельных пней. Светопоглощение в пределах данной лесополосы должно давать резко неоднородную картину из-за выпадения местами древесного яруса. Для данных придорожных лесополос мы предположили будущие сложности в их различении на снимках, что связано с их сравнительно небольшой шириной (менее 20 м).

Для КИП «Окрестности с. Малая Малышевка», расположенного в Кинельском районе в 6 км на запад от с. Малая Малышевка, были заложены 4 эталонных участка, среди которых три относились к группе полезащитных полос, и один – к придорожным.

Среди полезащитных полос первый участок по конструкции является четырехрядным насаждением (клен ясенелистный, береза повислая, береза повислая, клен ясенелистный), без прилегающего к полосе самосева. Лесополоса представляет собой насаждение с относительно равномерным размещением деревьев, продуваемое по всей высоте. Светопоглощение в пределах лесополосы должно давать картину с выраженной мозаичностью, из-за наличия белых стволов и высоких ажурных крон (с максимумами в красной и синей областях спектра).

Второй участок полезащитной полосы (трехрядного насаждения из березы повислой, без прилегающего к полосе самосева) характеризуется неравномерным размещением деревьев в результате выпада: в первом (северном) ряду – до 80% берез, во втором и третьем – до 20% берез. Светопоглощение в пределах данной лесополосы должно давать неоднородную картину (за счет наличия «окон» и прогалов) с выраженной мозаичностью, из-за наличия белых стволов и высоких ажурных крон (с максимумами в красной и синей областях спектра).

Третий участок полезащитной полосы (также трехрядного насаждения из березы повислой, к которому с северной стороны примыкает подрост древесных растений (клен ясенелистный) характеризуется неравномерным размещением деревьев в результате выпада до 20% берез. Светопоглощение в пределах лесополосы должно давать неоднородную картину (за

счет наличия «окон» и прогалов) с выраженной мозаичностью, из-за наличия белых стволов и высоких ажурных крон (с максимумами в красной и синей областях спектра).

Особо заслуживает внимания тот факт, что полезащитные лесополосы с березой повислой в качестве главной породы, обследованные нами на КИП «Окрестности с. Малая Малышевка», отличались высоким жизненным состоянием деревьев березы. Это, по сравнению с широко распространенными фактами ее угнетения и выпадения в других лесополосах Самарской области, может быть связано с благоприятным гидротермическим режимом мест произрастания, особенностями положения в рельефе и характера залегания подземных вод. Хотя отпад берез отмечен и здесь, он большей частью, вероятно, связан с самовольными порубками деревьев.

Четвертый эталонный участок, который представлял фрагмент придорожной лесополосы, по конструкции изначально формировался как четырехрядное насаждение (предположительно вяз шершавый, клен ясенелистный, клен ясенелистный, ясень ланцетный), однако в настоящее время структура рядов лесополосы не просматривается из-за отсутствия ухода (рубки, прочистка рядов, удаление валежника и древесного самосева), произошло ее «расползание» с одновременным частичным изреживанием внутренней части, в том числе из-за ухода стволов от вертикального направления роста (клен ясенелистный). Полоса практически непроходима из-за обилия валежника и смыкания наклоненных крон. Насаждение плотнокронное внизу и ажурное в верхней части крон. Светопоглощение в пределах лесополосы должно давать неоднородную картину (за счет скопления валежника и наклоненных стволов, в том числе без коры – более светлых).

Далее для данной территории производился поиск актуальных космических снимков как можно большего пространственного разрешения. В результате были отобраны фрагменты снимков с космического аппарата «Ресурс-П», полученные аппаратурой «Геотон» с разрешением 2,4 м в четырёх спектральных каналах: ближний инфракрасный, красный, зелёный и синий. Размер изображений составлял 3158×3159 точек и 10 бит на пиксель. Ввиду узости лесополос (порядка 10-15 м, как показало обследование), а также преимущественно смешанного породного состава, разрешения данных «Ресурс-П» (как пространственного, так и спектрального) оказалось недостаточно для классификации состояния полос (засушливости насаждений). Поэтому, как отмечалось в разделе 1, решалась задача автоматического обнаружения полос на выбранной местности по имеющимся космическим снимкам.

3. Обнаружение лесополос на космических снимках

Для обнаружения лесополос была выбрана технология, состоящая из двух этапов. На первом осуществлялась тематическая классификация территории на различные типы подстилающей поверхностью с целью выявления всех участков леса. Второй этап был посвящён выделению узких лесополос среди найденных участков леса.

3.1. Тематическая классификация ДДЗ

Для выполнения тематической классификации ДДЗ было принято решение использовать технологию, описанную в работе [3], представленной в данном сборнике. Данная технология включает следующие основные этапы:

1. Поэлементная предобработка входных данных с использованием преобразований NARS и PCA.

2. Пространственная предобработка входных данных посредством медианной фильтрации с малым окном.

3. Классификация с учётом кластерной структуры данных и пространственной информации, осуществляемая за счёт первичной кластеризации методом `kmeans++` с последующей разметкой связных областей в сегменты и посегментной классификацией по методу голосования большинства.

4. Пространственная постобработка результатов классификации с использованием ранговых фильтров.

Преимуществом данной технологии, как показали результаты исследований, изложенные в [3], является возможность достижения высокой точности классификации даже при условии малого объёма обучающих данных, выбранных из пространственно локализованных участков самого анализируемого снимка. Очевидно, что в качестве таковых участков удобно использовать выделенные в разделе 2 участки контрольно-измерительных полигонов, которые следует дополнить примерами других образцов подстилающей поверхности.

На этапе исследования осуществлялось сравнение данной технологии с управляемым алгоритмом классификации на основе использования иерархических гистограмм [4, 5] для решения задачи классификации. Данный алгоритм анализирует бинарную структуру вектора признаков и выполняет на этапе обучения построение иерархической гистограммы обучающей выборки. Гистограмма сохраняется в виде несбалансированного дерева фиксированной глубины, каждый узел которого содержит информацию о частоте объектов выборки, попавших в интервал гистограммы, задаваемой данным узлом. В результате усечения дерева по принципу сохранения узлов, частота попадания элементов выборки в которые больше заданного порога, обеспечивается обобщающая способность классификатора. На этапе классификации определяется ячейка иерархической гистограммы, к которой принадлежит вектор признаков, и пиксель относится в класс с максимальной частотой попадания элементов обучающей выборки в эту ячейку. Пиксели, для которых не была найдена ячейка гистограммы, относятся в дополнительный класс «не проклассифицировано».

На рисунке 2а показан фрагмент снимка «Геотон», содержащий часть анализируемой территории, включая КИП.

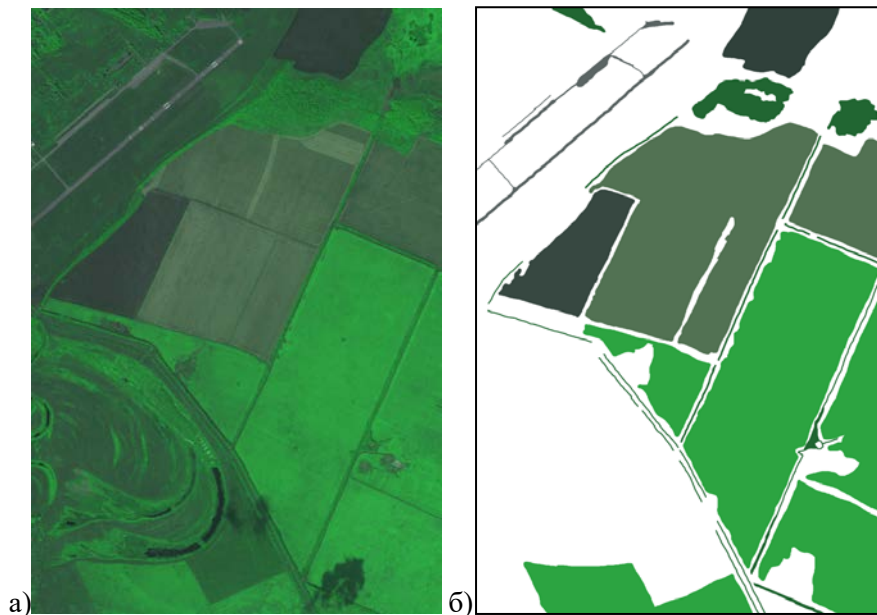


Рисунок 2. Анализируемый космический снимок спутника со «Ресурс-П» (а) и разметка основных классов подстилающей поверхности (б).

Для численной оценки качества классификации была проведена его частичная ручная разметка на 6 классов подстилающей поверхности: асфальт, лес и различные виды полей, отличающиеся состоянием всходов (см. рисунок 2б). Классифицированные данные составляют около половины от всех пикселей снимка. Как можно убедиться из рисунка, на данном снимке присутствуют несколько лесополос, а также небольшие участки леса в верхней части снимка и в нижней части слева на берегах небольших водоёмов.

На рисунке 3а показаны результаты автоматической классификации данного снимка при помощи выбранной технологии на основе обучающей выборки, составляющей 1% от множества всех размеченных на рисунке 2б данных и сформированной из локализованных областей. На рисунке 3б для сравнения приведены результаты поэлементной классификации.

Очевидно, что выбранная технология обеспечивает более высокое качество решения задачи. Численная оценка точности классификации, рассчитанная по всем размеченным данным, составила 95% для рисунка 3а.

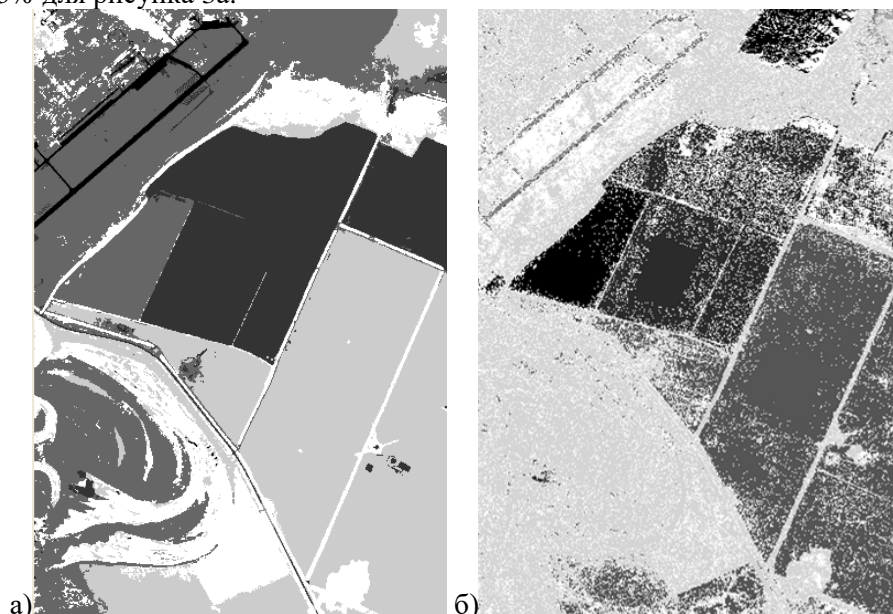


Рисунок 3. Результаты классификации снимка на рисунке 2а: (а) при помощи выбранной технологии, (б) при помощи поэлементной классификации.

3.2. Выделение лесополос среди найденных участков леса

На рисунке 4а отмечены чёрным все области, классифицированные на предыдущем этапе как участки леса. Далее среди них необходимо выделить лесополосы, которые характеризуются узостью и состоят из продолжительных прямолинейных участков.

Для их отыскания в первую очередь применялась морфологическая обработка [6], состоявшая из следующих операций:

1. Закрытие с малым окном для слияния разделённых фрагментов потенциальных лесополос.
2. Вскрытие с окном, превышающим максимальную ширину лесополосы, с целью удаления лесополос.
3. Вычитание результата шага 2 из результата шага 1.

В результате этих операций на изображении должны остаться фрагменты лесополос и рожи, сопоставимые с ними по ширине, как показано на рисунке 4б.

Далее для выявления прямолинейных участков использовалось преобразование Хафа [6], на спектре которого отыскивались локальные максимумы, соответствующие наиболее выраженным прямолинейным компонентам. Координаты полученных максимумов однозначно определяют прямые линии, а их пересечение с областями, выделенными на изображении 4б позволило определить точки начала и конца искомым сегментов, которые в идеале должны совпадать с границами лесополос. Результаты выделения сегментов отмечены на рисунке 5 (сегменты помечены красным цветом). Как можно заметить, несмотря на некоторое количество ложных сегментов, все искомые лесополосы достаточной ширины (более 8 пикселей на снимке «Геотон», что соответствует 20 метрам на местности) удалось успешно найти.

4. Заключение

В работе изложены результаты решения задачи обнаружения лесополос на космических снимках, являющейся частью практически значимого исследования, имеющего целью оценку экологического состояния лесополос на территории Самарской области. Для решения данной задачи применялся двухэтапный метод, состоящий из тематической классификации данных ДЗЗ с целью выделения областей леса и последующего выявления лесополос среди полученных

результатов на основе методов математической морфологии и с использованием преобразования Хафа. Для получения данных было проведено полевое обследование, в результате которого были выделены контрольно-измерительные полигоны, координаты которых в дальнейшем использовались для численной оценки качества решения задачи классификации. Полученные результаты анализа четырёхканальных снимков с пространственным разрешением 2,4 м позволяют сделать вывод о возможности их использования для решения задачи обнаружения лесополос. Для последующего анализа состояния насаждений требуются данные, имеющие большее пространственное и спектральное разрешение.

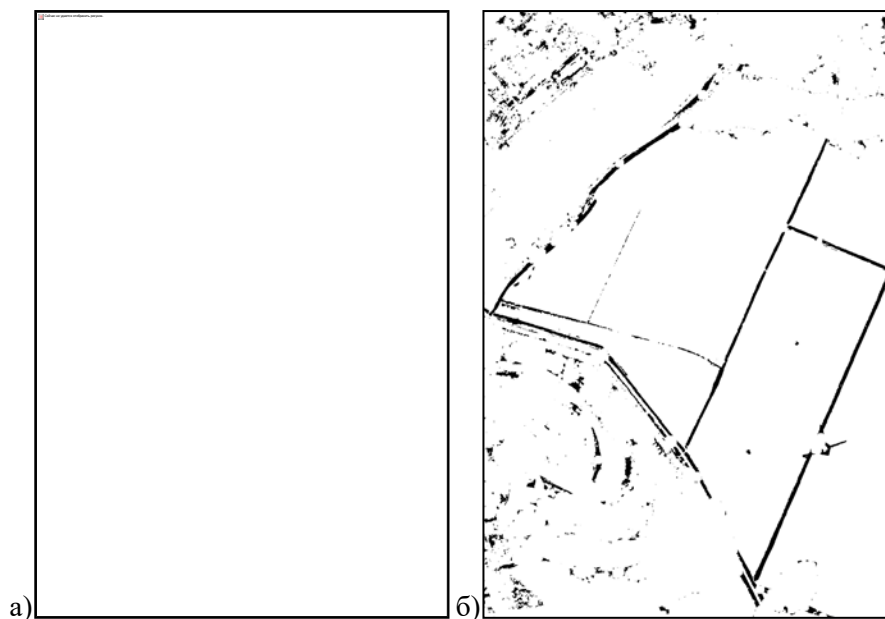


Рисунок 4. Выделенные по итогам классификации области леса (а) и результат их фильтрации с целью выделения узких участков леса (б).



Рисунок 5. Результаты выделения лесополос.

5. Благодарности

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 16-29-09494 офи_м, 18-07-00748 а), а также в рамках госзадания ФАНО России по теме №0026-2018-0106.

6. Литература

- [1] Шабалин, И.М. Самарский лес / И.М. Шабалин. – Самара, 2005. – 76 с.
- [2] Казанцев, И.В. Экологическое состояние лесополос Самарской области / И.В. Казанцев, Т.Б. Матвеева // Новая наука – от идеи к результату: Международное научное периодическое издание по итогам Международной научно-практической конференции (29 мая 2016 г., Сургут). – Ч.3. – Стерлитамак: АМИ, 2016. – С. 5-8.
- [3] Федосеев, В.А. Классификация гиперспектральных спутниковых изображений по эталонным участкам территории / В.А. Федосеев // Сборник трудов IV международной конференции и молодежной школы «Информационные технологии и нанотехнологии» (ИТНТ-2018). – Самара, 2018.
- [4] Denisova, A.Y. Supervised multichannel image classification algorithm using hierarchical histogram representation / A.Y. Denisova, V.V. Sergeyev // Procedia Engineering. – Vol. 201. – P. 213-222.
- [5] Денисова, А.Ю. Алгоритм управляемой классификации изображений дистанционного зондирования Земли с использованием иерархических гистограмм. / А.Ю. Денисова, В.В. Сергеев // Сборник трудов III международной конференции и молодежной школы «Информационные технологии и нанотехнологии» (ИТНТ-2017) 25-27 апреля, – Самара: Новая техника, 2017. – С. 437-444.
- [6] Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс // М.: Техносфера. – 2005.

Concerning the detection and ecological state evaluation of protective forest belts basing on complex ground survey and remote sensing data processing

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

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

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

Abstract. In the forest-steppe and steppe regions with a high degree of agricultural transformation, the natural biological equilibrium of ecosystems is significantly disturbed. The protective forest belts created here play an important role in natural and anthropogenic landscapes conservation. The protective forest belts system of Samara region has components created in the late XIX-early XX, in the middle of the XX, in the 60-70s of the XX. and younger plantings. Because of numerous dispersed forest belts distribution throughout the Samara region territory, their different ownership and the lack of sufficient funds, the organization of a ground survey of their current state is extremely unlikely. The use of space imagery, which is processed during verification by means of data obtained at reference polygons, can help to overcome this situation. The peculiarity of forest belts as an extended object of relatively small width actualizes the task of development the methods for their condition assessing. In the article some results of this work are analyzed for reference areas of field shelterbelts and roadside forest belts of the Samara region.

Keywords: GIS technology in ecology, forest belts, remote sensing.