

Оптимизация интерактивных процедур картографирования гарей в информационных системах дистанционного мониторинга природных пожаров

А.В. Кашницкий, Е.А. Лупян, С.А. Барталев, С.С. Барталев,
И.В. Балашов, В.Ю. Ефремов, Ф.В. Стыценко

*Институт космических исследований РАН
117997 Москва, Профсоюзная, 84/32
E-mail: smis@smis.iki.rssi.ru*

Одной из основных задач различных информационных систем дистанционного мониторинга лесных пожаров является оценка площадей, пройденных огнем (гарей). Для решения данной задачи с использованием спутниковой информации среднего пространственного разрешения (порядка сотен метров) в настоящее время созданы достаточно надежно работающие, полностью автоматизированные методы обработки данных. В то же время появление в последние годы возможности массового использования данных высокого пространственного разрешения (десятков метров) позволило проводить картирование гарей на основе этой информации. Но на настоящий момент нет надежно работающих, полностью автоматизированных процедур картирования гарей на больших территориях с использованием спутниковой информации высокого пространственного разрешения. Поэтому обычно в системах дистанционного мониторинга природных пожаров для решения данной задачи используются различные подходы, требующие интерактивного анализа. При этом для систем, контролирующих большие территории, необходимо создание специальных, максимально автоматизированных и формализованных процедур проведения картирования. В настоящей работе предложена новая схема проведения картирования, основанная на использовании неконтролируемой классификации. Основная идея данного подхода заключается в том, чтобы заменить визуальное оконтуривание гари анализом результатов классификации, которая в конечном итоге сводится к выбору из достаточно ограниченного числа классов тех, которые относятся к гари. Фактически такая процедура переводит задачу из класса, в котором необходимо визуально установить некоторый порог отсечения на достаточно гладкой функции (задачи, в которых оператору в конечном итоге необходимо произвести выбор из большого числа вариантов), в класс, где нужно произвести выбор решения из ограниченного числа вариантов. Это позволяет более четко формализовать задачу и сделать ее менее зависимой от квалификации оператора, а также ускорить процесс проведения картографирования. Все это позволяет оптимизировать процедуры интерактивного картографирования гарей в информационных системах дистанционного мониторинга пожаров.

Ключевые слова: дистанционный мониторинг природных пожаров, дистанционное зондирование, информационные системы, распределенная обработка данных, обработка спутниковых данных, web-интерфейсы, сверхбольшие архивы данных, спутниковые данные

Введение

Одной из основных задач систем дистанционного мониторинга лесных пожаров является получение информации о площадях, пройденных огнем. При этом следует учитывать, что в таких системах базовую оперативную оценку пострадавших площадей, обычно получают на основе информации наблюдения активного горения (Лупян и др., 2003; Loupian et al., 2006; Abushenko et al., 1999). Это связано, в первую очередь, с тем, что оперативная информация о действии природных пожаров обычно получается по данным детектирования термальных аномалий. При этом разрешение приборов, используемых для детектирования природных пожаров, по большей части является низким (~ 1 км), что сегодня приводит к необходимости уточнять площади, пройденные огнем, уже после окончания пожара с использованием данных достаточно высокого пространственного разрешения. Различные процедуры такого уточнения описаны, в частности, в работах (Барталев и др., 2009, 2012; Ефремов и др., 2010).

Процедуры уточнения площадей, пройденных огнем, как правило, основываются на использовании инструментов, позволяющих проводить их интерактивное оконтуривание, так как к настоящему времени полностью автоматизированная технология не создана. Поэтому обычно такое уточнение осуществляется интерактивно (вручную), с последующим возможным уточнением контура автоматическими методами (Барталев и др., 2009, 2012, 2014; Ефремов и др., 2010). В случаях, когда стоит задача провести массовую оценку площадей гари на достаточно больших территориях, необходимо построение автоматизированных процедур обработки данных, которые были бы максимально формализованы. Наличие таких процедур позволяет, с одной стороны, сделать получаемую информацию более объективной и независимой от квалификации оператора, а с другой стороны – упростить процедуры анализа данных и повысить скорость их обработки.

В настоящей работе мы опишем подобную процедуру, разработанную в ИКИ РАН, ориентированную на уточнение оценки площадей, пройденных огнем, основанную на использовании неконтролируемой классификации. Основная идея данного подхода заключается в том, чтобы заменить визуальное оконтуривание гари процедурой анализа результатов неконтролируемой классификации, которая, в конечном итоге, сводится к выбору из достаточно ограниченного числа классов тех, которые относятся к гари. Фактически такая процедура переводит задачу из класса, в котором необходимо визуально установить некоторый порог отсечения на достаточно гладкой функции (задача, в которой в конечном итоге необходимо произвести выбор из большого числа вариантов), в класс задач, где нужно произвести выбор решения из ограниченного числа вариантов. Естественно, что второй класс задач может быть гораздо более четко формализован, что позволяет получать более устойчивые решения при интерактивном анализе, проводимом разными специалистами. Это позволяет более четко формализовать задачу и сделать ее менее зависимой от квалификации оператора, а также ускорить процесс проведения картирования. Все это позволяет оптимизировать процедуры интерактивного картирования гарей в информационных системах дистанционного мониторинга.

Общая схема организации уточнения

Основной задачей рассматриваемой процедуры является проведение уточнения информации, полученной на основе данных наблюдения активного горения, получаемых на основе спутниковых наблюдений достаточно низкого пространственного разрешения в канале 3,7 мкм приборами типа MODIS (спутники AQUA, TERRA) и VIIRS (спутник NPP). Для анализа площадей пожаров, получаемых на основе этих данных, сегодня разработаны специальные процедуры, позволяющие объединять отдельные наблюдения, формировать контуры пожаров и проводить их анализ (Флитман и др., 2011). При этом следует учитывать, что разрешение используемых в данном подходе приборов невысоко (500 м – 1 км), поэтому получаемая на основе нее

оценка площади, пострадавшей от огня, может давать существенные ошибки (Барталев и др., 2014, 2015). Поэтому основной задачей процедуры уточнения площади конкретного пожара с использованием спутниковых данных высокого пространственного разрешения фактически является выделение на них зоны, пройденной огнем, и подсчета ее площади. При этом для того, чтобы получить оценки площадей гари на достаточно больших территориях (например, субъектов РФ или на всей территории России) в течение пожароопасного сезона необходимо провести уточнение достаточно большого числа пожаров.

Для решения данной задачи предлагается использовать процедуру, включающую следующие основные этапы:

- выбор пожара для проведения уточнения;
- выбор данных высокого разрешения для проведения уточнения;
- интерактивное оконтуривание с использованием процедуры классификации;
- интерактивная проверка корректности проведения оконтуривания.

На *рис. 1* представлена общая схема предлагаемой процедуры методики. Данная схема в настоящий момент реализована в Информационной системе дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства ИСДМ-Рослесхоз (<http://www.nffc.aviales.ru>) (Ефремов и др., 2011; Барталев и др., 2010) и спутниковом сервисе ВЕГА-Science (<http://sci-vega.ru/>) (Лупян, Савин и др., 2011).



Рис 1. Схема процедуры уточнения площади, пройденной природными пожарами, на основе использования данных высокого пространственного разрешения

Достаточно детально реализованные схемы уточнения пожаров уже рассматривались в работах (Барталев и др., 2012, 2014). В настоящей работе мы остановимся на рассмотрении особенностей реализации этапа «Интерактивное оконтуривание с использованием неконтролируемой классификации».

Для реализации процедуры используются возможности многофункциональных картографических интерфейсов, применяемые в системах ИСДМ-Рослесхоз и Vega-Science. Это позволяет вести обработку и анализ данных удаленным потребителям с использованием распределенных вычислительных ресурсов и архивов данных. Основные возможности и особенности этих интерфейсов описаны в работах (Толпин и др., 2011; Лупян и др., 2011; Ефремов и др., 2011). В этих интерфейсах реализованы, в частности, различные возможности проведения анализа и обработки спутниковых данных. В том числе, они позволяют пользователям работать и с различными процедурами классификации (Кашницкий и др., 2015). Это позволило реализовать на основе данных интерфейсов обсуждаемую процедуру уточнения площадей, пройденных огнем.

Особенности реализации процедуры оконтуривания площади гари

Первым шагом в этой процедуре является выбор наблюдавшегося на основе детектирования активного горения пожара (Флитман и др., 2011), для которого следует провести уточнение площади (см. *рис. 1*). После выбора пожара оператор, проводящий уточнение, подбирает спутниковые данные высокого разрешения, которые были получены после даты окончания пожара, и на которых отсутствует облачность на территории действия пожара. Для проведения уточнения площади в различных системах могут использоваться различные данные высокого разрешения, однако опыт проведения уточнения гарей в системах ИСДМ-Рослесхоз и ВЕГА-Science показал, что из действующих систем наиболее удобно использовать для таких задач данные приборов OLI-TIRS (LANDSAT-8), ETM+ (LANDSAT-7) (на участках, на которых отсутствуют пропуски изображения). Кроме этой информации для уточнения гарей в обсуждаемых системах могут также использоваться данные приборов КМСС (спутник Метеор М № 2), МСС (спутники Канопус-В, БКА), КШМСА ВР и СР (спутники Ресурс П №1 и 2).

Преимущества использования данных LANDSAT обусловлены, в первую очередь, достаточно высоким качеством этих данных, хорошей географической привязкой и высокой частотой наблюдения, обеспечивающей во многих случаях возможность подбора сцены для проведения уточнения, дата получения которой близка к дате завершения пожара, а также наличием у приборов, установленных на этих спутниках, каналов 640-670 нм и 850-880 нм, в которых наиболее хорошо детектируются участки, пройденные огнем. Естественно, что при использовании различных данных приходится использовать различный набор каналов, определяемых экспериментальным путем.

После того, как произведен выбор данных и каналов для проведения классификации, проводятся следующие операции:

- *Осуществляется «грубое» интерактивное оконтуривание гари.* Задачей этой операции является определение пространственной области, в которой будет производиться классификация. Основным требованием при проведении такого оконтуривания является полное включение гари в грубый контур. При этом следует отметить, что чем ближе к реальному контуру гари будет проведено интерактивное оконтуривание, тем меньше вероятность, что при проведении классификации в полученные классы будут одновременно попадать и не на гарь участки. Таким образом, выделение гари действительно возможно будет провести просто выбором определенного набора классов.
- *Выполняется процедура неконтролируемой классификации* по выбранной области, которая позволяет разделить оконтуренную область на достаточно ограниченное число классов.
- *Осуществляется выбор классов, соответствующих гари.* При этом следует отметить, что в отличие от простого оконтуривания гари, при проведении которого оператор должен фактически принять решение по каждому элементу анализируемого изображения (точке), принадлежит она гари или нет, в этом случае оператор должен принять такое решение для достаточно ограниченного числа классов.
- *Выбранные классы объединяются, и создается контур гари.* При этом контур гари может оказаться достаточно сложным и получение на его основе простого интерактивного оконтуривания может оказаться достаточно трудно решаемой задачей.
- *Информация о полученном контуре сохраняется в БД ИСДМ-Рослесхоз.*

На *рис. 2* проиллюстрированы разные этапы предлагаемой процедуры, связанные с получением контура гари.

Естественно, что для проведения уточнения площадей, пройденных огнем, по данным различных приборов необходимо осуществить подбор оптимальных параметров для классификации, которые бы позволили достаточно легко отделять классы, лежащие внутри и вне гари. Так, например, при работе с данными спутников LANDSAT рекомендовано выбирать следующие параметры для проведения неконтролируемой классификации:

- используются каналы 640–670 нм и 850–880 нм;
- классификация проводится с помощью алгоритма неконтролируемой классификации (https://grass.osgeo.org/gdp/imagery/grass4_image_processing.pdf), реализованного в ИСДМ-Рослесхоз и ВЕГА-Science (Кашницкий и др., 2015) на основе открытой геоинформационной системы GRASS GIS (Neteler et al., 2012);
- при кластеризации маскируются водные объекты с использованием маски воды, созданной по данным Landsat (Колбудаев, Барталев, 2014);
- к результату применяется модальный фильтр по алгоритму «average» с размером окна 7 из модуля GRASS GIS (<https://grass.osgeo.org/grass64/manuals/r.neighbors.html>);
- при проведении классификации рекомендуется выделять 12 классов.

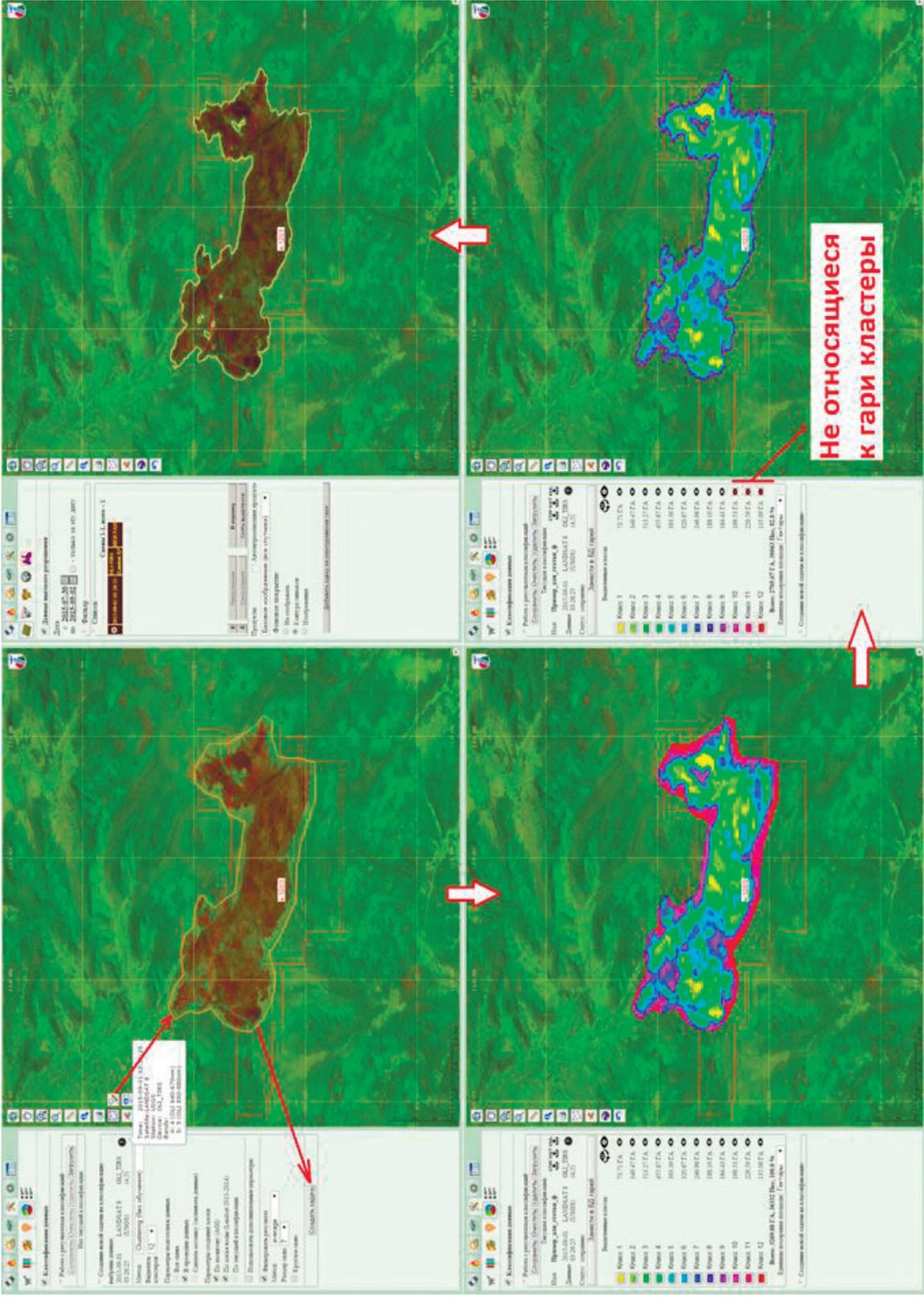


Рис. 2. Основные этапы построения контура гари с использованием возможностей неконтролируемой классификации

Подобные требования к параметрам формулируются и для работы с данными других приборов, использующихся при проведении уточнения площадей, пройденных огнем. Таким образом удастся создать достаточно формализованную процедуру, которая:

- *Позволяет понизить субъективность принятия решений о пройденной огнем площади.* В предлагаемой процедуре действия оператора удастся свести к выделению пройденной огнем площади по конкретному пожару, к грубому заданию области интереса и выбору соответствующих кластеров. Данные действия уже не требуют трудоемкого точного оконтуривания гари с фактическим принятием в каждой точке решения о том, принадлежит она гари или нет.
- *Не требует большой аккуратности и внимания от оператора,* в отличие от ручного «оконтуривания». Разработанная методика вместо достаточно сложного и субъективного обведения гари требует лишь выбора кластеров, что является значительно более объективным и простым действием.
- *Позволяет максимально упростить и ускорить процесс выделения пройденной огнем площади.* Конечно, время, затрачиваемое оператором системы на оконтуривание пройденной огнем площади конкретным пожаром, может различаться в основном из-за необходимости просмотра различного объема данных, имеющихся для конкретного пожара. Но, как показал опыт работы, процедура оконтуривания по предлагаемой методике для отдельного пожара занимает нескольких минут.

Заключение

Таким образом, предложенный подход позволяет сильно упростить процедуры определения площадей, пройденных огнем, и открывает возможности проведения таких работ на больших территориях ограниченным числом операторов. Следует также отметить, что поскольку предложенный подход основан на использовании web-инструментов для проведения уточнения, в этих работах могут быть задействованы удаленно работающие специалисты.

Предлагаемый подход, на наш взгляд, хотя и не исключает полностью необходимость участия операторов в процессе проведения уточнения площадей, пройденных огнем, позволяет в тоже время понизить уровень субъективизма в принятии решений за счет достаточно сильной формализации задачи и сильного сужения поля для выбора решений.

Следует также отметить, что подобный подход может использоваться не только для решения задач уточнения площадей гари, но и для решения задач, в которых следует оценить границы и площади объектов, для которых не существует в настоящее время полностью автоматизированных методов выделения и картирования.

Работа выполнялась при поддержке Российской академии наук (тема «Мониторинг», госрегистрация № 01.20.0.2.00164). Разработка рекомендаций по выбору оптимальных параметров классификации при картографировании площадей, пройденных природными пожарами, выполнена при поддержке Российского фонда науки (проект №14-17-00389).

Обработка спутниковых данных и интеграция полученных информационных продуктов в систему ВЕГА выполнена при поддержке РФФИ (грант №13-05-41420 РГО_а «Разработка научных основ спутниковой пирогеографии и исследование пространственно-временных особенностей пожаров в наземных экосистемах России»).

Литература

1. *Барталев С.А., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Стыценко Ф.В., Флитман Е.В.* Оценка площади пожаров на основе комплексирования спутниковых данных различного пространственного разрешения MODIS и Landsat-TM/ETM+ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 2. С. 9–27.
2. *Барталев С.А., Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Котельников Р.В., Лупян Е.А., Щетинский В.Е.* Основные возможности и структура информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ Рослесхоз) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7. № 2. С. 97–105.
3. *Барталев С.А., Златопольский А.А., Галеев А.А., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Прошин А.А., Флитман Е.В., Щербенко Е.В.* Автоматизированное уточнение площадей, пройденных лесными пожарами, по данным приборов HRV, HRVI // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2009. Выпуск 6. Т. 2. С. 335–342.
4. *Барталев С.А., Лупян Е.А., Стыценко Ф.В., Панова О.Ю., Ефремов В.Ю.* Экспресс-картографирование поврежденных лесов России пожарами по спутниковым данным Landsat // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 1. С. 9–20.
5. *Барталев С.А., Стыценко Ф.В., Егоров В.А., Лупян Е.А.* Спутниковая оценка гибели лесов России от пожаров // Лесоведение. 2015. № 2. С. 83–94.
6. *Ефремов В.Ю., Балашов И.В., Котельников Р.В., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Прошин А.А., Толпин В.А., Уваров И.А., Флитман Е.В.* Объединенный картографический интерфейс для работы с данными ИСДМ Рослесхоз // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 3. С. 129–139.
7. *Ефремов В.Ю., Златопольский А.А., Мазуров А.А.* Автоматизированное оконтуривание лесной гари по данным SPOT // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7. № 2. С. 35–42.
8. *Кашицкий А.В., Балашов И.В., Лупян Е.А., Толпин В.А., Уваров И.А.* Создание инструментов для удаленной обработки спутниковых данных в современных информационных системах // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 1. С. 156–170.
9. *Колбудаев П.А., Барталев С.А.* Метод автоматического выделения устойчивых водных объектов на основе временных рядов данных спутников серии Landsat // Двенадцатая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва. ИКИ РАН, 10–14 ноября 2014. Тезисы докладов. 2014. 49 с.
10. *Лупян Е.А., Мазуров А.А., Флитман Е.В., Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Новик В.П., Абушенко Н.А., Алтынцева Д.А., Кошелев В.В., Тацилин С.А., Татаринов А.В., Сухинин А.И., Пономарев Е.И., Гришин А.М., Афонин С.В., Белов В.В., Гриднев Ю.В., Матвиенко Г.Г., Соловьев В.С., Антонов В.Н., Ткаченко В.А.* Спутниковый мониторинг лесных пожаров в России. Итоги. Проблемы. Перспективы. Аналитический обзор // ИОА; ГПНТБ СО РАН. - Новосибирск. (Сер. Экология). 2003. Выпуск 68. 134 с.
11. *Лупян Е.А., Савин И.Ю., Барталев С.А., Толпин В.А., Балашов И.В., Плотников Д.Е.* Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности («ВЕГА») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 1. С. 190–198.
12. *Толпин В.А., Балашов И.В., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Прошин А.А., Уваров И.А., Флитман Е.В.* Создание интерфейсов для работы с данными современных систем дистанционного мониторинга (система GEOSMIS) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 3. С. 93–108.
13. *Флитман Е. В., Балашов И.В., Бурцев М.А., Галеев А.А., Егоров В.А., Котельников Р.В., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Прошин А.А.* Построение системы работы с данными прибора MODIS для решения задач мониторинга лесных пожаров и их последствий // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 1. С. 127–138.
14. *Abushenko N.A., Bartalev S.A., Belyaev A.I., Ershov D.V., Zakharov M.Y., Loupian E.A., Korovin G.N., Koshelev V.V., Krashenninnikova Yu. S., Mazurov A.A., Min'ko N.P., Nazipov R.R., Semenov S.M., Tashchilin S.A., Flitman E.V., Shchetinsky V.Y.* Near Real-time Satellite Monitoring of Russia for Forest Fire Protection // Mapping Science and Remote Sensing. 1999. Vol. 36. No. 1. P. 54–61.
15. *Loupian E.A., Mazurov A.A., Flitman E.V., Ershov D.V., Korovin G.N., Novik V.P., Abushenko N.A., Altyntseva D.A., Koshelev V.V., Tashchilin S.A., Tatarnikov A.V., Csiszar I., Sukhinin A.I., Ponomarev E.I., Afonin S.V., Belov V.V., Matvienko G.G., Loboda T.V.* Satellite Monitoring of Forest Fires in Russia at Federal and Regional Levels // Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 2006. 11. P. 113–145.
16. *Neteler M., Bowman M.H., Landa M., Metz M., GRASS GIS: A multi-purpose open source GIS // Environmental Modelling & Software. 2012. Vol. 31. P. 124–130.*

Optimization of burn mapping interactive procedures in remote fire monitoring information systems

A.V. Kashnitsky, E.A. Loupian, S.A. Bartalev, S.S. Bartalev,
I.V. Balashov, V.Yu. Efremov, F.V. Stytsenko

Space Research Institute RAS, Moscow, 117997, Russia

E-mail: smis@smis.iki.rssi.ru

One of the most important parts of different remote fire monitoring information systems is burnt area mapping. At present, different reliable and fully automatic methods for burnt area mapping exist using moderate resolution satellite data. In recent years, also high resolution satellite data have come into use for large-scale burnt area mapping. Since no reliable and fully automatic approaches exist for large-scale burnt area mapping using high resolution satellite data, different interactive approaches are used in remote fire monitoring systems. For a large-scale system, there is a need to develop maximally automated and formalized mapping procedures. In this work we propose a new technique of burnt area mapping using unsupervised classification approach. The main idea is to substitute manual mapping with unsupervised classification result analysis, namely selection of burnt-related classes. Virtually, this procedure substitutes setting a threshold on a continuous function with choosing a decision between a limited number of options. This ensures task formalization, making the result less dependent on operator qualification and speeding up interactive burnt area mapping. We thus achieve optimization of interactive burnt area mapping procedures in remote fire monitoring information systems.

Keywords: remote fire monitoring, remote sensing, information systems, distributed data processing, satellite data processing, web-interface, extremely large data archive, satellite data

References

1. Bartalev S.A., Egorov V.A., Efremov V.Yu., Loupian E.A., Stytsenko F.V., Flitman E.V., Otsenka ploshchadi pozharov na osnove kompleksirovaniya sputnikovyykh dannykh razlichnogo prostranstvennogo razresheniya MODIS i Landsat-TM/ETM+ (Integrated Burnt Area Assessment Based on Combine Use of Multi-resolution MODIS and Landsat-TM/ETM+ Satellite Data), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 2, pp. 9–27.
2. Bartalev S.A., Ershov D.V., Korovin G.N., Kotel'nikov R.V., Loupian E.A., Shchetinskii V.E., Osnovnyye vozmozhnosti i struktura informatsionnoi sistemy distantsionnogo monitoringa lesnykh pozharov Federal'nogo agentstva lesnogo khozyaistva (ISDM Rosleskhoz) (The Main Functionalities and Structure of the Forest Fire Satellite Monitoring Information System of Russian Federal Forestry Agency (ISDM-Rosleshoz)), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2010, Vol. 7, No. 2, pp. 97–105.
3. Bartalev S.A., Zlatopol'skii A.A., Galeev A.A., Efremov V.Yu., Loupian E.A., Mazurov A.A., Proshin A.A., Flitman E.V., Shcherbenko E.V., Avtomatizirovannoe utochenie ploshchadei, pridennykh lesnymi pozharami, po dannym priborov HRV, HRVI (More Precise Automatic Burnt out Forest Places Space Detection Using HVR, HRVIR Data), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2009, Issue 6, Vol. 2, pp. 335–342.
4. Bartalev S.A., Loupian E.A., Stytsenko F.V., Panova O.Yu., Efremov V.Yu., Ekspress-kartografirovaniye povrezhdenii lesov Rossii pozharami po sputnikovym dannym Landsat (Rapid Mapping of Forest Burnt Areas over Russia Using Landsat Data), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2014, Vol. 11, No. 1, pp. 9–20.
5. Bartalev S.A., Stytsenko F.V., Egorov V.A., Loupian E.A., Sputnikovaya otsenka gibeli lesov Rossii ot pozharov (Russia's forest fire damage estimation), *Lesovedenie*, 2015, No. 2, pp. 83–94.
6. Efremov V.Yu., Balashov I.V., Kotel'nikov R.V., Loupian E.A., Mazurov A.A., Proshin A.A., Tolpin V.A., Uvarov I.A., Flitman E.V., Ob"edinennyi kartograficheskii interfeis dlya raboty s dannymi ISDM Rosleskhoz (Integrated Mapping Interface for Operations with ISDM-Rosleskhoz Data), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No 3, pp. 129–139.
7. Efremov V.Yu., Zlatopol'skii A.A., Mazurov A.A., Avtomatizirovannoe okonturivaniye lesnoi gari po dannym SPOT (More Precise Automatic Burnt out Forest Places Space Detection Using HVR, HRVIR Data), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2010, Vol.7, No. 2, pp. 35–42.
8. Kashnitskii A.V., I.V. Balashov, E.A. Loupian., V.A. Tolpin, I.A. Uvarov, E.A., Sozdanie instrumentov dlya udalЕННОЙ obrabotki sputnikovyykh dannykh v sovremennykh informatsionnykh sistemakh (Development of software tools for satellite data remote processing in contemporary information systems), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 1, pp. 156–170.
9. Kolbudaev P.A., Bartalev S.A. Metod avtomaticheskogo vydeleniya ustoychivyykh vodnykh ob"ektov na osnove vremennykh ryadov dannykh sputnikov serii Landsat (Automated permanent water mapping method using Landsat data time series), *Dvenadtsataya vserossiiskaya otkrytaya konferentsiya "Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa"*, (The 12th all-Russia Open Conference "Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space"), Moscow, 10–14 November 2014, Book of abstracts, pp. 49.
10. Loupian E.A., Mazurov A.A., Flitman E.V., Ershov D.V., Korovin G.N., Novik V.P., Abushenko N.A., Altyntsev D.A., Koshelev V.V., Tashchilin S.A., Tatarnikov A.V., Sukhinin A.I., Ponomarev E.I., Grishin A.M., Afonin S.V., Belov V.V., Gridnev Yu.V., Matvienko G.G., Solov'ev V.S., Antonov V.N., Tkachenko V.A., *Sputnikovyyi*

- monitoring lesnykh pozharov v Rossii. Itogi. Problemy. Perspektivy. Analiticheskii obzor* (Forest fires satellite monitoring in Russia. Results. Problems. Perspectives. Analytical overview), Institute of Atmospheric Optics, State Public Scientific Technological Library, Novosibirsk, (Ecological series), 2003, Issue 68, 134 p.
11. Loupian E.A., Savin I.Yu., Bartalev S.A., Tolpin V.A., Balashov I.V., Plotnikov D.E., Sputnikovyi servis monitoringa sostoyaniya rastitel'nosti («VEGA») (Satellite Service for Vegetation Monitoring VEGA), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 1, pp. 190–198.
 12. Tolpin V.A., Balashov I.V., Efremov V.Yu., Loupian E.A., Proshin A.A., Uvarov I.A., Flitman E.V., Sozdanie interfeisov dlya raboty s dannymi sovremennykh sistem distantsionnogo monitoringa (sistema GEOSMIS) (The GEOSMIS System: Developing Interfaces to Operate Data in Modern Remote Monitoring Systems), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 3, pp. 93–108.
 13. Flitman E.V., Balashov I.V., Burtsev M.A., Galeev A.A., Egorov V.A., Kotel'nikov R.V., Loupian E.A., Mazurov A.A., Matveev A.M., Proshin A.A., Postroenie sistemy raboty s dannymi pribora MODIS dlya resheniya zadach monitoringa lesnykh pozharov i ikh posledstviy (Organization of the MODIS Instrument Data Processing System for the Tasks of Monitoring Forest Fires and Their Aftereffects), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 1, pp. 127–138.
 14. Abushenko N.A., Bartalev S.A., Belyaev A.I., Ershov D.V., Zakharov M.Y., Loupian E.A., Korovin G.N., Koshelev V.V., Krashenninnikova Yu. S., Mazurov A.A., Min'ko N.P., Nazipov R.R., Semenov S.M., Tashchilin S.A., Flitman E.V., Shchetinsky V.Y., Near Real-time Satellite Monitoring of Russia for Forest Fire Protection, *Mapping Science and Remote Sensing*, 1999, Vol. 36, No. 1, pp. 54–61.
 15. Loupian E.A., Mazurov A.A., Flitman E.V., Ershov D.V., Korovin G.N., Novik V.P., Abushenko N.A., Altyntsev D.A., Koshelev V.V., Tashchilin S.A., Tatarnikov A.V., Csiszar I., Sukhinin A.I., Ponomarev E.I., Afonin S.V., Belov V.V., Matvienko G.G., Loboda T.V., Satellite Monitoring of Forest Fires in Russia at Federal and Regional Levels, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2006, Vol.11, pp. 113–145.
 16. Neteler M., Bowman M.H., Landa M., Metz M., GRASS GIS: A multi-purpose open source GIS, *Environmental Modelling & Software*, 2012, Vol. 31, pp. 124–130.