Информационная система комплексного дистанционного мониторинга лесов «Вега-Приморье»

Е.А. Лупян[1], С.А. Барталев[1], И.В. Балашов[1], С.С. Барталев[1], М.А. Бурцев[1], В.А. Егоров[1], В.Ю. Ефремов[1], В.О. Жарко[1], А.В. Кашницкий[1], П.А. Колбудаев[1], Л.С. Крамарева[2], А.А. Мазуров[1], А.Ю. Оксюкевич[3], Д.Е. Плотников[1], А.А. Прошин[1], К.С. Сенько[1] , И.А. Уваров[1], С.А. Хвостиков[1], Т.С. Ховратович[1]

[1]Институт космических исследований РАН, 117997 Москва, Россия
E-mail: smis@smis.iki.rssi.ru
[2]Дальневосточный центр ФГБУ «НИЦ «Планета»
[3]ООО «ИКИЗ»

Работа посвящена описанию информационной системы дистанционного мониторинга лесов «ВЕГА-Приморье» (ИС «ВЕГА-Приморье»), разработанной ООО «ИКИЗ» и Институтом космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН) при поддержке Дальневосточного центра ФГБУ «НИЦ «Планета» и АНО «Общество дикой природы» для решения задач комплексного дистанционного мониторинга лесов Приморского края. Система разработана в рамках пилотного проекта, выполняемого в соответствии с соглашением о сотрудничестве между АНО «Общество дикой природы», ООО «ИКИЗ», ИКИ РАН и администрацией Приморского края. Данное соглашение ориентировано на развитие возможностей применения современных спутниковых технологий дистанционного зондирования Земли из космоса для решения следующих задач: мониторинг лесных пожаров и их последствий; мониторинг процессов усыхания (деградации) лесов; мониторинг лесопользования (прежде всего, рубок); мониторинг лесных ресурсов; мониторинг охотничьих ресурсов. В работе представлены основные возможности и архитектура построения системы, а также технологические решения, использованные при ее создании. Особое внимание уделено рассмотрению возможностей, которые впервые были реализованы именно в ИС «Вега-Приморье». В статье также рассмотрены примеры подходов к решению различных задач мониторинга и управления лесными ресурсами, которые позволяет реализовать развиваемая система.

Ключевые слова: спутники наблюдения Земли, информационные технологии, дистанционный мониторинг, лесные ресурсы, мониторинг лесных пожаров, информационные сервисы

Одобрена к печати: 14.10.2016
DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-5-11-28

Введение

Информационная система (ИС) комплексного дистанционного мониторинга лесов «ВЕГА-Приморье» разработана ООО «ИКИЗ» и Институтом космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН) при поддержке Дальневосточного центра ФГБУ «НИЦ «Планета»» и АНО «Общество дикой природы» для решения задач комплексного космического мониторинга лесов Приморского края в рамках пилотного проекта, выполняющегося в соответствии с соглашением о сотрудничестве между АНО «Общество дикой природы», ООО «ИКИЗ», ИКИ РАН и администрацией Приморского края и подписанного 22 декабря 2015 года. Соглашение направлено на внедрение современных технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса для комплексного мониторинга лесов с целью обеспечения максимально полного использования их ресурсно-экологического потенциала, повышения эффективности их охраны, защиты и использования, сохранения уникального биологического разнообразия лесной флоры и фауны.

ИС «ВЕГА-Приморье» ориентирована на обеспечение возможности применения современных спутниковых технологий ДЗЗ для решения, в первую очередь, следующих задач:

– мониторинг лесных пожаров и их последствий;
– мониторинг процессов усыхания (деградации) и гибели лесов;
– мониторинг лесопользования (прежде всего рубок);
– мониторинг лесных ресурсов;
– мониторинг охотничьих ресурсов.

Основными задачами, которые решались при создании ИС «Вега-Приморье», являлись:

– создание архивов спутниковой информации, получаемой по территории Приморского края из различных источников (преимущественно свободно распространяющих информацию), и организация системы их оперативного (ежедневного) пополнения;

– организация системы автоматической обработки поступающих спутниковых данных для получения различной информации, необходимой для ведения мониторинга лесных ресурсов;

– интеграция имеющихся и создание новых тематических карт лесов по территории Приморского края и технологии их обновления;

– создание инструментов для удобного анализа различной информации, предоставляемой системой распределенным пользователям (в том числе инструментов по интерактивному анализу спутниковой информации для выявления различных процессов, происходящих в лесах);

– обеспечение возможности анализа данных ДЗЗ и результатов их обработки, совместно с различной информацией, использующейся в регионе для решения задач управления лесами.

Основной целью системы является создание технической и информационной основы для разработки и внедрения новых методов решения различных задач комплексного мониторинга и управления лесными ресурсами Приморского края. Для достижения данной цели в систему интегрировались как уже имеющиеся и использующиеся в различных ИС возможности анализа спутниковой информации для решения задач мониторинга лесов, так и новые, появившиеся лишь в последнее время. Некоторые из них впервые реализованы в ИС «Вега-Приморье».

Настоящая работа посвящена описанию основных возможностей и архитектуры построения системы и технологических решений, использованных для ее реализации. В статье описываются данные, используемые в ИС «Вега-Приморье». Особое внимание в работе уделено рассмотрению возможностей, которые были впервые реализованы именно в ИС Вега-Приморье. В статье рассмотрены примеры подходов к решению различных задач мониторинга и управления лесными ресурсами, которые позволяет реализовать развиваемая система.

Архитектура построения, основные особенности и используемые данные

Основой для разработки ИС «Вега-Приморье» стали методы и технологии дистанционного мониторинга лесных ресурсов, разработанные в последние годы в ИКИ РАН и ООО «ИКИЗ» (Лупян, Балашов и др., 2015; Толпин и др., 2011; Егоров и др., 2004, Кашницкий, Балашов и др., 2015; Прошин и др., 2016; Сычугов и др., 2015) и созданные этими организациями технологии, методы и сервисы, ориентированные на проведение работ по мониторингу лесов (Лупян и др., 2011, 2014). При построении ИС «Вега-Приморье» использован опыт и возможности Информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз) (Лупян, Барталев и др., 2015; Барталев и др., 2010). Следует отметить, что значительная часть информации, необходимой для организации мониторинга лесных пожаров, поступает в ИС «Вега-Приморье» именно из ИСДМ-Рослесхоз. Для формирования как исторических, так и оперативных архивов информации в ИС «Вега-Приморье» использованы возможности центра коллективного пользования (ЦКП) «ИКИ-Мониторинг» (Лупян, Прошин и др., 2015).

Архитектура построения ИС «Вега-Приморье» представлена на *рис. 1*. Основные особенности данной архитектуры определяются тем, что перед системой стоит задача интеграции разнородных информационных ресурсов, предоставляемых различными источниками (системами и центрами предоставления данных). В ИС реализована как «физическая» интеграция поступающей информации (т.е. помещение ее в архивы системы), так и интеграция информации на уровне интерфейсов доступа и анализа данных. Каждый из этих вариантов имеет свои преимущества и недостатки и используется в системе для решения различных типов задач. Выбор между способами интеграции информации во многом определяется тем, проводится ли в системе специализированная обработка конкретного типа информации или эта информация непосредственно используется пользователями ИС. Основные типы информации и источники, предоставляющие их систему, приведены в *табл. 1*.

Таблица 1. Основные источники информации, использующиеся ИС «Вега-Приморье», и основные виды данных, получаемых системой

Номер	***Источник данных***	***Основные виды данных получаемых ИС «Вега-Приморье»***
1	Центр коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» (http://smiswww.iki.rssi.ru/default.aspx?page=357)	Многолетние архивы спутниковых данных по территории Приморского края. Информационные продукты, получаемые на основе обработки спутниковых данных, использующихся для решения задач мониторинга лесных ресурсов (БД пожаров, гарей, повреждений, безоблачные композиты, различные карты лесов и т.д.)
2	USGS (https://www.usgs.gov/)	Данные спутников LANDSAT и EO-1 (Hyperion)
3	LANCE (https://lance.modaps.eosdis.nasa.gov/)	Данные спутников TERRA и AQUA
4	NCAR (https://ncar.ucar.edu/)	Метеоданные (реанализ)
5	ESA (https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/home)	Данные спутников Sentinel-1, Sentinel-2

6	UMD (http://www.umd.edu/)	Тепловые аномалии («горячие точки»), детектируемые по данным MODIS
7	NOAA NCEI (http://www.umd.edu/)	«Ночные огни» по данным VIIRS
8	НЦ ОМЗ (http://www.ntsomz.ru/)	Данные отечественных КА («Канопус-В», «Ресурс-П»)
9	Дальневосточный центр ДЦ ФГБУ «НИЦ «Планета» (http://www.dvrcpod.ru/)	Оперативно получаемые спутниковые данные (спутники NOAA, TERRA, AQUA, Suomi NPP, «Метеор-М», «Канопус-В», «Ресурс-П», Himawari-8). Информация о «горячих точках», детектированных на основе данных различных спутниковых систем
10	МЧС (http://fareast.mchs.ru/)	Оперативная информация о «горячих точках», детектированных в интерактивном режиме по данным MODIS
11	Региональные ИС, использующиеся Департаментом лесов Приморского края	Различная информация, использующаяся для мониторинга и учета лесных ресурсов (включая картографическую)
12	Геопортал Роскосмоса (http://gptl.ru/)	Данные отечественных КА («Канопус-В», «Ресурс-П», «Метеор-М»)
13	ИСДМ-Рослесхоз (https://nffc.aviales.ru/)	Оперативная и архивная информация о лесных пожарах и их последствиях, данные грозопеленгации и метеоинформация
14	Росреестр (http://nsdi.ru/geoportal/catalog/main/home.page)	Публичная картографическая информация

В ИС «Вега-Приморье» сформированы достаточно большие архивы спутниковой информации, которые могут использоваться как для оценки оперативной ситуации, так и для ретроспективного анализа данных, например, для анализа различных долговременных процессов, развивающихся в лесах края, или для анализа конкретных событий (развитие лесного пожара, анализ работ по проведению конкретной рубки и т.д.). Архивы информации, доступные пользователям системы, постоянно (ежедневно) пополняются. В *табл. 2* приведен состав архивов данных, доступных пользователям ИС, по состоянию на 22 октября 2016 года.

Таблица 2. Состав спутниковой информации, доступной пользователям ИС «Вега-Приморье», по состоянию на 22 октября 2016 года

№	***Прибор***	***Спутник***	***Диапазон дат***		***Кол-во сеансов (сцен)***	***Объем данных Гб***
			Начальная	***Конечная***		
1	AHI	HIMAWARI-8	2015-08-25	2016-10-22	29955	3761
2	AVHRR	NOAA 15	2014-03-21	2016-10-21	1045	43
		NOAA 16	2014-03-20	2014-06-06	572	36
		NOAA 18	2013-02-07	2016-10-22	7525	537
		NOAA 19	2014-03-20	2016-10-22	7679	522
3	C_SAR_IW	SENTINEL-1	2014-10-22	2016-10-11	225	283
4	ETM+	LANDSAT 7	1999-07-04	2016-10-20	6277	1632
5	HYPERION	EO-1	2001-07-14	2011-03-17	45	13
6	КМСС-101	Метеор-М1	2011-10-18	2014-09-23	1171	43
		Метеор-М2	2014-10-23	2016-10-21	965	190
7	КМСС-102	Метеор-М1	2011-10-17	2014-09-22	1339	51
		Метеор-М2	2014-10-23	2016-10-19	855	169

8	MODIS	AQUA	2012-03-25	2016-10-22	11635	3121
		TERRA	2012-03-29	2016-10-22	11940	3304
9	MSI	SENTINEL-2A	2015-11-30	2016-10-16	55	705
10	МСС	Канопус-В	2012-01-05	2016-10-13	947	22
11	МСУ-МР	Метеор-М1	2014-03-07	2014-12-12	1091	59
		Метеор-М2	2014-03-18	2016-10-22	13764	939
12	OLI-TIRS	LANDSAT 8	2013-04-11	2016-10-21	1685	1416
13	ORBVIEW-3	ORBVIEW-3	2003-12-05	2007-03-04	99	22
14	ПСС	Канопус-В	2012-01-05	2016-10-13	988	120
15	ТМ	LANDSAT 4	1988-12-26	1992-10-22	73	12
		LANDSAT 5	1984-04-18	2011-11-04	9837	1619
16	TM_ETM_OLI	LANDSAT	2004-09-30	2015-09-30	20	98
17	VIIRS	Suomi NPP	2013-03-06	2016-10-22	8861	2941
ИТОГО:	-	-	1984-04-18	2016-10-22	118648	21658

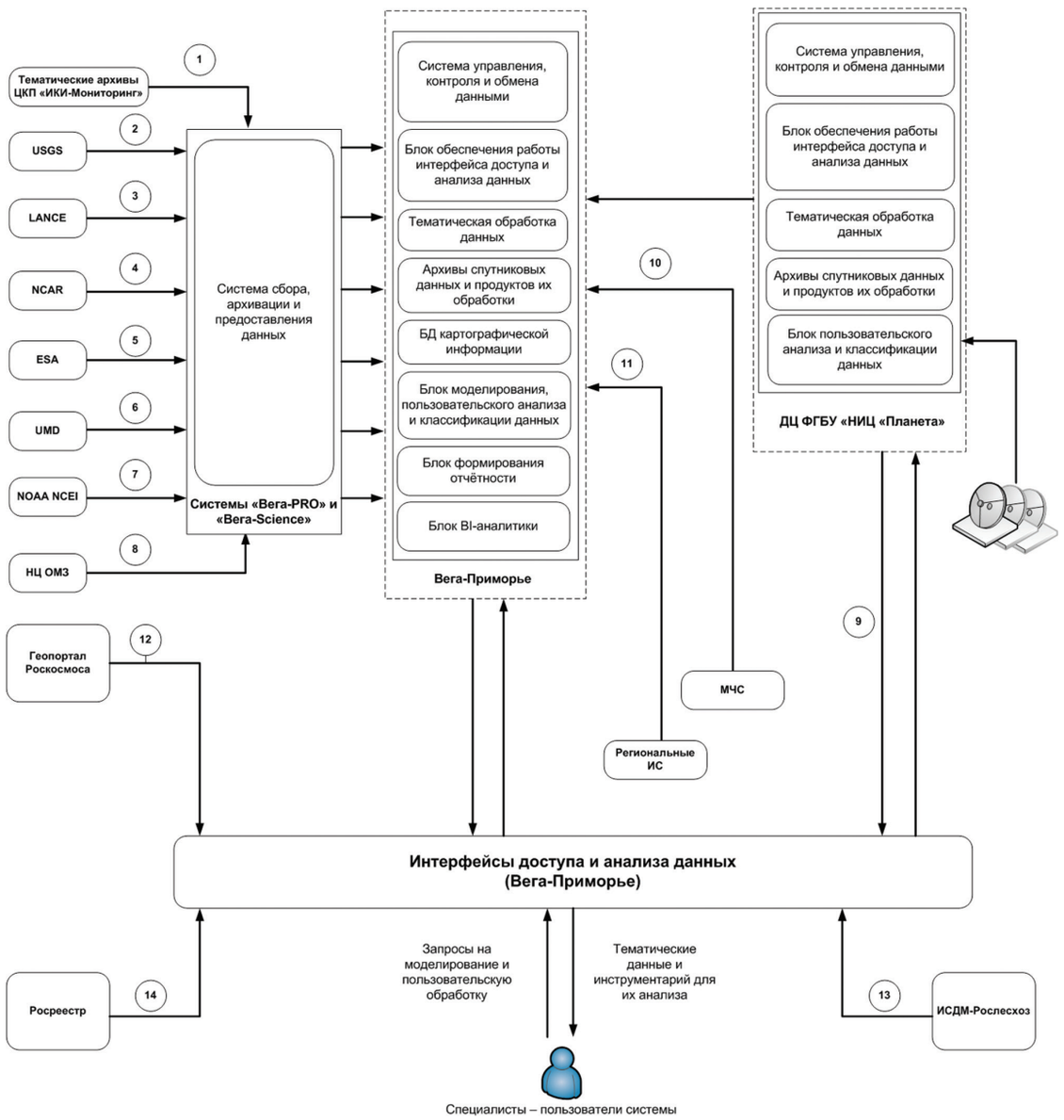


Рис. 1. Архитектура построения ИС «Вега-Приморье». Описание потоков данных, получаемых системой от разных источников информации, приведено в табл. 1 (цифры, являющиеся номерами источников в таблице, указаны у соответствующих стрелок)

Для работы с имеющейся в ИС «Вега-Приморье» информацией реализованы различные интерфейсы, обеспечивающие возможность распределенного получения и анализа спутниковых данных и результатов их обработки. Возможности различных интерфейсов, используемых в системе, достаточно подробно описаны в работах (Лупян и др., 2011; Толпин и др., 2011; Флитман и др., 2011; Лупян, Барталев и др., 2014; Кашницкий, Балашов и др., 2015; Кобец и др., 2015).

Новые возможности решения различных задач мониторинга лесных ресурсов, реализованные в ИС «Вега-Приморье»

В ИС «Вега-Приморье» интегрирован различный функционал, обеспечивающий работу со спутниковыми данными для мониторинга лесов и происходящих в них процессов, уже реализованный в различных информационных системах, в том числе в ИСДМ-Рослесхоз (Лупян, Барталев и др., 2015; Барталев и др., 2010, 2008), Вега-Science и Вега-Pro (Лупян и др., 2011, 2014; Уваров и др., 2012) и РЖД-Sat (Василейский и др., 2015). Это позволило объединить в системе хорошо зарекомендовавшие себя возможности использования спутниковых технологий для решения задач мониторинга лесных ресурсов (в первую очередь лесных пожаров и их последствий). В то же время, как отмечается в работе (Исаев и др., 2014), спутниковые технологии сегодня предоставляют гораздо более широкие возможности для проведения мониторинга лесов, чем те, которые уже традиционно используются в действующих информационных системах. Следует учитывать, что эти возможности постоянно расширяются. Их быстрое расширение обусловлено как появлением новых средств и систем спутниковых наблюдений, так и разработкой новых технологий обработки и анализа спутниковой информации. Это позволило реализовать в ИС «Вега-Приморье» новые функции, которые ранее не использовались в системах, ведущих дистанционный мониторинг процессов, происходящих в лесах России. Ниже мы остановимся на рассмотрении части таких функций, реализованных сегодня в системе.

Возможности раннего обнаружения лесных пожаров

Одной из традиционных задач дистанционного мониторинга лесов является задача мониторинга лесных пожаров. В России создана и действует одна из самых крупных в мире систем дистанционного мониторинга лесных пожаров – ИСДМ-Рослесхоз. Следует отметить, что до последнего времени перед системами спутникового дистанционного мониторинга фактически не ставились задачи раннего обнаружения пожаров. Связано это было в первую очередь с тем, что функционировало достаточно небольшое число низкоорбитальных спутниковых систем, качественно детектирующих природные пожары, которые не могли обеспечить высокую частоту наблюдения территорий для решения задачи раннего обнаружения пожаров. С запуском в последние годы новых спутниковых систем удалось

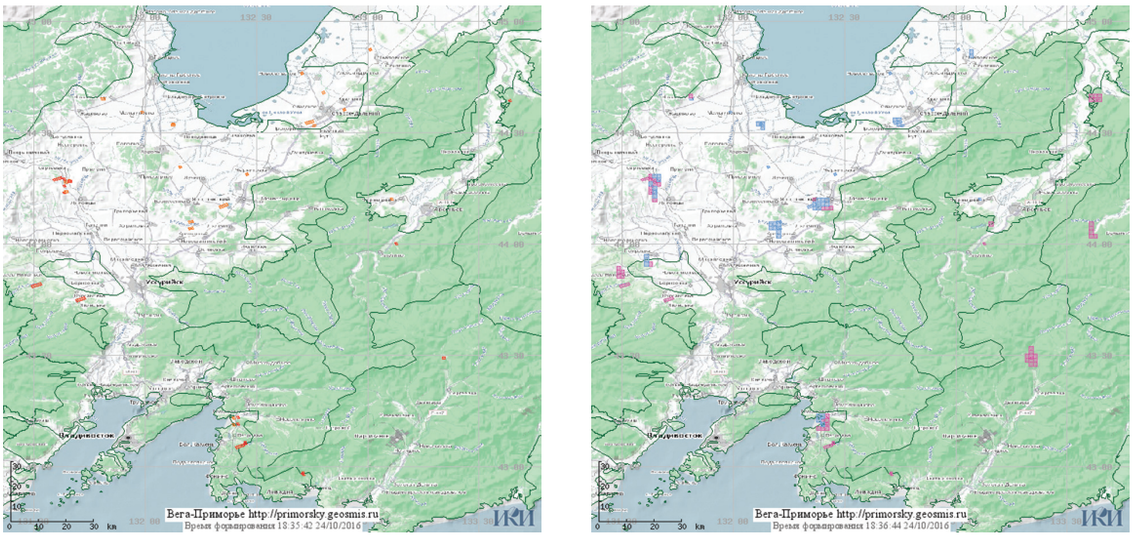
повысить частоту наблюдения территорий и довести ее при использовании различных низкоорбитальных систем до нескольких десятков раз в сутки (Лупян, Барталев и др., 2015). В «Вега-Приморье» была реализована система регистрации и учета пожаров, использующая информацию, поступающую от следующих космических аппаратов: Terra, Aqua, NPP, Метеор-М № 2, Landsat 7 и 8, Sentinel-2A.

Кроме этого, географическое расположение Приморского края позволяет использовать для детектирования пожаров информацию, поступающую с геостационарного спутника Himawari-8 (Bessho et al., 2016; Murata et al., 2015), введенного в эксплуатацию в 2015 году. Это аппарат нового поколения, на котором повышены частота наблюдения лимба (каждые 10 мин) и пространственное разрешение наблюдений (до 0,5 км и 2 км в подспутниковой точке для видимых и ИК-каналов соответственно). Поскольку прибор AHI, установленный на спутнике Himawari-8, имеет достаточно хорошую чувствительность в ИК-каналах, его данные можно использовать для детектирования лесных пожаров. Для этого был разработан как специальный алгоритм детектирования, так и схема получения и использования данных Himawari-8 в ИС «Вега-Приморье» (Бурцев и др., 2016; Гуцалов и др., 2016).

Использование данных, поступающих от различных спутниковых систем, позволило увеличить число регистрируемых пожаров ИС «Вега-Приморье» по сравнению с аналогичными действующими системами и сократить время первой регистрации пожара. На *рис. 2* приведено сравнение горячих точек, зарегистрированных ИСДМ-Рослесхоз 20 октября 2016 года по данным прибора Modis (*рис. 2а*), использовавшегося системой до 2016 года для оперативного учета лесных пожаров. На *рис. 2б* представлены горячие точки, зарегистрированные за ту же дату в ИС «Вега-Приморье» с использованием информации, поступающей от различных спутниковых систем. При сравнении следует учитывать, что в этот период года в Приморье в основном действуют быстро развивающиеся пожары на нелесных территориях, поэтому при их наблюдении особенно важно иметь достаточно высокую частоту наблюдения территорий.

Построение карт лесов с использованием данных различного пространственного разрешения

До последнего времени для оперативного (ежегодного) обновления информации о состоянии лесов на всей территории страны (построения карт лесов, преобладающих пород, запаса и др.) в действующих специализированных и научных системах мониторинга как базовые использовались данные, получаемые прибором MODIS (пространственное разрешение 250 м). Это было обусловлено в первую очередь тем, что только данный прибор обеспечивал достаточную частоту наблюдения для построения сезонных безоблачных композитов, необходимых для создания подобных карт. Построение таких карт на всю территорию страны осуществляется на основе методов и технологий, разработанных в ИКИ РАН (Барталев и др., 2011; Bartalev et al., 2014; Huttich et al., 2014; Барталев, Егоров и др.,



а) б)

Рис. 2. а) горячие точки, зарегистрированные ИСДМ-Рослесхоз 20 октября 2016 года по данным прибора Modis (красные – захватывающие лесную территорию, оранжевые – нет); б) горячие точки, зарегистрированные в ИС «Вега-Приморье» 20 октября 2016 года по данным различных спутниковых систем (фиолетовые – захватывающие лесную территорию, синие – нет)

2015; Bartalev et al., 2016). В то же время с запуском спутников Proba-V, Landsat 8 и Sentinel-2A появилась возможность начать создание технологий ежегодного картирования лесного покрова на основе данных более высокого пространственного разрешения. Одна из таких технологий, ориентированная на работу с данными спутника Proba-V, в настоящее время реализована в ИКИ РАН (Барталев и др., 2016). Это позволило создать и интегрировать в ИС «Вега-Приморье» карты лесов на весь Приморский край, построенные на основе информации с разрешением 100 м. Также в систему интегрирована схема построения локальных карт лесов на основе спутниковых данных с разрешением 10–20 м (Sentinel-2A) и 15–30 м (Landsat 8), которая использует для обучения карты, полученные на основе более низкого пространственного разрешения (250 м и 100 м). Таким образом, в ИС «Вега-Приморье» интегрированы возможности работы с ежегодно обновляющейся информацией, получаемой на основе спутниковых данных различного пространственного разрешения. Такие возможности в дальнейшем могут существенно улучшить качество получения информации для решения различных задач, связанных с мониторингом лесов (оценка состояния лесных ресурсов, оценка объемов вырубленной древесины, повышение качества работы моделей распространения пожаров и прогнозирование возможных ущербов и т.д.). На *рис. 3* приведены карты растительного покрова одного из участков Приморского края, построенные на основе данных Terra (прибор Modis), Proba-V (прибор V) и Sentinel-2A (прибор MSI), которыми может в настоящее время оперировать ИС «Вега-Приморье». На *рис. 3* видно, что основные тенденции распределения растительного покрова сохраняются на картах, построенных по различным уровням разрешения, поэтому для анализа общих тенденций на всей территории края может использоваться информация, полученная и на основе среднего пространственного разрешения. Для анализа ситуаций на отдельных лесных участках информация может быть уточнена с использованием информации

высокого пространственного разрешения. Инструменты проведения такого уточнения уже реализованы в ИС «Вега-Приморье», а методическое обеспечение по их использованию находится в стадии разработки и тестирования.

Оценка потенциальных потерь, которые могут возникнуть от пожаров

При принятии решения об организации тушения лесного пожара достаточно существенным является вопрос оценки потенциального ущерба, который может нанести тот или иной пожар лесному фонду. В ИС «Вега-Приморье» реализованы инструменты, позволяющие провести оценку такого ущерба. Данные инструменты основаны на использовании вероятностного прогнозирования процессов развития лесных пожаров (Хвостиков и др., 2012, 2016) и оценках вероятности гибели лесов в результате действия пожара (Барталев, Стыценко и др., 2015). Созданные инструменты позволяют оценить объем и тип лесных ресурсов, которые могут погибнуть в результате действия конкретного лесного пожара. Для оценки используется модель развития лесного пожара и информация о вероятности гибели лесов на территориях, пройденных огнем, а также данные о лесных ресурсах, попавших на территорию, которую может затронуть лесной пожар. Отметим, что для получения информации о лесных ресурсах (тип преобладающей породы и запас), попавших в зону потенциального действия пожара, также используется информация, получаемая на основе спутниковых данных (различные карты лесов).

Сформированная оценка потенциального ущерба может использоваться при принятии решений по организации работ по тушению конкретного пожара.

Система картографирования различных типов повреждений лесов с использованием данных высокого пространственного разрешения

Задача картографирования различных, в первую очередь постпожарных, повреждений, возникающих в лесах, с использованием спутниковых данных достаточно высокого пространственного разрешения является традиционной (см., например, Patterson, Yool, 1998; Key, Benson, 2002; Miller, Yool, 2002; Epting et al., 2005; Барталев и др., 2012, 2014). В то же время проведение такого массового картографирования на больших территориях стало возможным только в последние годы, когда появилась возможность получения в свободном доступе данных спутников Landsat и Sentinel-2. Отметим, что в настоящее время еще не создано технологий, которые позволяли бы решать данные задачи в полностью автоматическом режиме. Поэтому для проведения картографирования повреждений с использованием данных высокого пространственного разрешения необходимо создание технологий и систем, позволяющих проводить такое картографирование в максимально автоматизированном режиме. Подобные системы должны позволять максимально автоматизировать все технологические процессы, связанные с подбором и обработкой данных,

а также осуществлять ведение баз данных получаемых результатов. Такие технологии в последние несколько лет были разработаны для картографирования площадей, пройденных огнем, и постпожарных повреждений (Кашницкий, Лупян и др., 2015; Барталев, Стыценко и др., 2015). Они были внедрены в ИСДМ-Рослесхоз и показали свою эффективность. Поэтому данные технологии были выбраны как основа для создания в ИС «Вега-Приморье» блока картографирования различных повреждений в лесах. Особенностью данного блока является то, что он обеспечивает возможность картографирования различных типов повреждений (постпожарные повреждения, усыхания, связанные с влиянием неблагоприятных факторов, и рубки), а также работу с получаемыми результатами в зависимости от специфики того или иного типа повреждений. Отметим также, что для выделения участков различных типов повреждений требуется использование нескольких различных подходов. Например, для выделения изменений, связанных с рубками, в ИС «Вега-Приморье» была создана специальная процедура, позволяющая выделять происходящие изменения на основе сравнения данных за различные годы, полученные в примерно одинаковые периоды различных сезонов.

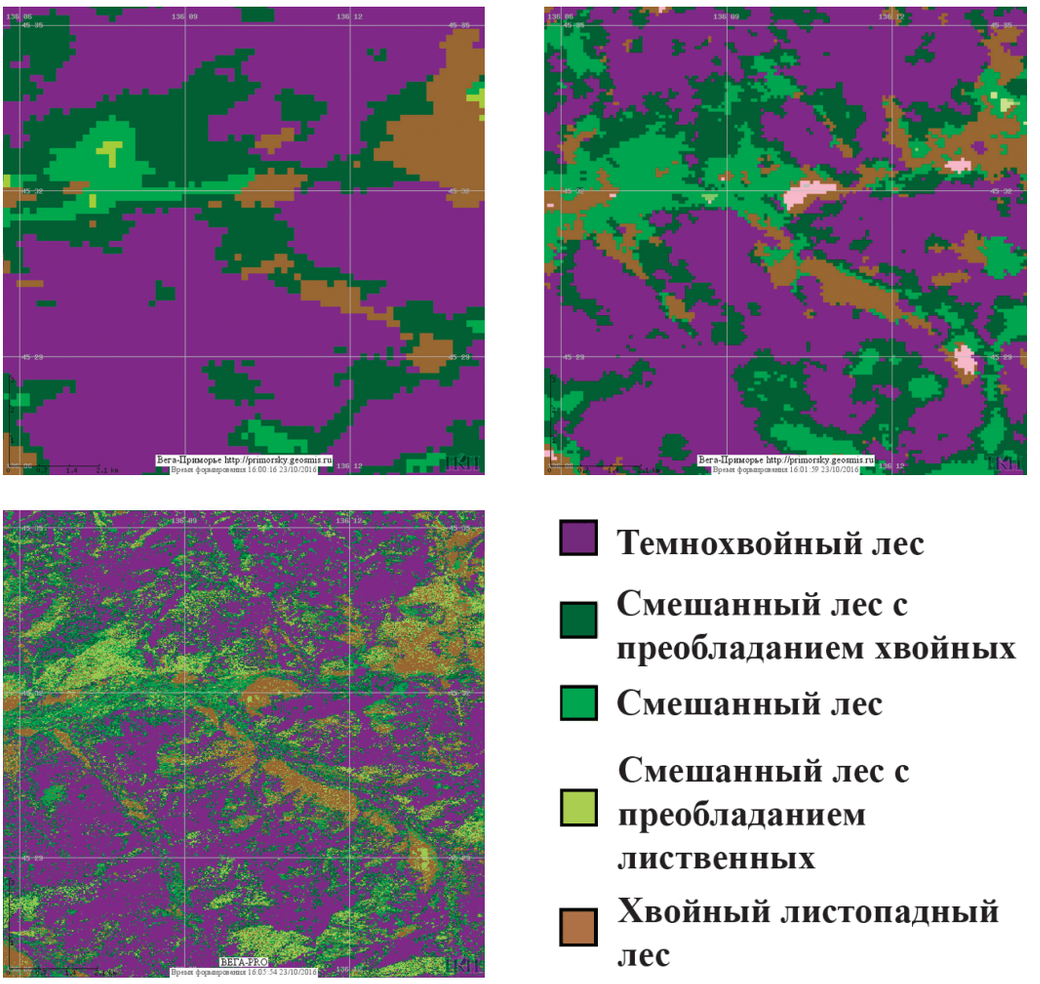


Рис. 3. Карты растительности, полученные по данным различного пространственного разрешения: а) прибор Modis (карта построена на всю территорию страны); б) прибор V (карта построена на всю территорию Приморского края); в) прибор MSI (карты могут формироваться средствами ИС «Вега-Приморье» на локальные участки)

Возможные направления использования технологий дистанционного мониторинга лесных ресурсов, реализованных в ИС «Вега-Приморье»

Как уже отмечалось, одной из основных целей разработки ИС «Вега-Приморье» фактически является создание инструмента, обеспечивающего решение различных задач мониторинга лесов для эффективного управления лесами и максимально полного использования их ресурсно-экологического потенциала, а также повышения эффективности их охраны, защиты и использования. Для решения всех этих задач на основе спутниковых технологий, безусловно, требуется развитие методического и организационного обеспечения. В настоящем разделе мы лишь кратко остановимся на нескольких направлениях возможного использования ИС «Вега-Приморье» в работах по охране и управлению лесными ресурсами.

Возможности повышения объективности решений при организации тушения пожаров

Традиционно одной из самых обсуждаемых проблем, связанных с организацией охраны лесов от пожаров, является решение вопроса, какие пожары необходимо тушить, а какие достаточно просто контролировать. Обоснованный ответ на данный вопрос мог бы существенно сократить расходы, направив средства и ресурсы именно на те пожары, тушение которых необходимо, и тем самым повысить эффективность действия по защите лесов и объектов инфраструктуры от лесных пожаров. Отметим, что в основу принятия решения о тушении конкретного пожара фактически ложатся два основных фактора: оценка, представляет ли конкретный пожар угрозу объектам инфраструктуры и населенным пунктам и сопоставление средств, необходимых для тушения пожара, с потенциальным ожидаемым ущербом лесам и/или другим природным объектам, который данный пожар может нанести. Принятие решения о тушении конкретного пожара может строиться на основе достаточно очевидной схемы, приведенной на *рис 4*.

Следует отметить, что переход на подобную схему принятия решения особенно важен в случаях весенних и осенних пожаров, в результате действия которых ущерб (процент гибели лесов) обычно минимален (см., например, Барталев, Стыценко и др., 2015). Именно такими пожарами являются большинство пожаров, возникающих на территории Приморского края. Одной из основных сложностей использования подобной схемы на практике является то, что обычно отсутствует объективная информация для ее реализации и, соответственно, принятия решений. В ИС «Вега-Приморье» имеются базовые элементы, которые в перспективе могут стать основой для внедрения подобной схемы. А именно, в системе реализованы:

– возможности получения объективной информации для проведения моделирования процессов распространения природных пожаров;

– возможность проведения моделирования и оценки потенциальных угроз и ущербов;

– получение оценок текущих параметров пожара (в том числе характеристик фронтов распространения), требуемых для расчета необходимых сил и средств для организации тушения (т.е. оценки потенциальных затрат).

Отметим, что данная информация получается фактически в автоматизированном режиме, не зависит от субъективных мнений и поэтому может быть использована для разработки объективных рекомендаций по принятию решений.

Контроль лесопользования на различных этапах

Одной из наиболее важных задач, связанных с мониторингом лесных ресурсов Приморского края, безусловно, является проблема эффективного контроля лесопользования (в первую очередь рубок). При решении данной задачи важно обеспечить получение объективной и актуальной информации об использовании лесов. Реализованные в ИС «Вега-Приморье» возможности могут обеспечить получение необходимой контрольной информации. Так, информация, предоставляемая ИС, может использоваться для:

– проверки правильности деклараций об использовании лесов (в частности, соблюдения правил рубок и достоверности информации о лесных ресурсах на лесном участке);

– оценки наличия и состояния лесовозных дорог (в том числе для оценки доступности участков леса и локализации мест потенциальных нарушений);

– мониторинга лесопользования на декларированных лесных участках (определение сроков проведения рубок и оценка объемов заготовленной древесины);

– выявления нарушений при проведении работ на декларированных лесных участках (в том числе выход за границы отведенных лесосек);

– выявления незаконных рубок (изменений в лесном покрове вне границ декларируемых участков).

Следует отметить, что в настоящее время имеются все технические возможности, позволяющие обеспечить не выборочный контроль отдельных мест рубок, а массовый мониторинг всех районов, в которых ведется заготовка леса. В то же время следует отметить, что текущее состояние и перспективы развития систем спутниковых наблюдений не позволят в ближайшие годы непрерывно и с ежедневной периодичностью контролировать территории, на которых ведется заготовка древесины, с пространственным разрешением, достаточным для фиксации изменений, происходящих в результате выборочных рубок (в том числе незаконных). Поэтому целесообразно ориентироваться в первую очередь на построение методик и схем дистанционного контроля лесопользования, таким образом, чтобы они максимально использовали основные преимущества имеющихся технологий спутникового мониторинга, а именно: объективность и независимость получаемой информации, с учетом имеющихся возможностей по частоте поступления информации.

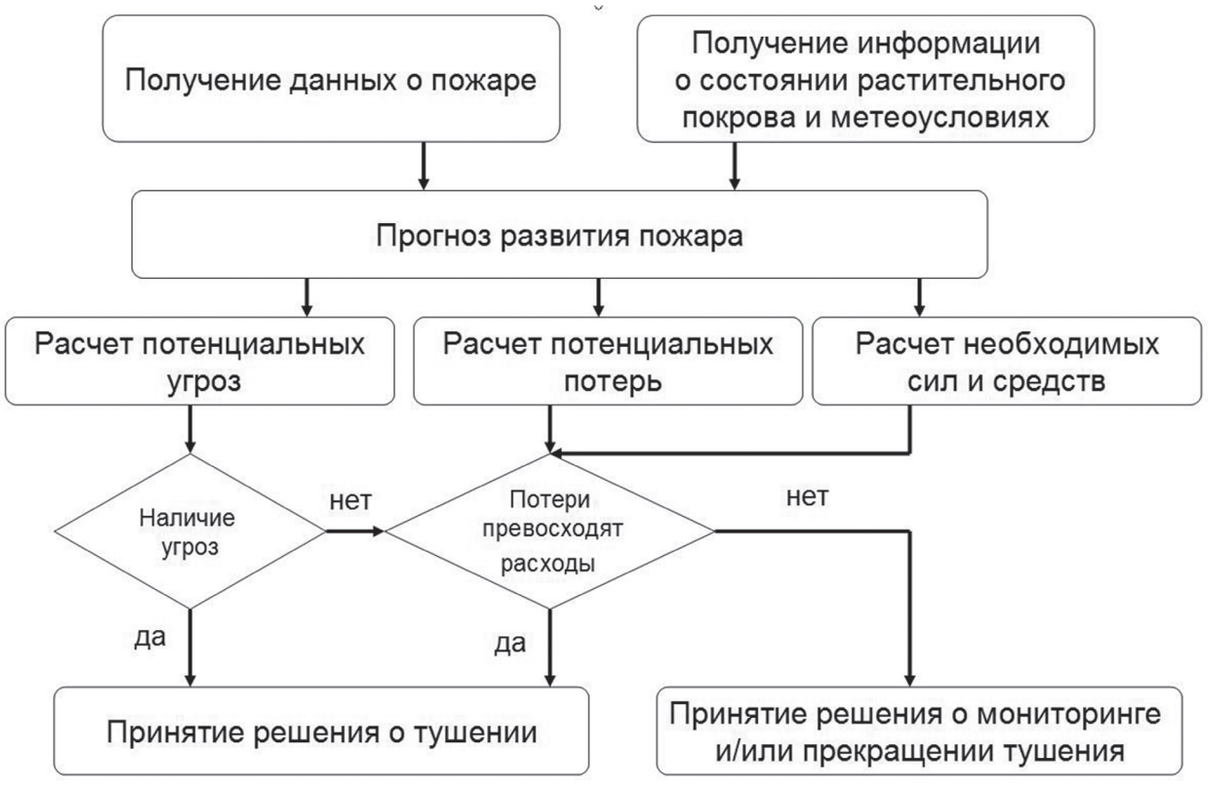


Рис. 4. Возможная схема принятия решения о тушении пожара

Предоставление актуальной информации для оценки лесных ресурсов

Остановимся также на использовании возможностей ИС «Вега-Приморье» для получения актуальной и объективной информации о состоянии лесных ресурсов. Как уже отмечалась, система строится на технологиях, которые позволяют ежегодно актуализировать карты лесов Приморского края (в том числе запасов стволовой древесины, преобладающих лесных пород, типов земного покрова, земель, покрытых лесами), а также картографировать изменения, происходящие в лесах Приморья. На наш взгляд, ИС может позволить организовать эффективное использование данной информации для решения задач учета лесных ресурсов в рамках ведения Государственного лесного реестра (ГЛР) и Государственной инвентаризации лесов (ГИЛ), в том числе и для проверки корректности информации, поступающей в данные системы.

Заключение

В заключение отметим, что созданная ИС «Вега-Приморье» в настоящее время обладает значительным функционалом и информационными возможностями, которые могут быть использованы для мониторинга лесных ресурсов Приморского края. Система предос-

тавляет актуальную, оперативно обновляющуюся информацию и инструменты ее анализа для решения различных задач.

В ИС «Вега-Приморье» не только объединены уже опробованные возможности, имеющие опыт многолетнего использования в разных научных и прикладных системах дистанционного мониторинга, но и впервые реализован ряд новых элементов и информационных сервисов. Немаловажной особенностью системы является возможность анализа получаемой в ней информации на основе данных дистанционных наблюдений совместно с информацией, традиционно используемой для управления лесами. Эта особенность, безусловно, должна облегчить дальнейшую интеграцию ИС «Вега-Приморье» со специализированными системами, использующимися для управления лесами, и включения информационных сервисов, предоставляемых ИС в контур принятия решений по эффективному управлению лесными ресурсами Приморского края.

Новые методы построения сервисов работы со спутниковыми данными и результатами их обработки для решения задач мониторинга лесных ресурсов, реализованные в ИС «Вега-Приморье», разработаны при поддержке Минобрнауки России (Государственный контракт 14.607.21.0122, уникальный идентификатор ПНИЭР RFMEFI60715X0122).

Литература

1. *Барталев С.А., Егоров В.А., Ершов Д.В., Жарко В.О., Колбудаев П.А., Лупян Е.А., Плотников Д.Е.* Развитие возможностей регионального спутникового картографирования растительного покрова на примере Приморского края // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва. ИКИ РАН, 14–18 ноября 2016. Тезисы докладов.
2. *Барталев С.А., Егоров В.А., Ершов Д.В., Исаев А.С., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Уваров И.А.* Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 4. С. 285–302.
3. *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.
4. *Барталев С.А., Егоров В.А., Жарко В.О., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Хвостиков С.А. Состояние и пер*спективы развития методов спутникового картографирования растительного покрова России // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 203–221.
5. *Барталев С.А., Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Котельников Р.В., Лупян Е.А., Щетинский В.Е.* Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агенства лесного хозяйства РФ (состояние и перспективы развития) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Вып. 5. №. 2. С. 419–429.
6. *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 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7. № 2. С. 97–105.
7. *Барталев С.А., Лупян Е.А., Стыценко Ф.В., Панова О.Ю., Ефремов В.Ю.* Экспресс-картографирование повреждений лесов России пожарами по спутниковым данным Landsat // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 1. С. 9–20.
8. *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.
9. *Бурцев М.А., Уваров И.А., Крамарева Л.С., Балашов И.В., Ефремов В.Ю., Чудин А.О., Дедух А., Четырин Ю.* Организация работы с данными спутника Himawari-8 в информационных сервисах оперативного мониторинга дальневосточного региона. // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва. ИКИ РАН, 14–18 ноября 2016. Тезисы докладов.
10. *Василейский А.С., Лупян Е.А., Карелов А.И., Крашенинникова Ю.С., Прошин А.А., Саворский В.П., Уваров И.А., Щеглов М.А.* Возможности использования специализированного сервиса РЖД-SAT для решения задач мониторинга железнодорожной инфраструктуры // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 2. С. 34–49.

11. *Гуцалов О.В., Ян В.Д., Чудин А.О.* Подсистема оперативного спутникового мониторинга лесных пожаров на основе спутниковых данных геостационарного КА Himawari-8 // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва. ИКИ РАН, 14–18 ноября 2016. Тезисы докладов.
12. *Егоров В.А., Ильин В.О., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Флитман Е.В.* Возможности построения автоматизированных систем обработки спутниковых данных на основе программного комплекса XV_SAT // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2004. № 1. С. 431–436.
13. *Исаев А.С., Барталев С.А., Лупян Е.А., Лукина Н.В.* Спутниковое зондирование Земли – уникальный инструмент мониторинга лесов России // Вестник РАН. 2014. Т. 84. № 12. С. 1073–1079.
14. *Кашницкий 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.
15. *Кашницкий А.В., Лупян Е.А., Барталев С.А., Барталев С.С., Балашов И.В., Ефремов В.Ю., Стыценко Ф.В.* Оптимизация интерактивных процедур картографирования гарей в информационных системах дистанционного мониторинга природных пожаров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т.12. № 4. С. 7–16
16. *Кобец Д.А., Балашов И.В., Данилов И.Д., Лупян Е.А., Сычугов И.Г., Толпин В.А.* Использование BI-технологий для создания инструментов для анализа данных спутникового мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 4. С. 17–27.
17. *Лупян Е.А., Балашов И.В., Бурцев М.А., Ефремов В.Ю., Кашницкий А.В., Кобец Д.А., Крашенинникова Ю.С., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А., Флитман Е.В.* Создание технологий построения информационных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 53–75.
18. *Лупян Е.А., Барталев С.А., Ершов Д.В., Котельников Р.В., Балашов И.В., Бурцев М.А., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Жарко В.О., Ковганко К.А., Колбудаев П.А., Крашенинникова Ю.С., Прошин А.А., Мазуров А.А., Уваров И.А., Стыценко Ф.В., Сычугов И.Г., Флитман Е.В., Хвостиков С.А., Шуляк П.П.М.А., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Жарко В.О., Ковганко К.А., Колбудаев П.А., Крашенинникова Ю.С., Прошин А.А., Мазуров А.А., Уваров И.А., Стыценко Ф.В., Сычугов И.Г., Флитман Е.В., Хвостиков С.А., Шуляк П.П.* Организация работы со спутниковыми данными в информационной системе дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 222–250.
19. *Лупян Е.А., Барталев С.А., Толпин В.А., Жарко В.О., Крашенинникова Ю.С., Оксюкевич А.Ю.* Использование спутникового сервиса ВЕГА в региональных системах дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. №. 3. С. 215–232.
20. *Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Ефремов В.Ю., Кашницкий А.В., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Суднева О.А., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А.* Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 263–284.
21. *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.
22. *Прошин А.А., Лупян Е.А., Балашов И.В., Кашницкий А.В., Бурцев М.А.* Создание унифицированной системы ведения архивов спутниковых данных, предназначенной для построения современных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 3. С. 9–27.
23. *Сычугов И.Г., Балашов И.В., Прошин А.А.* Система автоматического формирования форм отчетности в ИСДМ-Рослесхоз // Тринадцатая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва. ИКИ РАН, 16–20 ноября 2015. Тезисы докладов. 2015. С. 135.
24. *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.
25. *Уваров И.А., Ершов Д.В., Крылов А.М., Барталев С.А., Лупян Е.А.* Информационная система космического мониторинга санитарного состояния лесов ВЕГА-лесопатолог // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 5. С. 171–182.
26. *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.
27. *Хвостиков С.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А.* Региональная оптимизация параметров прогнозной модели природных пожаров и оперативное моделирование динамики их развития с использованием данных спутниковых наблюдений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 3. С. 91–100.
28. *Хвостиков С.А., Барталев С.А., Лупян Е.А.* Вероятностное прогнозирование развития природных пожаров методом Монте-Карло на основе интеграции в имитационную модель данных спутникового детектирования очагов горения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 5. С. 145–156.
29. *Bartalev S.A., Egorov V.A., Loupian E.A., Khvostikov S.A.* A new locally-adaptive classification method LAGMA for large-scale land cover mapping using remote-sensing data // Remote Sensing Letters. 2014. No. 5 (1). P. 55–64.

30. *Bartalev S.A., Plotnikov D.E., Loupian E.A.* Mapping of arable land in Russia using multiyear time series of MODIS data and the LAGMA classification technique // Remote Sensing Letters. 2016. Vol. 7. No. 3. P. 269–278.
31. *Bessho K., Date K., Hayashi M., Ikeda A., Imai T., Inoue H., Kumagai Y., Miyakawa T., Murata H., Ohno T., Okuyama A., Oyama R., Sasaki Y., Shimazu Y., Shimoji K., Sumida Y., Suzuki M., Taniguchi H., Tsuchiyama H., Uesawa D., Yokota H., Yoshida R.* An introduction to Himawari-8/9 – Japan's new-generation geostationary meteorological satellites // Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II. 2016. Vol. 94. No. 2. P. 151–183.
32. *Epting J., Verbyla D.L., Sorbel B.* Evaluation of remotely senses indices for assessing burn severity in interior Alaska using Landsat TM and ETM+ // Remote Sensing of Environment. 2005. No. 96. P. 328−339.
33. *Huttich C., Korets, M., Bartalev S.A., Zharko V.O., Schepaschenko D., Shvidenko A., Шмуллиус К.* Exploiting Growing Stock Volume Maps for Large Scale Forest Resource Assessment: Cross-Comparisons of ASAR- and PALSAR-Based GSV Estimates with Forest Inventory in Central Siberia // Forests. 2014. No. 5. P. 1753–1776.
34. *Key C., Benson N.* Landscape assessment, in fire effects monitoring (FireMon) and inventory protocol: Integration of standardized field data collection techniques and sampling design with remote sensing to assess fire effects // NPS − USGS National Burn Severity Mapping Project. 2002.
35. *Miller H.J., Yool S.R.* Mapping forest post-fire canopy consumption in several overstory types using multi-temporal Landsat TM and ETM data // Remote Sensing of Environment. 2002. No. 82. P. 481−496.
36. *Murata H., Takahashi M., Kosaka Y.* VIS and IR bands of Himawari-8/AHI compatible with those of MTSAT-2/Imager // MSC technical note. 2015. No. 60. P. 1–18.
37. *Patterson M.W., Yool S.R.* Mapping Fire-Induced Vegetation Mortality Using Landsat Thematic Mapper Data: A Comparison of Linear Transformation Techniques // Remote Sensing of Environment. 1998. No. 65. P. 132–142.

Vega-Primorie: complex remote forest monitoring information system

E.A. Loupian[1], S.A. Bartalev[1], I.V. Balashov[1], S.S. Bartalev[1], M.A. Burtsev[1], V.A. Egorov[1], V.Yu. Efremov[1], V.O. Zharko[1], A.V. Kashnitskiy[1], P.A. Kolbudaev[1], L.S. Kramareva[2], A.A. Mazurov[1], A.Yu. Oksiukevich[3], D.E. Plotnikov[1], A.A. Proshin[1], K.S. Senko[1], I.A. Uvarov[1], S.A. Khvostikov[1], T.S. Khovratovich[1]

[1]Space Research Institute RAS, Moscow 117997, Russia
E-mail: smis@smis.iki.rssi.ru
[2]Far Eastern Center of SRC Planeta
[3]IKIZ LLC

The paper describes the complex remote forest monitoring information system Vega-Primorie developed by IKIZ LLC and Space Research Institute RAS in cooperation with Far Eastern Center of SRC Planeta and Wildlife Society ANCO. Vega-Primorie is intended for complex remote monitoring of Primorie forests under the pilot project led by the Primorie Region government. The project is aimed at implemention of modern satellite remote sensing technologies for monitoring forest fires and consequences, forest degradation, forest use (primarily - cutting), forest resources and hunting resources. The paper presents the main capabilities of the system, its architecture and basic design solutions. The emphasis is on novel capabilities introduced by Vega-Primorie. Also, some examples of various monitoring and forest management solutions enabled by Vega-Primorie are provided.

Keywords: Earth monitoring satellites, IT, remote monitoring, forest resources, forest fires monitoring, information services

Accepted: 14.10.2016
DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-5-11-28

References

1. Bartalev S.A., Egorov V.A., Ershov D.V., Zharko V.O., Kolbudaev P.A., Loupian E.A., Plotnikov D.E., Razvitie vozmozhnostei regional'nogo sputnikovogo kartografirovaniya rastitel'nogo pokrova na primere Primorskogo kraya (Development of regional satellite vegetation mapping possibilities in the case of Primorie region), *14 konf. "Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa"* (The 14th all-Russia Open Conference "Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space"), Moscow, 14–18 November 2016.
2. Bartalev S.A., Egorov V.A., Ershov D.V., Isaev A.S., Lopian E.A., Plotnikov D.E., Uvarov I.A., Sputnikovoe kartografirovanie rastitel'nogo pokrova Rossii po dannym spektroradiometra MODIS (Maping of Russia's

Vegetation Cover Using MODIS Satellite Spectroradiometer Data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 4, pp. 285–302.
3. Bartalev S.A., Egorov V.A., Efremov V.Yu., Loupian E.A., Stytsenko F.V., Flitman E.V., Otsenka ploshchadi pozharov na osnove kompleksirovaniya sputnikovykh 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), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 2, pp. 9–27.
4. Bartalev S.A., Egorov V.A., Zharko V.O., Loupian E.A., Plotnikov D.E., Khvostikov S.A., Sostoyanie i perspektivy razvitiya metodov sputnikovogo kartografirovaniya rastitel'nogo pokrova Rossii (Current state and development prospects of satellite mapping methods of Russia's vegetation cover), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 5, pp. 203–221.
5. Bartalev S.A., Ershov D.V., Korovin G.N., Kotel'nikov R.V., Loupian E.A., Shchetinskii V.E., Informatsionnaya sistema distantsionnogo monitoringa lesnykh pozharov Federal'nogo agentstva lesnogo khozyaistva RF (sostoyanie i perspektivy razvitiya) (Forest fires remote monitoring information system of the Russian Federal Agency for Forestry (status and development prospects)), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2008, Issue 5, Vol. 2, pp. 419–429.
6. Bartalev S.A., Ershov D.V., Korovin G.N., Kotel'nikov R.V., Loupian E.A., Shchetinskii V.E., Osnovnye 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), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2010, Vol. 7, No. 2, pp. 97–105.
7. Bartalev S.A., Loupian E.A., Stytsenko F.V., Panova O.Yu., Efremov V.Yu., Ekspress-kartografirovanie povrezhdenii lesov Rossii pozharami po sputnikovym dannym Landsat (Rapid Mapping of Forest Burnt Areas over Russia Using Landsat Data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2014, Vol. 11, No. 1, pp. 9–20.
8. 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.
9. Burtsev M.A., Uvarov I.A., Kramareva L.S., Balashov I.V., Efremov V.Yu., Chudin A.O., Dedukh A., Chetyrin Yu., Organizatsiya raboty s dannymi sputnika Himawari-8 v informatsionnykh servisakh operativnogo monitoringa dal'nevostochnogo regiona (Application of Himawari-8 data for Far East region on-line monitoring information services), *14 konf. "Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa"* (The 14th all-Russia Open Conference "Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space''), Moscow, 14–18 November 2016.
10. Vasileiskii A.S., Loupian E.A., Karelov A.I., Krasheninnikova Yu.S., Proshin A.A., Savorskiy V.P., Uvarov I.A., Shcheglov M.A., Vozmozhnosti ispol'zovaniya spetsializirovannogo servisa RZhD-SAT dlya resheniya zadach monitoringa zheleznodorozhnoi infrastruktury (Possibilities of using the specialized RZD-SAT service for solving the problems of the railway infrastructure monitoring), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 2, pp. 34–49.
11. Gutsalov O.V., Yan V.D., Chudin A.O., Podsistema operativnogo sputnikovogo monitoringa lesnykh pozharov na osnove sputnikovykh dannykh geostatsionarnogo KA Himawari-8 (Forest fires satellite monitoring subsystem based on Himawari-8 satellite data), *14 konf. "Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa"* (The 14th all-Russia Open Conference "Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space''), Moscow, 14–18 November 2016.
12. Egorov V.A., Il'in V.O., Loupian E.A., Mazurov A.A., Flitman E.V., Vozmozhnosti postroeniya avtomatizirovannykh sistem obrabotki sputnikovykh dannykh na osnove programmnogo kompleksa XV_SAT (Possibilities of Developing Automated Satellite Data Processing Systems on the Basis of XV_SAT Software Package), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2004, No. 1, pp. 431–436.
13. Isaev A.S., Bartalev S.A., Loupian E.A., Lukina N.V., Sputnikovoe zondirovanie Zemli – unikal'nyi instrument monitoringa lesov Rossii (Sattelite Sensing of the Earth is a Unique Tool for Monitoring Russian Forests), Vestnik RAN, 2014, Vol. 84, No. 12, pp. 1073–1079.
14. Kashnitskii A.V., Balashov I.V., Loupian E.A., Tolpin V.A., Uvarov I.A., Sozdanie instrumentov dlya udalennoi obrabotki sputnikovykh dannykh v sovremennykh informatsionnykh sistemakh (Development of software tools for satellite data remote processing in contemporary information systems), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 1, pp. 156–170.
15. Kashnitskii A.V., Loupian E.A., Bartalev S.A., Bartalev S.S., Balashov I.V., Efremov V.Yu., Stytsenko F.V., Optimizatsiya interaktivnykh protsedur kartografirovaniya garei v informatsionnykh sistemakh distantsionnogo monitoringa prirodnykh pozharov (Optimization of burn mapping interactive procedures in remote fire monitoring information systems), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 4, pp. 7–16.
16. Kobets D.A., Balashov I.V., Danilov I.D., Loupian E.A., Sychugov I.G., Tolpin V.A., Ispol'zovanie VI-tekhnologii dlya sozdaniya instrumentov dlya analiza dannykh sputnikovogo monitoringa (The BI technologys use to create tools for data analysis of satellite remote sensing), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 4, pp. 17–27.
17. Loupian E.A., Balashov I.V., Burtsev M.A., Efremov, Krasheninnikova Yu.S., Mazurov A.A., Matveev A.M., Nazirov R.R., Proshin A.A., Tolpin V.A., Uvarov I.A., Flitman E.V., Sozdanie tekhnologii postroeniya informatsionnykh sistem distantsionnogo monitoringa (Development of technologies for creation of remote monitoring information systems), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 5. pp. 53–75.
18. Loupian E.A., Bartalev S.A., Ershov D.V. , Kotel'nikov R.V., Balashov I.V., Burtsev M.A., Egorov V.A., Efremov V.Yu., Zharko V.O., Kovganko K.A, Kolbudaev P.A., Krasheninnikova Yu.S., Proshin A.A., Mazurov A.A., Uvarov I.A., Stytsenko F.V., Sychugov I.G., Flitman E.V., Khvostikov S.A., Shulyak P.P., Organizatsiya raboty so sputnikovymi dannymi v informatsionnoi sisteme distantsionnogo monitoringa lesnykh pozharov Federal'nogo agentstva lesnogo khozyaistva (ISDM-Rosleskhoz) (Satellite data processing management in framework of

Forest Fires Remote Monitoring Information System (ISDM-Rosleskhoz) of the Federal Agency for Forestry), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 5. pp. 222–250.
19. Loupian E.A., Bartalev S.A., Tolpin V.A., Zharko V.O., Krasheninnikova Yu.S., Oksyukevich A.Yu., Ispol'zovanie sputnikovogo servisa VEGA v regional'nykh sistemakh distantsionnogo monitoringa (VEGA satellite service applications in regional remote monitoring systems), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2014, Vol. 11, No. 3, pp. 215–232.
20. Loupian E.A., Proshin A.A., Burtsev M.A., Balashov I.V., Bartalev S.A., Efremov V.Yu., Kashnitskii A.V., Mazurov A.A., Matveev A.M., Sudneva O.A., Sychugov I.G., Tolpin V.A., Uvarov I.A., Tsentr kollektivnogo pol'zovaniya sistemami arkhivatsii, obrabotki i analiza sputnikovykh dannykh IKI RAN dlya resheniya zadach izucheniya i monitoringa okruzhayushchei sredy (IKI center for collective use of satellite data archiving,processing and analysis systems aimed at solving the problems of environmental study and monitoring), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 5, pp. 263–284.
21. 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.
22. Proshin A.A., Loupian E.A., Balashov I.V., Kashnitskii A.V., Burtsev M.A., Sozdanie unifitsirovannoi sistemy vedeniya arkhivov sputnikovykh dannykh, prednaznachennoi dlya postroeniya sovremennykh sistem distantsionnogo monitoringa (Unified satellite data archive management platform for remote monitoring systems development), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, Vol. 13, No. 3, pp. 9–27.
23. Sychugov I.G., Balashov I.V., Proshin A.A., Sistema avtomaticheskogo formirovaniya form otchetnosti v ISDM-Rosleskhoz (ISMD Rosleshoz automatic report form creation system), *Trinadtsataya vserossiiskaya otkrytaya konferentsiya "Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa"* (The 13th all-Russia Open Conference "Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space''), Moscow, 16–20 November 2015, Book of abstracts, 2015, pp. 135.
24. Tolpin V.A., Balashov I.V., Efremov V.Yu., Proshin A.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.
25. Uvarov I.A., Ershov D.V., Krylov A.M., Bartalev S.A., Loupian E.A., Informatsionnaya sistema kosmicheskogo monitoringa sanitarnogo sostoyaniya lesov VEGA-lesopatolog (Information system of satellite monitoring of forest health condition "VEGA-Lesopatolog"), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 5, pp. 171–182.
26. 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 posledstvii (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.
27. Khvostikov S.A., Balashov I.V., Bartalev S.A., Efremov V.Yu., Loupian E.A., Regional'naya optimizatsiya parametrov prognoznoi modeli prirodnykh pozharov i operativnoe modelirovanie dinamiki ikh razvitiya s ispol'zovaniem dannykh sputnikovykh nablyudenii (Regional Scale Optimization of Wildfire Model Parameters and Modeling of Wildfire Dynamic Using Remote Sensing Data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 3, pp. 91–100.
28. Khvostikov S.A., Bartalev S.A., Loupian E.A., Veroyatnostnoe prognozirovanie razvitiya prirodnykh pozharov metodom Monte-Karlo na osnove integratsii v imitatsionnuyu model' dannykh sputnikovogo detektirovaniya ochagov goreniya (Stochastic wildfire model based on Monte-Carlo method and remote sensing data integration), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa,* 2016, Vol. 13, No. 5, pp. 145–156.
29. Bartalev S.A., Egorov V.A., Loupian E.A., Khvostikov S.A., A new locally-adaptive classification method LAGMA for large-scale land cover mapping using remote-sensing data, *Remote Sensing Letters*, 2014, No. 5 (1), pp. 55–64.
30. Bartalev S.A., Plotnikov D.E., Loupian E.A., Mapping of arable land in Russia using multiyear time series of MODIS data and the LAGMA classification technique, *Remote Sensing Letters*, 2016, Vol. 7, No. 3, pp. 269–278.
31. Bessho K., Date K., Hayashi M., Ikeda A., Imai T., Inoue H., Kumagai Y., Miyakawa T., Murata H., Ohno T., Okuyama A., Oyama R., Sasaki Y., Shimazu Y., Shimoji K., Sumida Y., Suzuki M., Taniguchi H., Tsuchiyama H., Uesawa D., Yokota H., Yoshida R., An introduction to Himawari-8/9 – Japan's new-generation geostationary meteorological satellites, Journal of the Meteorological Society of Japan, Ser. II, Vol. 94, 2016, No. 2, pp. 151–183.
32. Epting J., Verbyla D.L., Sorbel B., Evaluation of remotely senses indices for assessing burn severity in interior Alaska using Landsat TM and ETM+, *Remote Sensing of Environment*, 2005, No. 96, pp. 328−339.
33. Huttich C., Korets M., Bartalev S.A., Zharko V.O., Schepaschenko D., Shvidenko A., Shmullius K., Exploiting Growing Stock Volume Maps for Large Scale Forest Resource Assessment: Cross-Comparisons of ASAR- and PALSAR-Based GSV Estimates with Forest Inventory in Central Siberia, *Forests*, 2014, No. 5, pp. 1753–1776.
34. Key C., Benson N., Landscape assessment, in fire effects monitoring (FireMon) and inventory protocol: Integration of standardized field data collection techniques and sampling design with remote sensing to assess fire effects, *NPS – USGS National Burn Severity Mapping Project*, 2002.
35. Miller H.J., Yool S.R., Mapping forest post-fire canopy consumption in several overstory types using multi-temporal Landsat TM and ETM data, *Remote Sensing of Environment*, 82, 2002, pp. 481−496.
36. Murata H., Takahashi M., Kosaka Y., VIS and IR bands of Himawari-8/AHI compatible with those of MTSAT-2/Imager, *MSC technical note*, 2015, No. 60, pp. 1–18.
37. Patterson M.W., Yool S.R., Mapping Fire-Induced Vegetation Mortality Using Landsat Thematic Mapper Data: A Comparison of Linear Transformation Techniques, *Remote Sensing of Environment*, 1998, No. 65, pp. 132**–**142.