

ГИС-технология оценки пирогенных эмиссий углерода по данным Terra-Modis и государственного учета лесов

Д.В. Ершов, К.А. Ковганко, Е.Н. Сочилова

*Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН
117997, Москва, ул. Профсоюзная, 84/32
E-mail: ershov@ifi.rssi.ru*

Оценка пирогенных эмиссий углерода в лесах осуществляется на основе комплексного анализа данных о пройденной пожарами площади, степени повреждения огнем лесной растительности по Terra-Modis, восстановленной интенсивности пожара и до пожарных запасов лесных горючих материалов (ЛГМ) исследуемой территории. Методика оценки эмиссии включает три основных этапа: расчет запасов основных проводников горения ЛГМ до пожара; восстановление типа и интенсивности пожара; оценка расходов ЛГМ и количества углерода, выделяющегося в процессе горения. На базе этой методики разработана ГИС-технология. Приводятся результаты расчета пирогенных эмиссий в лесах РФ за период с 2003 по 2007 гг.

Ключевые слова: лесные пожары, пирогенные эмиссии углерода, лесные горючие материалы, ГИС-технология.

Существенный вклад в эмиссии углерода вносят крупные пожары в лесах России. Основная часть пройденной огнем площади приходится на районы Сибири и Дальнего Востока, где учет и авианаблюдение за лесными пожарами проводится эпизодически. Применение современных методов дистанционного мониторинга лесных пожаров в сочетании с данными учета лесного фонда позволяет осуществлять регулярный мониторинг горимости лесов и ежегодную оценку пирогенных эмиссий углерода в атмосферу Земли [1].

Методика основывается на исследованиях и разработках ЦЭПЛ РАН по оценке эмиссии углерода от пожаров с использованием данных дистанционного зондирования и материалов лесоинвентаризации. Полученные результаты в работах [2-5] демонстрируют возможности методов и перспективность применения спутниковой информации для решения рассматриваемой задачи, а также создания целостной на их основе ГИС-технологии количественной оценки пирогенных эмиссий углерода на федеральном и региональном уровнях.

Определение размеров пожарных эмиссий углерода и оценка последствий лесных пожаров осуществляется на основе комплексного анализа данных о степени повреждения пожаром лесной растительности, его интенсивности и допожарных запасов доминирующих типов лесных горючих материалов (ЛГМ) исследуемой территории [3-5].

Методика расчета пирогенных эмиссий углерода по спутниковым данным

Количество углерода, выделившегося в процессе горения, определяется через массу сгоревших органических материалов и их химический состав. Общая масса сгоревших органических материалов находится как функция площади пожара, структуры и запасов лесных горючих материалов (ЛГМ) на этой площади, характера и интенсивности пожара, доли расходуемых ЛГМ при различных типах и интенсивностях горения.

Оценка пожарных эмиссий углерода в границах свежих горельников включает в себя следующие основные этапы:

- Формирование пространственно распределенной структуры запасов лесных горючих материалов до пожара;

- Выделение зон возможного распространения верхового огня;
- Восстановление характера и интенсивности пожара;
- Оценка расходов ЛГМ и количества углерода, выделяющегося в процессе горения.

Площадь пожара и степень повреждения огнем лесной растительности определяются по спутниковым данным низкого и среднего пространственного разрешения (SPOT-Vegetation, Terra-Modis) [6]. На рисунке 1 приводится блок-схема, отражающая последовательность оценки пирогенных эмиссий углерода в лесах.

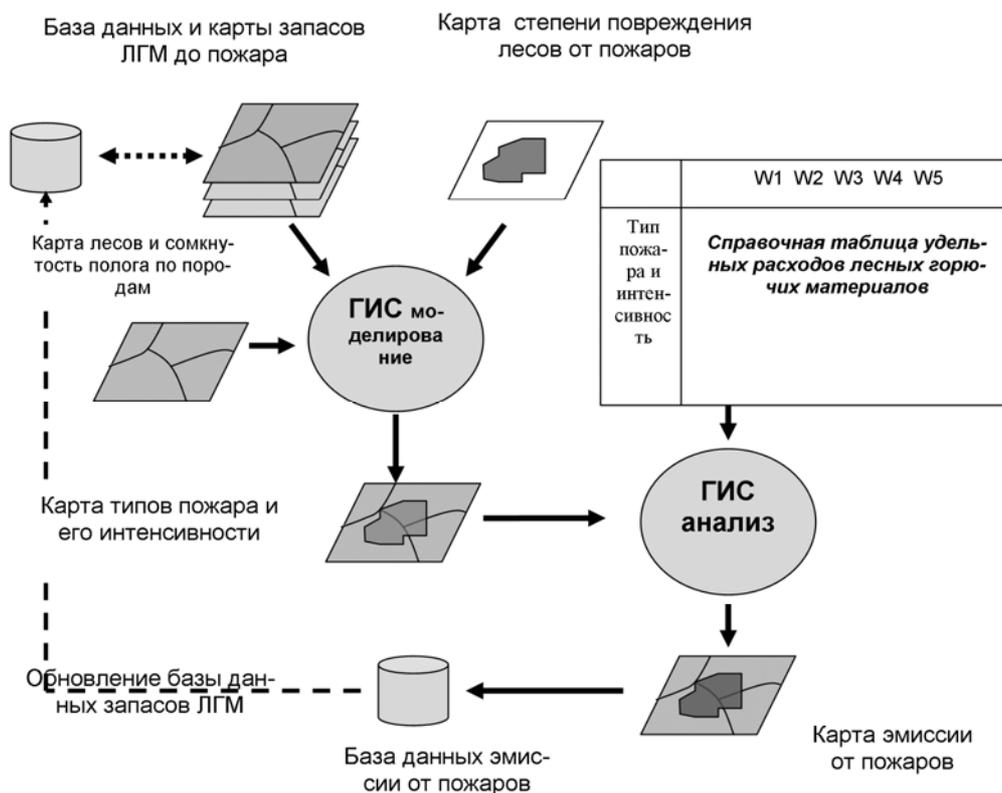


Рис. 1. Блок-схема этапов анализа данных для оценки эмиссии углерода от пожаров

Формирование пространственно распределенной структуры запасов лесных горючих материалов до пожара

Структура и запасы ЛГМ до пожара определяются с использованием базы данных запасов ЛГМ низкого пространственного разрешения. База данных ЛГМ формируется по данным государственного учета лесного фонда на уровне лесхозов и субъектов РФ, а также экспериментальным измерениям фитомассы подроста, подлеска, напочвенного покрова и лесной подстилки на тестовых площадках в различных типах лесорастительных условий. Доля расходуемых ЛГМ при различных типах и интенсивностях горения зависит от степени сгорания верхнего полога, древесно-кустарникового яруса, напочвенного покрова и лесной подстилки. В настоящей работе из-за отсутствия данных о пожарах и допожарных запасах ЛГМ эмиссии от подземных пожаров не учитываются. Подробная методика оценки массы проводников горения расположенных вдоль вертикального профиля насаждений приводится в работе [7].

С помощью комплексного пространственного анализа карт запасов ЛГМ по субъектам, лесхозам, типам лесорастительных условий и карты наземных экосистем Северной Евразии формируется карта запасов ЛГМ с низким пространственным разрешением (1 км). В дальнейшем карта запасов ЛГМ используется для совместного анализа с картами пройденных пожарами площадей и степени повреждения лесов по спутниковым данным SPOT-Vegetation (1 км).

Выделение зон возможного распространения верхового огня

В качестве исходной информации для зонирования территории по возможным типам горения используется база данных по лесным горючим материалам. Распространение верхового горения считается возможным, если выполняются следующие условия:

- Участок относится к покрытой лесом территории;
- Преобладающей на участке является одна из хвойных пород (сосна, кедр, лиственница, ель, пихта) или их групп (светлохвойные, темнохвойные);
- Сомкнутость древесного полога или проективного покрытия крон деревьев составляет не менее 0,3 для молодняков и не менее 0,4 для насаждений старших возрастов с многоярусной структурой или наличием хвойного подроста;

Определение покрытой лесом площади и преобладающие хвойные породы осуществляются по карте наземных экосистем Северной Евразии [11], а проективное покрытие лесного покрова по Terra-Modis данным [12]. Выделение зон возможного распространения верхового огня осуществляется путем объединения смежных участков, характеристики которых удовлетворяют перечисленным выше требованиям. Результатом такого выделения является карта зон возможного распространения низового и верхового огня в границах анализируемой территории.

Восстановление характера и интенсивности пожара

В работе рассматриваются верховые и низовые пожары при оценке эмиссии углерода. При верховых устойчивых пожарах огнем охватываются все компоненты лесного биогеоценоза: хвоя и мелкие ветви в кронах деревьев, подрост и подлесок, напочвенный покров, валеж и лесная подстилка.

Устойчивые низовые пожары по интенсивности горения, а соответственно и структуре воспламеняющихся компонентов биогеоценоза, делятся на три категории: сильные, средние и слабые. При сильных низовых пожарах сгорают напочвенный покров, подлесок, кроны отдельных деревьев, а также значительная часть лесной подстилки и валежа. При низовых пожарах средней интенсивности огнем охватываются: напочвенный покров, часть валежа и подроста, а так же верхний слаборазложившийся слой лесной подстилки. При слабых низовых пожарах в горении участвуют, как правило, только напочвенный покров с неразложившимся опадом.

Указанным типам пожаров и интенсивностям горения соответствуют четыре степени повреждения огнем лесной растительности: очень сильная (более 80%), сильная (60-80%), средняя (30-60%) и слабая (10-30%). Насаждения, где доля усохших деревьев не превышает 10%, относятся к категории незначительно поврежденных огнем.

Восстановление характера и интенсивности пожара осуществляется наложением карт степени повреждения лесной растительности и зон возможного распространения верхового и низового горения.

К верховому типу горения относятся участки с очень сильной степенью повреждения лесной растительности, относящиеся к зонам возможного распространения верхового огня.

К низовому типу горения с высокой интенсивностью относятся участки с очень сильным повреждением лесной растительности вне зон возможного распространения верхового огня, а также все участки с сильным повреждением лесной растительности.

К низовому типу горения со средней и слабой интенсивностью относятся соответственно участки со средней и слабой степенью повреждения лесной растительности. Участки лесной растительности с отсутствием повреждений считаются не пройденными огнем и не учитываются при оценке размеров пожарных эмиссий.

Оценка расходов ЛГМ и размеров пожарных эмиссий углерода

Масса сгорающих органических материалов на каждом пройденном огнем участке находится через запасы ЛГМ до пожара и долю расходуемых горючих материалов, как функцию типа и интенсивности пожара. Для участков, пройденных верховым пожаром, масса сгорающих ЛГМ определяется из соотношения:

$$Q^{(1)} = \sum_{r=1}^R W_r \beta_r^{(1)} \quad (1)$$

где: W_r - масса r -й компоненты ЛГМ до пожара, т. га⁻¹;

$\beta_r^{(1)}$ - доля r -й компоненты ЛГМ, сгорающая при верховом пожаре;

$Q^{(1)}$ - масса органических материалов, сгорающих при верховом пожаре, т. га⁻¹

Масса ЛГМ, сгорающих при низовых пожарах различной интенсивности, находится из аналогичного соотношения:

$$Q^p = \sum_{r=1}^R W_r \beta_{rp}^{(2)} \quad (2)$$

где: W_r - масса r -й компоненты ЛГМ до пожара, т.га⁻¹;

$\beta_{rp}^{(2)}$ - доля r -й компоненты ЛГМ, сгорающая при низовом пожаре p -й интенсивности;

Q^p - масса органических материалов, сгорающих при низовом пожаре p -й интенсивности, т.га⁻¹;

Численные значения коэффициентов $\beta_r^{(1)}$, $\beta_{rp}^{(2)}$, берутся из справочных таблиц удельных расходов ЛГМ, полученных на основе экспериментальных данных [2].

Интенсивность пожарных эмиссий углерода с каждого из пройденных огнем участков определяется как произведение массы сгоревших органических материалов на долю углерода в их составе.

Общая масса сгоревших органических материалов находится как сумма расходов ЛГМ по всем пройденным огнем участкам, а общая масса пожарных эмиссий – как произведение массы сгоревших органических материалов и доли углерода в их составе.

Результатом является карта пожарных эмиссий углерода с гектара пройденной огнем площади (т/га), интегрированных на ячейку площадью 20х20 км (рисунок 2). Размер ячейки определен экспериментально в результате статистического анализа значений фитомассы, полученных по данным лесоинвентаризации (по выделам) и по данным ГУЛФ (по лесхозам). При размере ячейки 20х20 км величина отклонения интегральных значений фитомассы не превышает 15% [6].

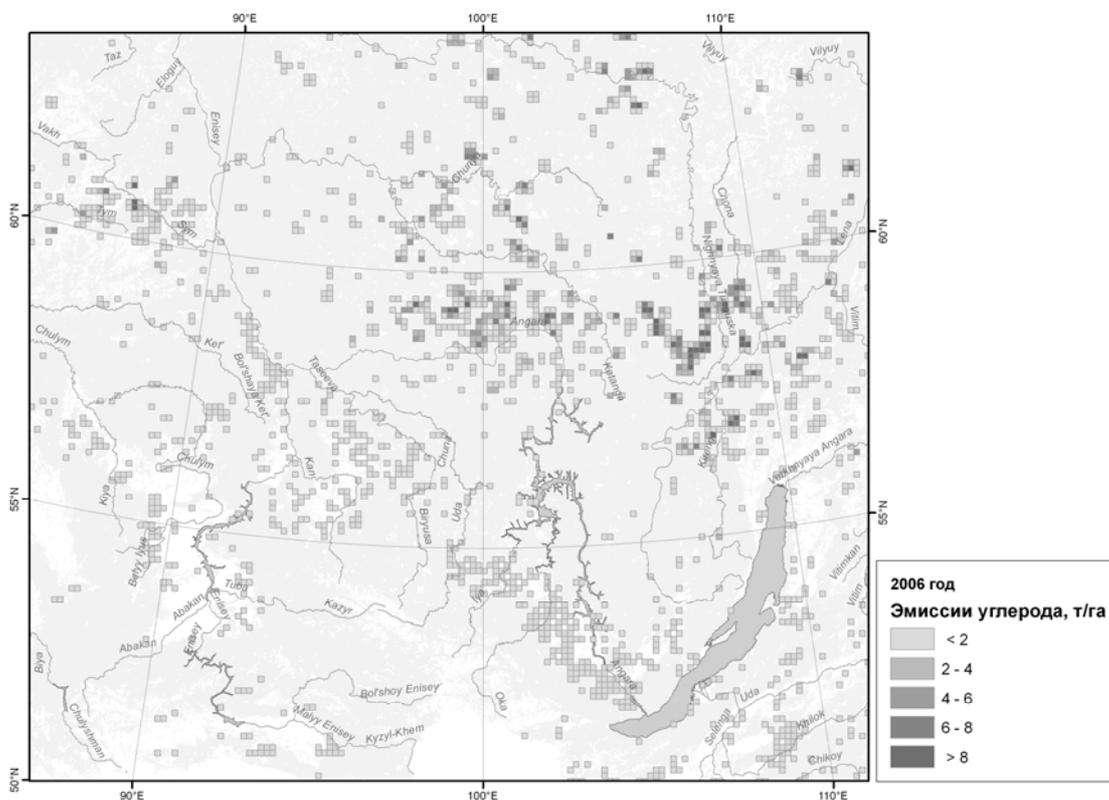


Рис. 2. Карта интегральных значений эмиссий углерода с ячейки площадью 20х20 км

Программная реализация технологии расчетов эмиссии углерода

Разработанная методика реализуется в программном модуле расчета пирогенных эмиссий углерода от лесных пожаров (рисунок 3) с помощью библиотеки компонентов ArcObjects в виде расширения к программному продукту ArcGIS 9 (компания ESRI, США).

Исходными данными являются растровые изображения формата Erdas Imagine, в конической равноплощадной проекции Альберса (Albers equal area conic), пространственно совмещенные, с одинаковым разрешением пикселя. По результатам обработки в среде ГИС формируются результирующие изображения эмиссий углерода с каждого пикселя по слоям основных проводников горения и шейп-файл с суммарными характеристиками эмиссий углерода по сетке размерностью 20 x 20 км.

С помощью вышеизложенного инструментария были получены количественные оценки эмиссии углерода по России и проведено сравнение с результатами расчётов эмиссий парниковых газов, оцененной по данным официальной статистической отчетности [13].

На рисунке 4 и в таблице 1 представлены площади пожаров, выявленных по спутниковым данным и по данным официальной статистики, а также удельные эмиссии выбросов углерода (тС/га) от пожаров за период с 2003 по 2007 годы. Несмотря на большие расхождения в площадях пройденных лесными пожарами в 2003 году, удельные эмиссии углерода, полученные по разным источникам и разными методами сопоставимы между собой. В тоже время, требуются дополнительные исследования причин значительных расхождений в оценках удельных эмиссий углерода, полученных в 2005 году при сопоставимом размере площади горельников.

В среднем спутниковые методы дают оценку удельных эмиссий углерода от пожаров на 23,5% больше по сравнению с данными официальной статистической отчетности при стандартном отклонении в 15,6%.

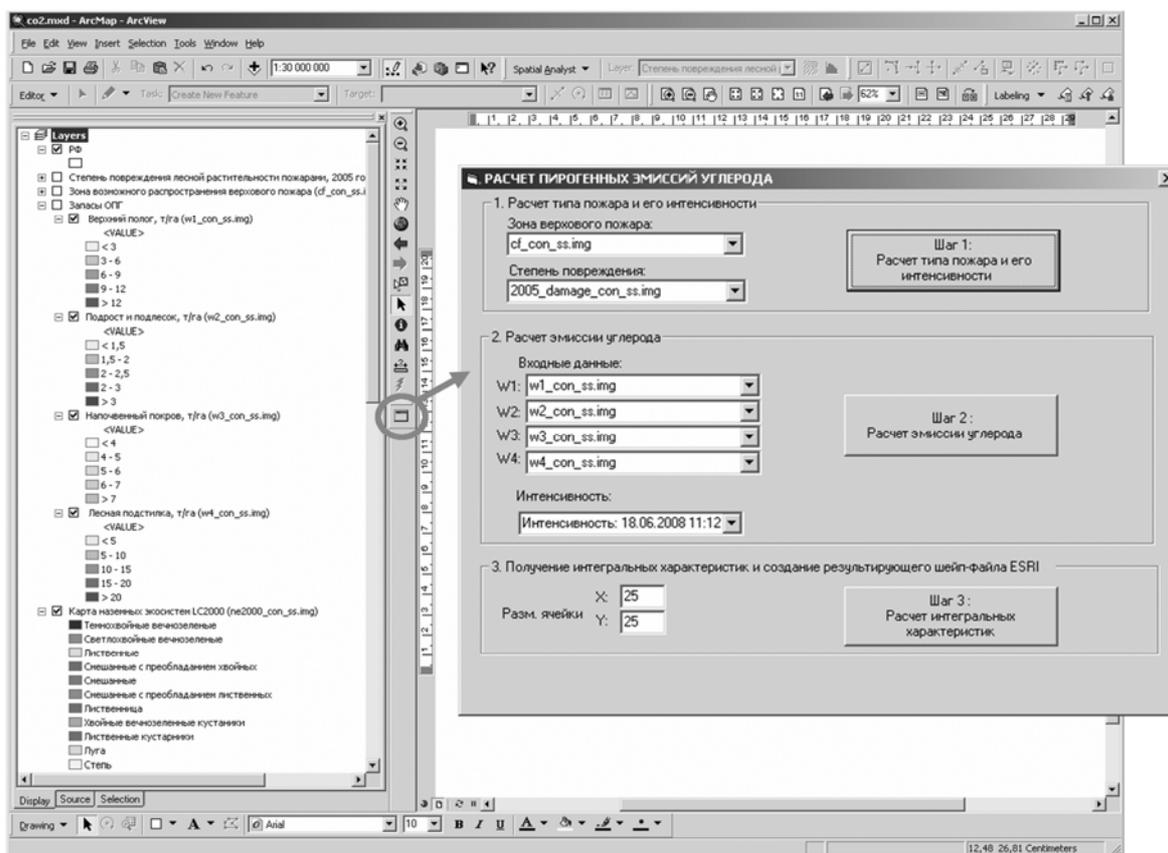


Рис. 3. Интерфейс блока расчета пирогенных эмиссий углерода в среде ArcGIS

Таблица 1. Сравнение оценок эмиссии углерода полученные по данным спутниковых наблюдений и официальной статистической отчетности

Год	Спутниковые наблюдения			Официальная статистическая отчетность		
	Эмиссии углерода, МтС	Пройденная лесными пожарами площадь, га	Удельные эмиссии С, т/га	Эмиссии углерода, МтС	Пройденная лесными пожарами площадь, га	Удельные эмиссии С, т/га
2003	127,1	12 025 093	10,57	21,3	2 309 164	9,23
2004	13,9	1 224 070	11,39	5,6	543 289	10,29
2005	21,0	1 328 394	15,80	7,1	845 313	8,42
2006	46,2	3 595 705	12,83	11,1	1 273 097	8,69
2007	13,2	1 203 205	10,93	7,8	853 049	9,13

Выводы

Предложена технология расчета пирогенных эмиссий углерода от пожаров по спутниковым данным и картам запасов лесных горючих материалов до пожара.

В результате работ создан действующий программный модуль обработки данных спутниковых наблюдений для расчета пирогенных эмиссий углерода в атмосферу пройденных пожарами площадей и интегральной оценки суммарных эмиссий.

Созданный инструмент позволяет осуществлять расчеты в удобной для пользования среде ГИС.

Полученные оценки удельных эмиссий углерода от пожаров по спутниковым данным в целом по России на 23,5% больше по сравнению с данными официальной статистической отчетности при стандартном отклонении в 15,6%.

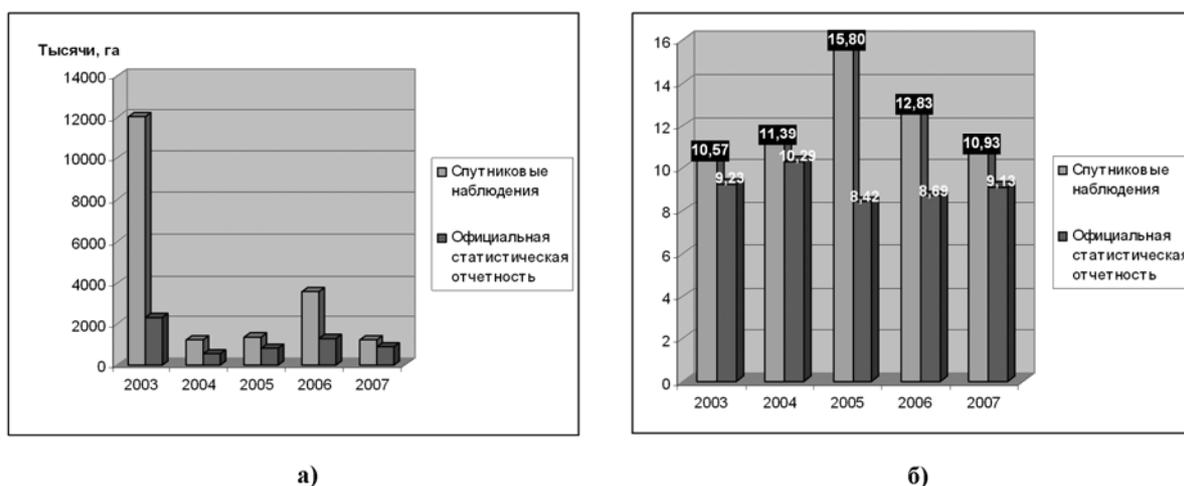


Рис. 4. Динамика площадей пожаров (а), выявленных по спутниковым данным и по данным официальной статистики, и удельных эмиссий выбросов углерода (б) от пожаров за период с 2003 по 2007 годы

Благодарности

Авторы выражают благодарность член-корр. Георгию Николаевичу Коровину за консультации на этапе разработки ГИС-технологии и д.б.н. Дмитрию Геннадиевичу Замолотчикову, любезно предоставившему результаты своих расчетов ежегодных эмиссий парниковых газов в России за период с 2003 по 2007 гг. по данным официальной статистической отчетности.

Работы были выполнены в рамках проектов:

- INTAS-ESA Call 2006 ID 1000025-8991 Earth Observation for assessment of forest disturbances induced Carbon emissions in Central Siberia (SibFORD)

- НИОКР Федерального агентства лесного хозяйства 2006-08 гг. «Развитие системы дистанционного мониторинга лесных пожаров и очагов массового размножения вредных насекомых и болезней леса».

Литература

1. *Исаев А.С., Коровин Г.Н. и др.* Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России : Аналитический обзор. М.: Центр экологической политики России, 1995. 155 с.

2. *Джанетос Э.С., Исаев А.С. и др.* Проект по изучению характеристик и устойчивости бореальных лесов. Отчет о работе на I и II этапах. Совместная Российско-Американская Комиссия по экономическому и технологическому сотрудничеству. Рабочая группа по окружающей среде. Report Number 291500-1-T. 92-20085. 13 с.

3. *Джанетос Э.С., Шугарт Х., Орлик Б., Мэрфи Т., Касишка Э., Френч Н., Стоун Т., Исаев А.С., Сухих В.И., Журинов В.М., Барталев С.А., Ершов Д.В., Шаталов А.В., Гурскиц М.Н., Письменный А.Н., Зиелелис Т.А. Иванов С.В.* Исследование характеристик бореальных лесов России и США (Аляска) по снимкам, полученным системами национальной безопасности // Исследование Земли из космоса, 1999. №6. С. 83-92.

4. *Isaev A.S., G.N. Korovin, S.A. Bartalev, D.V. Ershov, Anthony Janetos, Eric S. Kasishke, Herman H. Sugart, Nancy H. French, Brian E. Orlick, Tommy L. Murphy.* Using remote sensing for assessment of forest wildfire carbon emissions. *Climate Change* 55: 235-249, 2002.

5. *Сочилова Е.Н., Ершов Д.В.* Картографирование и оценка поврежденных пожарами лесов и пожарных эмиссий углерода по спутниковым изображениям высокого пространственного разрешения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных объектов и явлений. Сб. научн. статей. М.: ООО «Азбука-2000», 2007. Вып. 4. Т. II. С. 322-331.

6. *Егоров В.А., Барталев С.А.* Анализ временных серий спутниковых данных SPOT-Vegetation для мониторинга повреждений пожарами бореальных экосистем // Сборник научных статей четвертой Всероссийской конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», Москва, ООО «Азбука-2000», 2007, сс. 381-387

7. *Сочилова Е.Н., Ершов Д.В., Коровин Г.Н.* Методы создания карт запасов лесных горючих материалов низкого пространственного разрешения // Настоящий сборник

8. *Bartalev, S.A., A.S. Belward, D. V. Erchov, and A. S. Isaev.* A new SPOT4-VEGETATION derived land cover map of Northern Eurasia // *International Journal of Remote Sensing*, 2003. Vol. 24. No. 9. P. 1977 – 1982.

9. *Ершов Д.В.* Методика оценки покрытой лесом площади по спутниковым изображениям спектрорадиометра MODIS среднего пространственного разрешения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных объектов и явлений. Сб. научн. статей. М.: ООО «Азбука-2000», 2007. Вып. 4. Т. II. С. 217-225.

10. *Гитарский М.Л., Замолодчиков Д.Г., Коровин Г.Н., Карабань Р.Т.* Эмиссия и поглощение парниковых газов в лесах России в связи с выполнением обязательств по климатической конвенции ООН // *Лесоведение*, 2006. № 6. С.34-44.

GIS-technology of Fire Carbon Emission Assessment using Terra-Modis Products and State Forest Account data

D.V. Ershov, K.A. Kovganko, E.N. Sochilova

Center for Problems of Forest Ecology and Productivity

E-mail: ershov@ifi.rssi.ru

Forest fire Carbon emissions are estimated on the basis of complex analysis of Terra-Modis burnt area and forest fire damage products, fire intensity and pre-fire forest fuel loads in study region. The methodic includes three main stages: pre-fire forest fuel load calculation, fire type and intensity definition in burnt area and assessment of combusted during burning of forest fuel loads and CO₂ account. GIS-technology based on the methodic was developed. Results of forest fire Carbon emissions in Russian during fire season of 2003-2007.

Keywords: forest fires, fire Carbon emissions, forest fuel loads, GIS-technology.