

Установление количества (порога) ошибок определения фактов активного горения на сельскохозяйственных землях России, фиксируемых по данным радиометра MODIS

Establishment of the quantity (threshold) of errors of definition of facts of active burning on farmlands of Russia registered according to MODIS radiometer

Королёва / Koroleva P.

Полина Владимировна

(soilmap@yandex.ru)

ФГБНУ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева»,

научный сотрудник.

г. Москва

McCarty Jessica L. / Мак-Карти Д.

(jmccarty@mtu.edu)

Doctor of Philosophy.

Michigan Tech Research Institute (MTRI),

Research Scientist II

Рухович / Rukhovich D.

Дмитрий Иосифович

(landmap@yandex.ru)

кандидат биологических наук.

ФГБНУ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева»,

заведующий лабораторией

г. Москва

Симакова / Simakova M.

Мария Сергеевна

(landmap@yandex.ru)

доктор сельскохозяйственных наук.

ФГБНУ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева»,

ведущий научный сотрудник.

г. Москва

Кулянича / Kulyanitsa A.

Андрей Леонидович

(Kulyanitsa@gmail.com)

доктор технических наук,

старший научный сотрудник.

ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский

университет «МИСиС» (НИТУ «МИСиС»),

профессор.

г. Москва

Брызжев / Bryzzhev A.

Алексей Вадимович

(bryzzhev@gmail.com)

ФГБНУ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева»,

инженер лаборатории.

г. Москва

Ключевые слова: MODIS; пожары – fires; сельскохозяйственные сжигания – agricultural burning; данные дистанционного зондирования – remote sensing data; черный углерод – black carbon.

Определена точность расчетов фактов возгорания и площадей, пройденных огнем, на сельскохозяйственных угодьях России, фиксируемых по данным радиометра MODIS. Точность определена наземными методами. Протяженность проверочного маршрута составила 1008 км. Площадь обследования составила 68 506,9 га. Проверены 92 точки MODIS и 29 точек Suomi NPP. Выявлено 7 ложных срабатываний радиометра MODIS. Показано, что расчеты площадей возгорания по данным радиометра MODIS занижают реальные площади пожаров на сельскохозяйственных землях в 3 раза. Показана возможность повышения точности определения сельскохозяйственных пожаров с использованием данных Landsat 8.

Accuracy of calculations of fires and areas affected by fire on agricultural lands of Russia registered according to MODIS radiometer is determined. Accuracy is determined using land techniques. Extent of test route has made 1008 km. Area of inspection has made 68 506.9 hectares. 92 MODIS points and 29 Suomi NPP points were checked. 7 false operations of MODIS radiometer were detected. It is shown that calculation of fire areas according to MODIS radiometer underestimate real fire areas on farmlands by 3 times. Possibility to increase accuracy of definition of agricultural fires using Landsat 8 data is shown.

Введение

На текущий момент наиболее распространенную информацию о пожарах получают дешифрированием данных радиометра MODIS [2–5]. Для выявления фактов возгорания используется яркостная температура, измеряемая в диапазоне длин волн 10.780–11.280 мкм канала 31 MODIS. Радиометр MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) является одним из ключевых съемочных приборов, установленных на борту американских спутников TERRA (на орбите с 1999 г.) и AQUA (на орбите с 2002 г.), осуществляющих исследования Земли из космоса по программе EOS (Earth Observing System) национального аэрокосмического агентства (NASA) США. Съемка земной поверхности осуществляется четыре раза в сутки. Пространственное разрешение съемки для определения пожаров составляет 1 км. Ежедневные и архивные данные о координатах фактов возгорания можно получить с Internet ресурса EOSDIS (<https://earthdata.nasa.gov/data/near-real-time-data/firms>) (табл. 1, 2).

Данные, взятые с сайтов NASA или рассчитанные самостоятельно, но по аналогичной методике, используются МЧС, авиалесоохраной (http://firemaps.nffc.aviales.ru/clouds/html/clouds_proj.html, http://www.aviales.ru/clouds/html/clouds_proj.html

), ООН (<http://www.fao.org/nr/gfims/en/>) и др. Разработчики методологии и создатели ресурсов по мониторингу пожаров справедливо утверждают, что альтернативной методики слежения за пожарами нет [2–5, http://firemaps.nffc.aviales.ru/main_pages/about.shtml, <http://gis-lab.info/qa/firms.html>]. При этом точность методики разработчиками не указывается напрямую. Говорится лишь, что чувствительность зависит от площади и интенсивности горения. Соглашаясь с существованием таковых зависимостей, для столь широко применяемого метода хотелось бы знать точность в терминах информационных систем – каковы ошибки первого и второго рода, т.е. сколько пропусков цели (пропусков реальных пожаров) и сколько ложных тревог (дешифрования пожаров там где их нет) дает метод. Даже предварительные данные говорят о том, что на территории России больше всего пожаров происходит на сельскохозяйственных землях. Так можно ли доверять данным радиометра MODIS при расчетах площади, пройденной пожаром по сельскохозяйственным землям?

По данным MODIS можно рассчитать площади возгораний и эмиссию черного углерода с сельскохозяйственных земель России [5]. Основных методов расчета два: по энергии горения и по площади горения.

Таблица 1

Фрагмент базы данных точек возгорания по MODIS

Широта (град)	Долгота (град)	Яркостная температура 21 (К)	Поперечный размер пикселя (км)	Продольный размер пикселя (км)	Дата	Время	Спутник (Terra, Aqua)	Достоверность	Версия	Яркостная температура 31 (К)	Мощность излучения пожара (МВт)	Тип земельного покрова
60.708	28.900	311.3	1.6	1.2	04.08.2014	1010	T	47	5.0	281.1	37.0	5
60.708	28.894	314.9	1.6	1.2	04.08.2014	1010	T	53	5.0	281.3	42.2	1
59.033	28.137	318.1	1.2	1.1	04.08.2014	1020	A	60	5.0	271.8	39.8	5
59.440	29.611	317.0	1.1	1.1	04.08.2014	1020	A	63	5.0	275.2	26.0	5
59.575	30.220	314.8	1.1	1.0	04.08.2014	1020	A	43	5.0	282.4	23.0	12
59.584	30.214	311.1	1.1	1.0	04.08.2014	1020	A	33	5.0	282.1	18.7	12
59.366	28.858	312.4	1.2	1.1	04.08.2014	1020	A	54	5.0	280.5	25.5	5
59.839	31.480	329.9	1.0	1.0	04.08.2014	1020	A	83	5.0	281.3	43.8	10
59.691	30.276	317.0	1.1	1.0	04.08.2014	1020	A	67	5.0	281.8	27.2	12
59.629	29.928	317.2	1.1	1.0	04.08.2014	1020	A	64	5.0	279.6	28.0	12
59.631	29.884	324.4	1.1	1.0	04.08.2014	1020	A	77	5.0	281.9	37.8	12
59.861	30.761	313.3	1.1	1.0	04.08.2014	1020	A	57	5.0	280.0	23.7	14
60.712	28.885	313.8	1.1	1.0	04.08.2014	1025	A	55	5.0	282.9	24.3	9
60.213	32.053	308.0	3.1	1.7	04.08.2014	1810	T	58	5.0	269.8	117.6	0
59.641	29.240	311.9	1.1	1.0	04.08.2014	1945	T	77	5.0	268.1	29.9	5
60.207	32.065	319.4	1.3	1.1	04.08.2014	1945	T	98	5.0	271.5	47.3	8
58.912	30.570	322.1	1.0	1.0	04.09.2014	0915	T	75	5.0	282.7	31.8	14
58.610	29.827	310.5	1.3	1.1	04.09.2014	1105	A	40	5.0	282.9	26.6	7

Таблица 2

Классификатор земельных угодий по MODIS

Тип земельного покрова	Eng	Rus
0	Water	Водные объекты
1	Evergreen Needleleaf Forest	Вечнозеленые хвойные леса
2	Evergreen Broadleaf Forest	Вечнозеленые лиственные леса
3	Deciduous Needleleaf Forest	Листопадные хвойные леса
4	Deciduous Broadleaf Forest	Листопадные лиственные леса
5	Mixed Forests	Смешанные леса
6	Closed Shrublands	Сомкнутая кустарниковая растительность
7	Open Shrublands	Редкостойная кустарниковая растительность
8	Woody Savannas	Саванны с древесной растительностью
9	Savannas	Саванны
10	Grasslands	Луга
11	Permanent Wetlands	Постоянно переувлажненные территории
12	Croplands	Сельскохозяйственные угодья
13	Urban and Built-Up	Городская и застроенная территория
14	Cropland/Natural Vegetation Mosaic	Мозаика с/х угодий и естественной растительности
15	Snow and Ice	Ледники и снежники
16	Barren or Sparsely Vegetated	Разреженная растительность или пространства, лишенные растительности
254	Unclassified	Неклассифицированные территории

В свою очередь, площадь горения можно получить суммой площадей всех пикселей, на которых зафиксированы пожары. Альтернативным определением площади горения является метод определения площади объектов для каждого факта возгорания по MODIS, которые имеют границы, препятствующие распространению огня. Для сельскохозяйственных сжиганий такими объектами являются сельскохозяйственные поля. На территории России границами полей являются дороги, реки, овраги, лесополосы и т.д. Как показали наши изыскания, вероятность распространения пожара с сельскохозяйственного поля через его границы чрезвычайно низка.

Целью данной работы является установление точности определения площади, пройденной огнем на сельскохозяйственных угодьях России, по данным MODIS, рассчитанной по стандартной методике дешифрирования данных радиометра MODIS [2, 3].

Объект исследования

Пожары фиксируются на всех сельскохозяйственных землях России [5]. Этот факт хорошо прослеживается при сравнении карты сельскохозяйственных угодий (рис. 1А) [1] и карт возгораний по годам (рис. 1Б). Плотность пожаров разных регионов России разная. Фактически, количество пожаров зависит от количества сельскохозяйственных полей на единицу площади и типа возделываемых культур. Сжигание растительных остатков

овощных культур нам зафиксировать не удалось. В основном сжигают солому культур сплошного сева и др. зерновых. Общая посевная площадь под зерновые колеблется от 85% на юге (Ростовская область) (рис. 2Б) до 10% на севере (Костромская область) (рис. 2А). При трансекте с севера на юг будет меняться и площадь пожаров и площадь сельскохозяйственных угодий (табл. 3) (рис. 2).

Провести наземные изыскания во всех субъектах Российской Федерации (рис. 1) достаточно сложно, но можно выбрать достаточно представительный регион, в котором площадь сельскохозяйственных угодий меняется в широком диапазоне (рис. 1, 2). Таким регионом является Тульская область (рис. 3). В этом регионе почвенный покров охватывает большинство типов почв, пригодных в России для ведения сельского хозяйства (рис. 3А): подзолистые, серые лесные и черноземы. Регион делится на 23 административных района. Распаханность районов колеблется на 2014 год от 82% (Каменский район) до 12% (Белевский район) (рис. 3Б).

Таким образом, Тульская область является достаточно представительным регионом, где можно определить точность расчета площадей горения при разной степени сельскохозяйственной освоенности, разных сельскохозяйственных культурах и разных почвах.

Сельскохозяйственные угодья Тульской области выбраны объектом исследования для определения точности выявления фактов возгорания по данным MODIS.

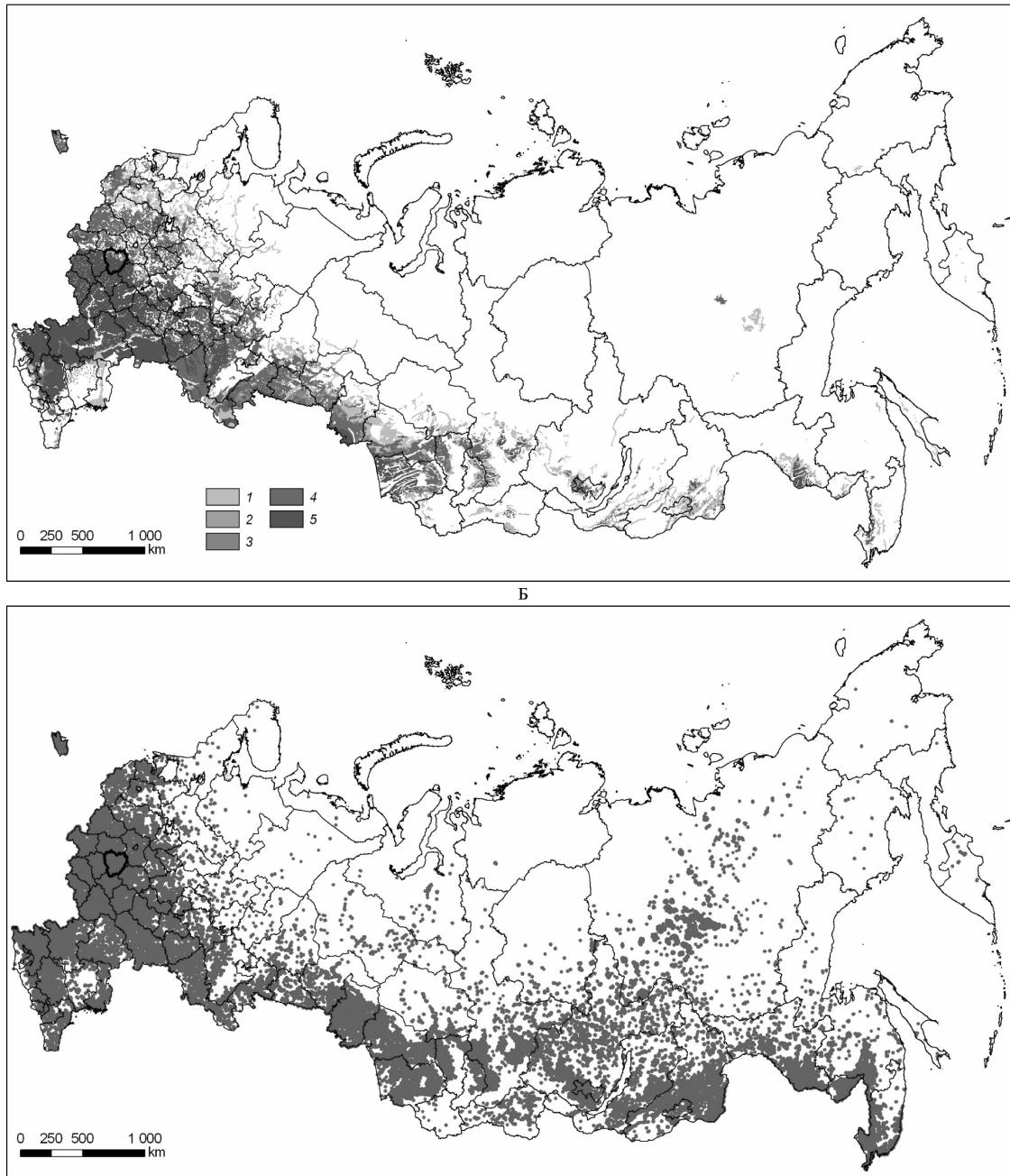


Рис. 1. Распаханность России и распространение пожаров

А: Распространение пахотных земель на территории РФ, процент распашки:

1 – 15%; 2 – 20%; 3 – 25%; 4 – 60%; 5 – 80%.

Б: Распространение точек активного горения на территории РФ по данным MODIS (2014 г.).

Таблица 3

Точки и площади возгорания, в т.ч. на сельскохозяйственных землях для Костромской, Московской и Ростовской областей

Год	Общее количество точек возгорания	Количество точек возгорания на с.х. угодьях по данным MODIS	Из них не попадают на с.х. угодья по схеме полей	Количество точек возгорания на с.х. угодьях по схеме полей	Из них не попадают на с.х. угодья по данным MODIS	Количество дублирующихся фактов возгорания на полях	Количество фактов возгорания полей	Площадь возгорания по схеме полей, га	Площадь возгорания по факту возгорания MODIS, га	Площадь с.х. угодий, га	Площадь с.х. угодий, га
2012	26	17	1	21	8	2	19	1925	1700		
2013	71	46	3	50	7	9	41	3609	4600	700457 (13%)	6009259
2014	145	113	4	133	24	18	115	6925	11300		
2012	112	72	4	76	16	9	65	5662	7200		
2013	135	87	4	114	31	11	103	6560	8700	1534984 (33%)	4698236
2014	925	577	23	791	237	99	692	41508	57700		
2012	1578	1460	149	1369	58	156	1210	116016	14600		
2013	872	809	56	760	28	72	688	61861	80900	6458960 (64%)	10105282
2014	3349	3156	211	3051	105	505	2546	258043	31560		

2015

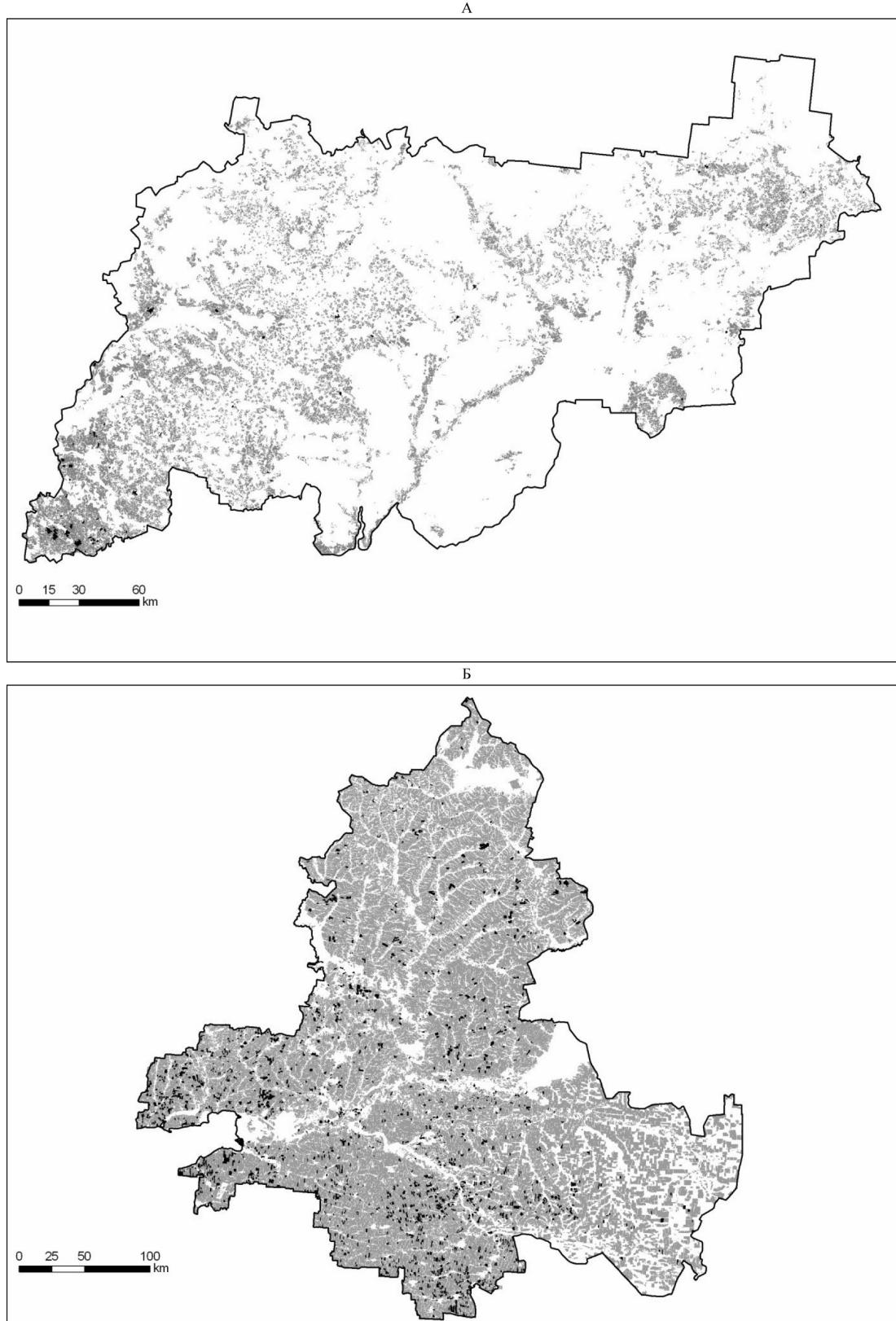


Рис. 2. Сельскохозяйственные угодья и пожары

А: Схема сельскохозяйственных угодий Костромской области.

Черным показаны поля, на которых по данным MODIS зафиксированы возгорания (2010 г.);

Б: Схема сельскохозяйственных угодий Ростовской области. Черным показаны поля,
на которых по данным MODIS зафиксированы возгорания (2010 г.).

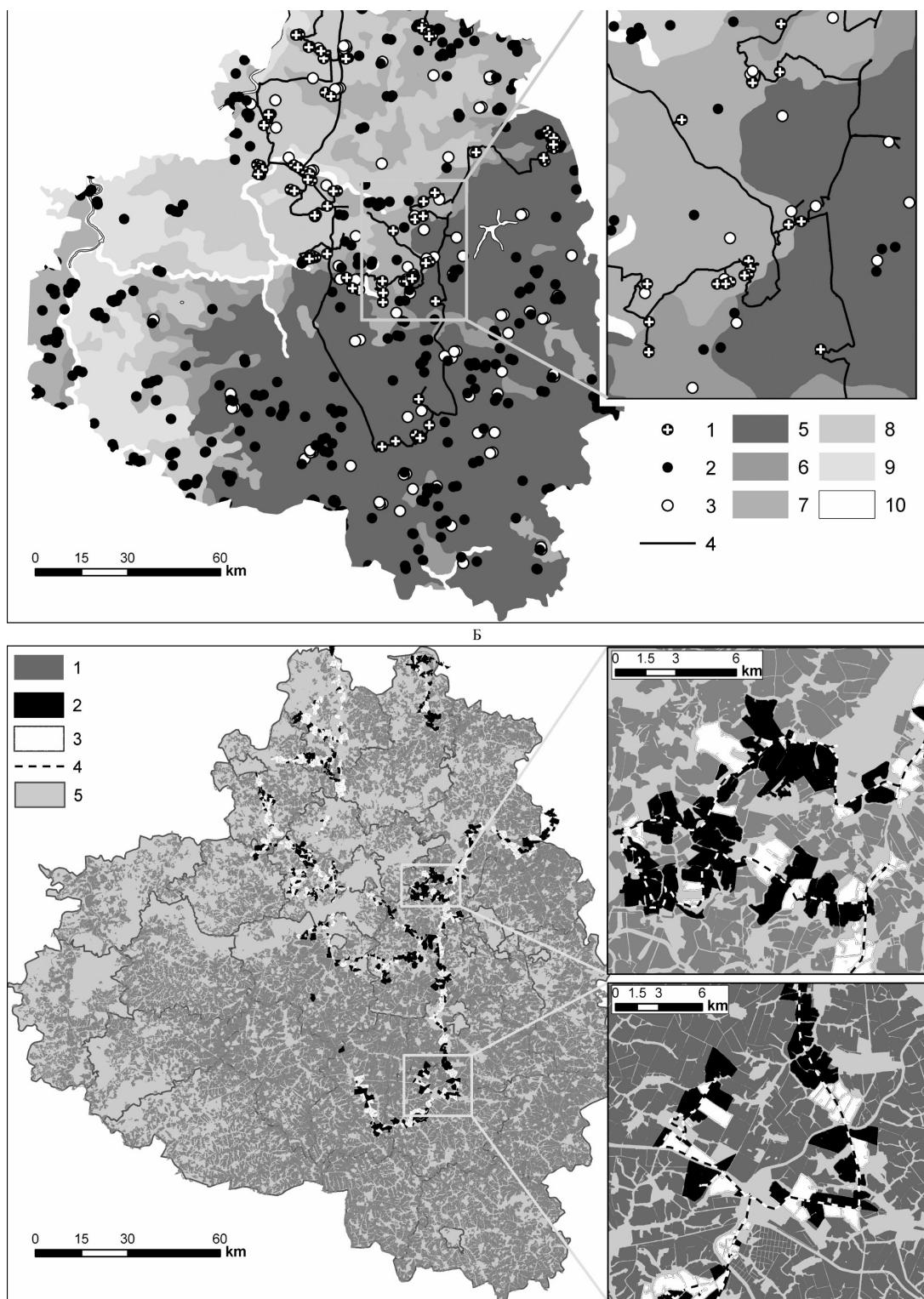


Рис. 3. Карты Тульской области

A: 1 – точки возгорания по MODIS, проверенные во время экспедиции; 2 – все точки возгорания по MODIS 2014 года на начало экспедиции; 3 – точки возгорания по NPP 12–14 апреля 2014 года; 4 – трэк маршрутной экспедиции; 5 – административное деление Тульской области; 6 – черноземы типичные; 7 – черноземы выщелоченные; 8 – темно-серые лесные почвы; 9 – серые лесные почвы; 10 – светло-серые лесные почвы.

Б: 1 – сельскохозяйственные поля; 2 – сгоревшие сельскохозяйственные поля; 3 – несгоревшие сельскохозяйственные поля; 4 – трэк маршрутной экспедиции; 5 – административное деление Тульской области.

Методы исследования

Распределение пожаров в течение года неравномерно (рис. 4А). Для всей территории России характерны два пика сжиганий растительных остатков на полях – весенний и осенний (рис. 4Б). Поскольку сжигания на полях достаточно часто являются частью технологического цикла ведения сельскохозяйственных работ, после сжиганий обычно следует распашка. Обработанные после пожара поля сложны для индикации последствий горения даже наземными методами. Прежде всего, это обусловлено глубиной вспашки, которая составляет, как правило, 25 см. Небольшой слой обугленных растительных остатков и пепла перемешивается с почвенной толщой. При этом определить визуально факт возгорания невозможно даже с расстояния в 5 м. В связи с этим, оптимально провести наземную верификацию с момента начала снижения количества пожаров, но до массовых полевых работ.

Для Тульской области весенний период пожаров более компактен и имеет более выраженный пик сжиганий, чем осенний. Основные сжигания происходят в конце марта и апреле (рис. 4А). Нам удалось провести полевые работы с 15 по 23 апреля 2014 г., что является практически оптимальным периодом для проведения наземного контроля.

Сельскохозяйственная освоенность Тульской области составляет 58% (рис. 3Б). Общее количество сельскохозяйственных полей – 26 826, занимающих площадь 1 489 577 га. С 2003 по 2014 гг. по данным MODIS фиксировалось от 319 до 3966 пожаров в год. Период от окончания массовых пожаров до начала сельскохозяйственных работ составляет не более двух недель. Обследовать все 26 826 объектов в этот период довольно сложно, поэтому исследования были проведены маршрутно (рис. 3, 5). Длина маршрута составила 1008 км. Общая площадь обследованных полей – 68 507 га (4.98% от площади сельскохозяйственных угодий Тульской области). На этой площади на момент проведения экспедиции зафиксировано 92 факта возгорания по MODIS. Кроме данных MODIS верификации подверглись и данные сенсоров спутника Suomi NPP (<http://npp.gsfc.nasa.gov/suomi.html>, <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data>), которых на обследуемую территорию зафиксировано было 29 (рис. 3А).

По маршруту экспедиции обследовано 1481 поле. На этих полях проведено 547 описаний с привязкой по GPS и фотографированием (рис. 5). Точки описания выбирались двумя методами: по координатам пожаров по MODIS и NPP и по непосредственному визуальному обнаружению фактов возгорания или горевших растительных остатков. Для данных MODIS и NPP осуществлялся выход в точку с координатами пожара (рис. 5, 7Б). В случае если следов пожара не было обнаружено в точке, осуществлялся обход всех сельскохозяйственных угодий в радиусе 1 км от координат точки горения. Если в радиусе 1 км обнаруживалось хоть одно горевшее поле, точка MODIS считалась подтвержденной. Независимо

от наличия или отсутствия данных о пожарах с MODIS или NPP, все поля справа и слева от маршрута движения осматривались на предмет наличия продуктов горения.

С учетом возможных пропусков обнаружения следов пожаров велись исключительно наземными методами. В 2014 году на Тульскую область были получены кадры спутника Landsat 8, охватывающие основной период сельскохозяйственных пожаров, на следующие даты: 22 марта, 29 марта, 7 апреля и 9 мая. Результаты наземных исследований были использованы для калибровки дешифровочных признаков прошедших пожаров для Landsat 8 (рис. 5, 6, 7). Выработанные признаки позволили уточнить наличие горевших полей, которые могли быть пропущены при наземной верификации. Пропуски наземной верификации возможны при осуществлении сельскохозяйственных работ на полях после пожара, но до проведения экспедиции.

Результаты работы

Проверка фактов возгорания MODIS

На момент проведения экспедиции по проложенному маршруту зафиксировано по MODIS 92 факта возгорания (табл. 4) (рис. 3А, 4А, 6). Из них 7 фактов (8%) не получили наземного подтверждения. Несколько точек зафиксированы в пределах одних и тех же полей, т.е. идентифицировали одни и те же пожары (рис. 6В). В ряде случаев координата пожара не позволяла четко определить, какое именно поле дало зафиксированный спутником пожар, т.к. в радиусе 500 м находилось несколько горевших полей (рис. 6Б). Всего горевших полей, которые находились в указанном радиусе от 92 точек MODIS – 91.

Проверка фактов возгорания Suomi NPP

По данным спутника Suomi NPP проверялось 29 координат пожаров, полученных с 12 по 14 апреля (рис. 3А). Подтверждены все. С учетом парных координат идентифицированы 28 горевших полей. Из них только 7 совпадают с полями идентифицированными по MODIS.

Сравнение карт горевших полей по MODIS и по наземным изысканиям

Как было указано, всего по маршруту экспедиции в дневное время можно было наблюдать до 1481 отдельных полей (рис. 3Б). Эти поля выделены на карте сельскохозяйственных угодий Тульской области, созданной в масштабе 1:10 000. Таким образом, вдоль маршрута получена карта сельскохозяйственных полей, площадью 68 507 га (табл. 4). Из них наземными наблюдениями выявлено 272 поля со следами возгораний (рис. 3Б, 5). Их общая площадь составила 15 378 га. Так как часть полей горела не полностью, была отмечена фактическая площадь горевших растительных остатков – 13 272 га.

При расчетах по MODIS одна точка горения принимается за одно горевшее поле. Две точки MODIS, стоящие друг от друга менее чем на 500 м и зафиксиро-

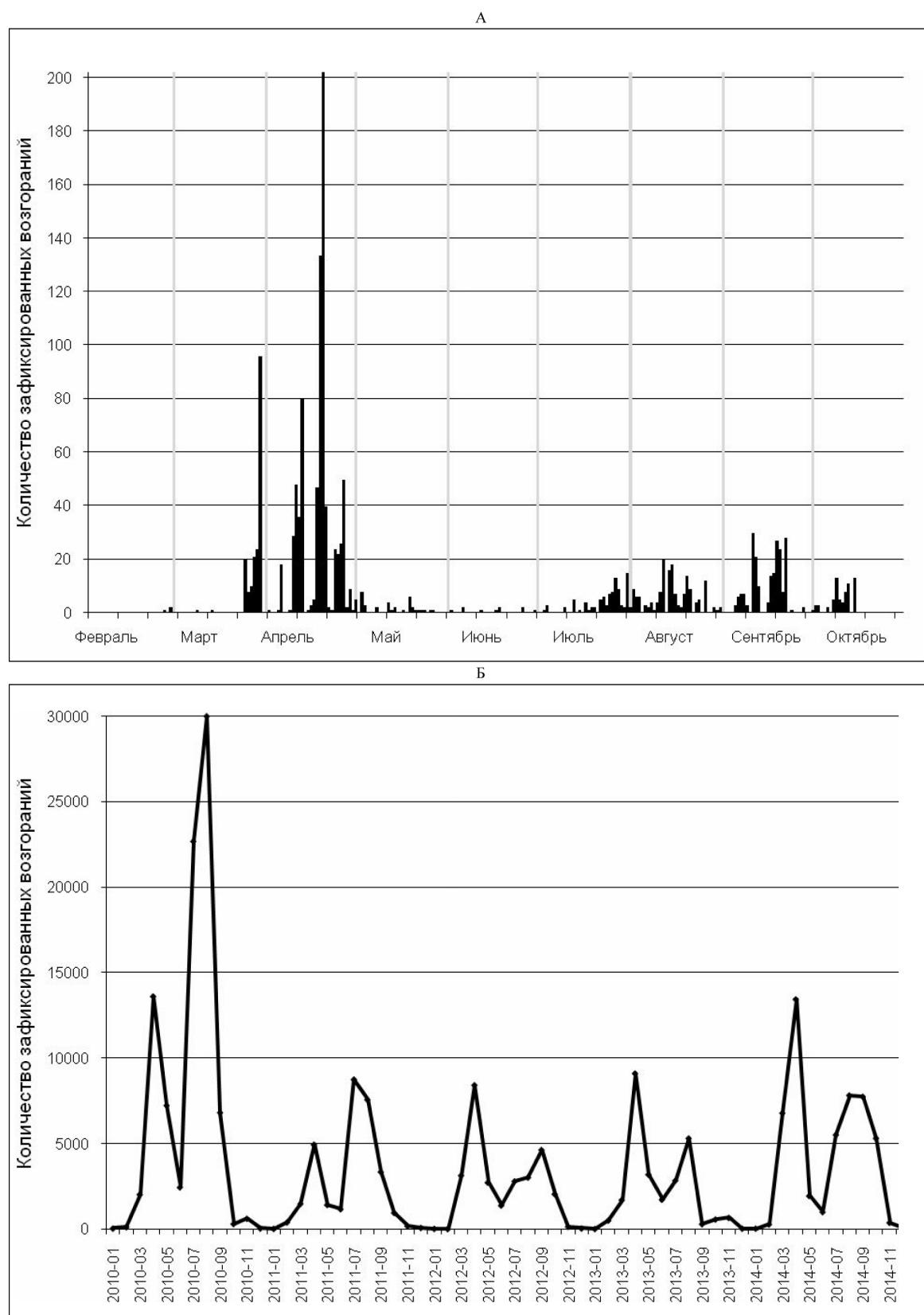


Рис. 4. Графики распределения пожаров во времени

А: Распределение по дням точек активного горения, зафиксированных MODIS в Тульской области (2014 г.).

Б: Распределение по месяцам точек активного горения, зафиксированных MODIS на Европейской части России (2010–2014 гг.).

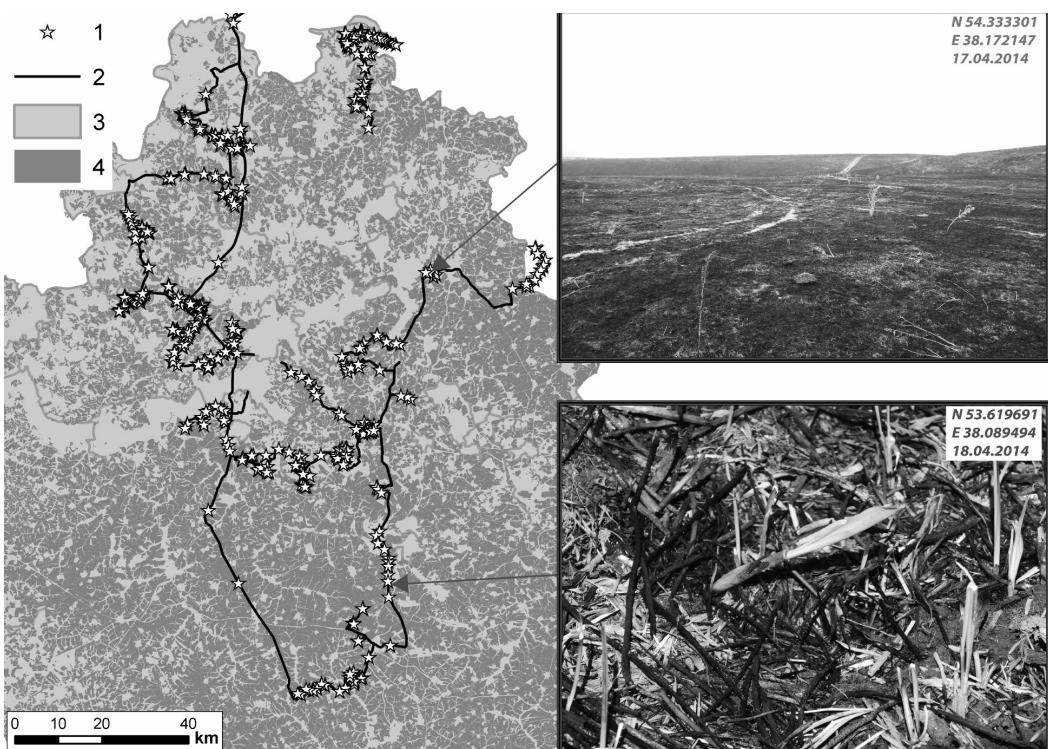


Рис. 5. Маршрут экспедиции и фотофиксация фактов возгорания
1 – точки обследования (фиксация фактов возгораний); 2 – трэк маршрутной экспедиции;
3 – административное деление Тульской области; 4 – сельскохозяйственные поля.

рованные на близкие даты, считались за одну точку горения или одно сгоревшее поле (рис. 6В). Поле считалось сгоревшим, если координата возгорания по MODIS попадала непосредственно в поле или относилась к ближайшему полю, если расстояние до него не превышало 500 м (рис. 6Г). Таким образом, 92 точки горения дают при автоматическом дешифрировании на карте 81 сгоревшее поле с площадью 7701.8 га. Т.е., MODIS фиксирует не более трети фактов возгорания или половины реальной площади распространения пожаров (рис. 6А).

Сравнение карт сгоревших полей по MODIS и по дешифрированию данных Landsat 8, калиброванных наземно

Часть полей по маршруту экспедиции могла быть пропущена при визуальном наблюдении. Но наличие 272 точек зафиксированных пожаров с фотографированием сожженных пожарных остатков позволило провести калибровку дешифровочных признаков следов возгораний для Landsat 8. Помимо следов пожаров, по изображениям Landsat можно зафиксировать и непосредственное горение на момент съемки (рис. 7). Дешифрованием получена еще одна карта сгоревших сельскохозяйственных угодий. Карта получена выделением по данным Landsat сгоревших угодий на обследуемой территории (1481 поле). Всего дешифрировано 498

горевших полей на площади 23 813.19 га. Т.е., удалось зафиксировать еще 126 пожаров, следы которых были запаханы к моменту проведения экспедиции.

Обсуждение

За весенний период по май 2014 года по маршруту обследования горело по результатам изысканий до 498 полей из 1481 возможного. При этом сенсоры спутников TERRA и AQUA зафиксировали только 92 пожара. Такое занижение количества пожаров можно объяснить несколькими факторами:

1. Для фиксации пожара по яркостной температуре, в пикселе площадью в 1 км² должно гореть минимум 1 га [3–5, <https://earthdata.nasa.gov/data/near-real-time-data/firms>]. Средний размер поля в Тульской области 55 га. Поля в подавляющем числе случаев являются прямоугольными, т.е. имеют ширину порядка 500 метров. В таком случае для фиксации пожара полоса огня должна составлять в глубину (перпендикулярно фронту огня) не менее 2 м. Т.е. горящие поля с площадью больше среднего должны фиксироваться, а меньше среднего могут быть пропущены. Именно этим можно объяснить тот факт, что если по фактам возгорания MODIS занижает пожары в 5.4 раза, то по площади сгоревших угодий в 3 раза.

Сводная таблица оценки достоверности точек возгорания MODIS и площадей возгораний на сельскохозяйственных землях

Данные полевого обследования по Тульской области			
Длина маршрута:	1008 км		
Точек описания:	547		
<i>Точек MODIS обследовано:</i>			
- всего:	92		
- подтверждено:	85		
- ложных срабатываний:	7		
<i>Точек NPP обследовано:</i>			
- всего:	29		
- подтверждено:	29		
Кол-во обследованных контуров полей, шт:	1481 (4,91% от общ. № полей области)		
Общая площадь обследованных полей, га:	68506.9 (4,98% от общ. S полей области)		
<i>Сгоревших полей:</i>	<i>№ контуров, шт.</i>	<i>S, га</i>	<i>S реальн., га</i>
- сгоревших полностью	205	10003.3	
- горевших во время обследования	29	1636.9	
- сгоревших частично (на 50%)	23	2958.7	1479.4
- сгоревших по краю (на 20%)	15	779.4	155.9
- всего:	272	15378.3	13275.5
<i>Сгоревших полей, подтверждавших данные MODIS</i>	<i>№ контуров, шт.</i>	<i>S, га</i>	<i>S реальн., га</i>
- сгоревших полностью	72	4452.9	
- сгоревших частично (на 50%)	14	1765.2	882.6
- сгоревших по краю (на 20%)	4	170	34
- всего:	90	6388.1	5369.5
<i>Сгоревших полей, подтверждавших данные NPP</i>	<i>№ контуров, шт.</i>	<i>S, га</i>	<i>S реальн., га</i>
- сгоревших полностью	24	1714.7	
- сгоревших частично (на 50%)	1	271.8	135.9
- сгоревших по краю (на 20%)	3	36.6	7.32
- всего:	28	2023.1	143.22
<i>Сгоревших полей, подтверждавших и MODIS и NPP</i>	<i>№ контуров, шт.</i>	<i>S, га</i>	<i>S реальн., га</i>
- сгоревших полностью	7	734.3	
- сгоревших частично (на 50%)	0	0	0
- сгоревших по краю (на 20%)	0	0	0
- всего:	7	734.3	734.3
Данные полученные по методике расчета пожаров по MODIS по маршруту обследований			
<i>Сгоревших полей:</i>	<i>№ контуров, шт.</i>	<i>S, га</i>	
- сгоревших полностью	81	7701.8	
Разница данных по обследованию и методике	<i>№ контуров, шт.</i>	<i>S, га</i>	
	191 (70%)	5573.7	
Данные полученные по методике расчета пожаров по MODIS по Тульской области за 2014г.			
<i>Сельскохозяйственных полей</i>	<i>№ контуров, шт.</i>	<i>S общая, га</i>	
	30133	1376597	
<i>Сгоревших полей:</i>	<i>№ контуров, шт.</i>	<i>S общая, га</i>	<i>% от Snолей</i>
- сгоревших полностью	1260	126265	9.17
Данные полученные при дешифрировании снимков Landsat			
<i>Сгоревших полей:</i>	<i>№ контуров, шт.</i>	<i>S, га</i>	<i>S реальн., га</i>
- сгоревших полностью	315	17335.2	
- горевших во время обследования	17	632.3	
- сгоревших частично (на 50%)	121	10550.4	5275.2
- сгоревших по краю (на 20%)	45	2852.45	570.49
- всего:	498	31370.35	23813.19

2. Сельскохозяйственный пожар явление скоротечное. Он может длиться несколько часов, а при среднем ветре закончится в течении часа. За сутки TERRA и AQUA четыре раза пролетают над одной и той же территорией (два раза каждый). Т.е. пожар может начаться и закончиться между появлениями спутников. Это можно показать на данных AQUA и TERRA. 92 точки возгорания складываются из 54 по AQUA и 38 по TERRA. Из них только пять пар точек попадает на одни и те же поля, т.е. фиксируют одни и те же пожары. Если убрать дублирующие точки, то можно считать, что 38 пожаров TERRA дополняют 49 пожаров AQUA. Один спутник мог занизить данные по пожарам в два раза.

Периоды обращения TERRA, AQUA и NPP очень близки – 98–101 минута при ширине захвата 2330–3000 км. Но время прохождения над одной и той же точкой поверхности Земли разное (между TERRA и AQUA около двух часов).

Suomi NPP из 29 точек пожаров дал только 7 на тех же полях, что и MODIS. Данные NPP получены в период с 12 по 14 апреля. В этот же период по данным MODIS зафиксировано 34 пожара (TERRA – 13, AQUA – 21). Если отбросить 7 пожаров, которые NPP зафиксировал

на тех же полях, что и MODIS, то добавлены 22 новых пожара (не зафиксированных MODIS). Практически, на текущий момент, количество пожаров, зафиксированных на сельскохозяйственных землях России по данным спутниковой съемки, прямо пропорционально количеству спутников на орбите, которые ведут ежедневную съемку в термальных каналах.

3. Плотный облачный покров практически полностью маскирует сельскохозяйственные пожары. За время исследования при облачности от 80 до 100% по MODIS не зафиксировано ни одного пожара на сельскохозяйственных землях (табл. 5). Если сравнить данные TERRA, AQUA и NPP за период с 12 по 14 апреля, то все пожары всеми тремя спутниками зафиксированы 12 и 13 числа, т.к. 14-го облачность превысила 80%.

Расчет площади горения по площади пикселя MODIS (1 км²) дает 92 км² пожаров. Реально точки MODIS попадают на 81 горевшее поле с площадью 64 км². Это легко объясняется размерами полей, которые MODIS фиксирует при пожарах – 79 га. Полей, площадью 1 км² и больше, в Тульской области практически нет.

Наземные обследования зафиксировали 272 горевших поля при 498 полях, зафиксированных всеми методами, включая дешифрирование Landsat.

Таблица 5

Облачность и количество осадков на территории маршрутной экспедиции

а) 1–23 апреля 2014 года:

Дата	Кол-во точек MODIS (TERRA)	Облачность, %	Осадки, мм
23.04	1	61.80	1.98
22.04	0	98.68	0.67
21.04	18	9.27	0.00
20.04	84	0.00	0.00
19.04	40	2.56	0.00
18.04	19	19.46	0.00
17.04	0	50.05	0.00
16.04	3	44.56	1.33
15.04	1	73.85	1.68
14.04	0	100.00	0.77
13.04	42	21.81	5.16
12.04	12	0.09	0.00
11.04	21	0.00	0.00
10.04	12	6.25	0.00
9.04	1	99.91	0.92
8.04	0	100.00	2.86
7.04	4	55.98	0.30
6.04	0	64.42	0.00
5.04	1	32.02	0.00
4.04	0	91.71	2.83
3.04	0	95.83	0.00
2.04	1	25.35	0.50
1.04	0	98.47	0.36
среднее		50.09	0.84

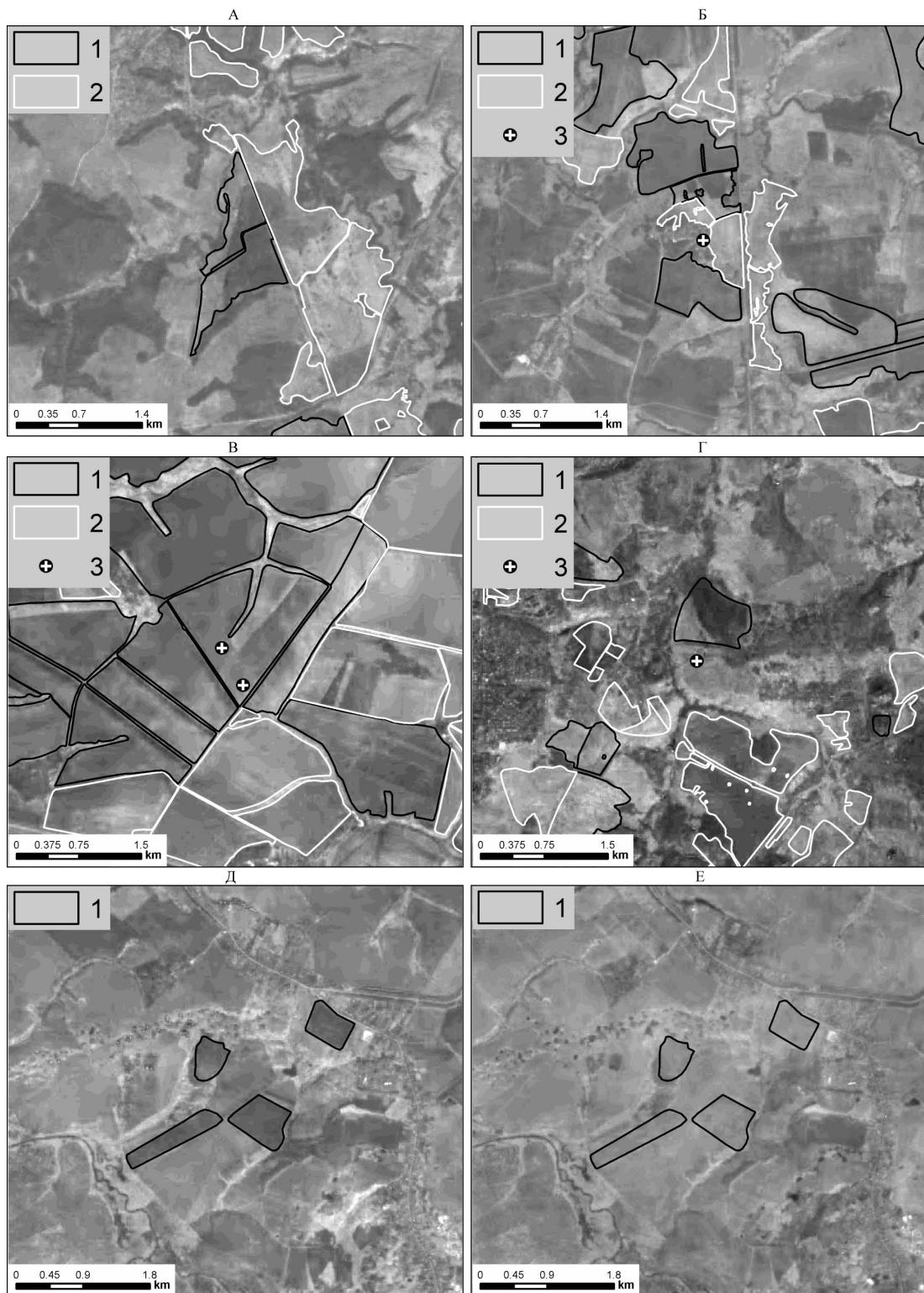


Рис. 6. Использование снимков Landsat для проверки фактов возгораний и следов возгораний:
1 – сгоревшие сельскохозяйственные поля; 2 – несгоревшие сельскохозяйственные поля; 3 – точки возгорания по MODIS;

А: Фрагмент снимка Landsat от 29.03.2014. Есть возгорание, нет точек MODIS.

Б: Фрагмент снимка Landsat от 29.03.2014. Одна точка MODIS на несколько сгоревших полей.

В: Фрагмент снимка Landsat от 29.03.2014. Несколько точек MODIS на одном сгоревшем поле.

Г: Фрагмент снимка Landsat от 29.03.2014. Подтверждённая точка MODIS за границей сгоревшего поля.

Д: Пример маскирования следов возгорания со временем на снимках Landsat. Слева – фрагмент снимка Landsat от 29.03.2014, справа – фрагмент снимка Landsat от 07.04.2014.



Рис. 7.Наблюдение фронта огня.

A: На фрагменте снимка Landsat от 29.03.2014.

Синтезированное изображение (синтез каналов 7-4-2).

B: Фотография фронта огня.

6) 1–31 марта 2014 года:

Дата	Кол-во точек MODIS (TERRA)	Облачность, %.	Осадки, мм
31.03	0	96.90	2.88
30.03	41	7.50	0.00
29.03	10	0.14	0.00
28.03	15	0.78	0.00
27.03	2	0.00	0.00
26.03	3	40.43	0.00
25.03	1	0.00	0.00
24.03	0	35.37	0.00
23.03	0	1.72	0.00
22.03	0	24.83	0.00
21.03	0	100.00	0.00
20.03	0	100.00	3.47
19.03	0	100.00	2.99
18.03	0	95.48	0.00
17.03	0	100.00	1.45
16.03	0	99.88	2.67
15.03	0	81.98	2.81
14.03	1	12.45	0.00
13.03	0	64.67	0.00
12.03	0	75.62	0.00
11.03	0	45.97	0.00
10.03	0	56.70	0.00
9.03	0	91.93	0.00
8.03	0	77.11	0.45
7.03	0	94.77	0.00
6.03	0	99.76	0.00
5.03	0	100.00	0.00
4.03	0	100.00	2.34
3.03	0	100.00	1.65
2.03	0	99.99	0.92
1.03	0	93.08	0.53
среднее		64.42	0.72

Основная причина заключается в том, что основные временные пики сжиганий неодинаковы для севера и юга области. Поджоги начинаются в южных регионах, а заканчиваются в северных. Как результат, часть полей на юге к моменту проведения экспедиции была запахана и не обнаруживалась визуально. Подтверждением этого является и тот факт, что на снимках Landsat, сделанных 7 апреля, часть горевших полей, четко дешифрируемых по снимку 29 мая, не дешифрируется как горевшие вследствие распашки (рис. 6Д, Е).

Из сказанного следует, что для определения реальной площади сельскохозяйственных пожаров нужно рекомендовать комплексный подход на основе данных MODIS, NPP, Landsat и наземных изысканий. Расчет

же просто по данным MODIS дает большую ошибку.

Нам кажется, что для расчетов можно использовать поправочные коэффициенты. Для таких расчетов необходимо иметь координаты пожаров по MODIS и маску полей региона в масштабе 1:10 000. При таком подходе по MODIS мы получаем реально горевшие поля, площадь которых в несколько раз меньше реальной площади возгораний на сельскохозяйственных землях (для Тульской области в 3 раза).

Заключение

Существующая в настоящий момент и широко используемая для мониторинга пожаров стандартная мето-

дика дешифрирования данных радиометров MODIS не дает объективной информации о пожарах на сельскохозяйственных землях России. Единственное, что можно утверждать по этим расчетам, – что пожаров на территории России не меньше, чем указывает методика. Фактически же методика дает относительно небольшое количество ошибок первого рода (порядка 8%), но ошибки второго рода достигают 500%. При расчетах площадей горения ошибку второго рода можно сократить до 300% при использовании схемы полей в масштабе 1:10 000. Радикальное повышение точности возможно только при комплексном подходе, продемонстрированном в данной статье. Без внедрения такового подхода, в работах необходимо давать оценку точности определения количества пожаров. С учетом систематического занижения количества пожаров на сельскохозяйственных землях, необходимо указывать, что реальное количество превосходит данные методики в три–четыре раза.

Выводы

1. Факты возгорания фиксируемые на сельскохозяйственных землях дешифрированием сенсора MODIS со спутников TERRA и AQUA дают 8% ложных срабатываний.

2. Количество пожаров на сельскохозяйственных землях фиксируемых дешифрированием сенсора MODIS со спутников TERRA и AQUA в 5.5 раз ниже реального количества сельскохозяйственных палов.

3. Площадь пожаров, определяемая пересечением координат пожаров, полученных дешифрированием сенсора MODIS со спутников TERRA и AQUA, и маски сельскохозяйственных угодий масштаба 1:10 000, ниже реальной площади сгоревших угодий в 3 раза.

4. При любых расчетах, использующих количество или площадь пожаров по MODIS на сельскохозяйственных землях, необходимо вводить поправочные коэффициенты.

5. Совместное использование данных спутников MODIS TERRA, AQUA и Suomi NPP позволяет уменьшить ошибку вычисления количества пожаров и площади горения.

6. Наличие безоблачных еженедельных снимков Landsat или аналогичных позволяет дешифровать реальную площадь возгораний на сельскохозяйственных землях.

Литература

1. Земельные угодья СССР – 1:4 000 000, отв. ред. Л. Ф. Январева – М.: ГУГК, 1991
2. Giglio, L. MODIS collection 5 active fire product user's guide: Version 2.4, edited [Электронный ресурс] / L. Giglio. – University of Maryland, 2010. – Режим доступа: http://www.fao.org/fileadmin/templates/gfims/docs/MODIS_Fire_Users_Guide_2.4.pdf, свободный. – Загл. с экрана.
3. An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS / L. Giglio [et al.] // Remote Sensing of Environment. – 2003. – No. 87. – P. 273–282.
4. Global estimation of burned area using MODIS active fire observations / L. Giglio [et al.] // Atmospheric Chemistry and Physics. – 2006. – No. 6. – P. 957–974.
5. Multi-year black carbon emissions from cropland burning in the Russian Federation / J.L. McCarty [et al.] // Atmospheric Environment. – 2012. – No. 63. – P. 223–238.