

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ ПОЖАРОВ В АРИДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ПО МАТЕРИАЛАМ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ (НА ПРИМЕРЕ ЧЕРНЫХ ЗЕМЕЛЬ)¹

© 2010 г. М.Ю. Дубинин*, А.А. Луцкекина**, Ф.К. Раделоф*

**Университет Висконсин-Мэдисон*

США, 53705, Linden Drive 1630, Madison, WI. E-mail: dubinin@wisc.edu

***Учреждение Российской академии наук*

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН

Россия, 119071 Москва, Ленинский проспект, д. 33. E-mail: rusmabcom@gmail.com

Реферат. Процессы горения растительности – важный компонент динамики травянистых аридных экосистем. Понимание влияния пожаров на различные компоненты аридных экосистем необходимо для научных, природоохранных и управленческих задач и требует подробной оценки процессов горения с высоким пространственным и временным разрешением. Это исследование представляет метод и описание данных, которые можно использовать для проведения подобной оценки динамики пожаров. Описана пространственно-временная динамика пожаров района Черных земель. Показана сильная распространенность пожаров, их сильную межгодовую изменчивость, кластеризацию в пространстве и доминирование больших пожаров.

Ключевые слова: аридные экосистемы, пожары, дистанционное зондирование, Черные земли.

Динамика пожаров является неотъемлемой составляющей функционирования аридных экосистем. Меньшая, по сравнению со степными и лесными экосистемами сомкнутость и биомасса растительного покрова ведет к относительно меньшей интенсивности пожаров, количество парниковых газов, выделяемых при горении сравнительно невелико (Van der Werf et al., 2006). Однако пожары оказывают значительное влияние на растительность и фауну аридных экосистем, в частности, на состав и численность населения грызунов (Шилова и др., 2007), распространение чужеродных видов (Brooks et al., 2004). Активные процессы горения травянистых экосистем и сопутствующее задымление могут стать причиной изменения путей миграции птиц (например, гусеобразных, Северный Казахстан (Koshkina, 2009), на несколько порядков повышать содержание диоксида и монооксида углерода в воздухе и за счет атмосферных переносов влиять на прозрачность атмосферы – вплоть до Шпицбергена (Stohl et al., 2007; Warneke et al., 2009).

Частота и широта распространения пожаров обуславливаются наличием и доступностью горючего материала и источников возгорания. Засушливые экосистемы, как правило, менее фрагментированы, чем степные и лесные, за счет относительно слабого развития хозяйственной инфраструктуры и менее значительных площадей сельскохозяйственных угодий. Меньшее количество искусственных и естественных преград (например, дорог, водотоков) способствует значительным по площади пожарам. Другим важным фактором,

¹ Работа выполнена при поддержке проектов: NASA – "Land-Cover and Land-Use Change Program" и NASA – "Earth System Science Dissertation Fellowship" (07-Earth07F-0053), а также в рамках проекта П.10 по программе фундаментальных исследований ОБН РАН "Биологические ресурсы России: оценка состояния и фундаментальные основы мониторинга".

способствующим распространению обширных пожаров, является запас и сомкнутость травостоя (Иванов, 1952; Родин, 1981). Сокращение пастбищной нагрузки вызывает постепенное увеличение сомкнутости травостоев и биомассы, которая, в свою очередь, является основным ресурсом горения. Таким образом, увеличение сухой биомассы в связи со сниженной пастбищной нагрузкой может приводить к росту сгоревших площадей. В то же время роль климата в объяснении динамики пожаров динамики в сезонно-засушливых экосистемах, как правило, вторична (Meun et al., 2007). Увеличение площадей пожаров после смен землепользования не одномоментно. Восстановление экосистемы до уровня, когда могут возникать и повторяться масштабные пожары, может занять 5 и более лет, и требует особого сочетания растительности, особенностей климата и динамики природопользования (Dubinin et al., 2010; Зонн, 1995).

Комплексные исследования растительности в сухих степях и полупустынях невозможны без понимания пространственно-временной динамики пожаров (Опарин, Опарина, 2003). Системное изучение влияния пожаров на компоненты экосистем требует данных о распространении пожаров с высоким пространственным и временным разрешением. При отсутствии подробных оценок горимости достаточно сложно говорить насколько типичны связанные с горением процессы, такие как смены растительности пирогенного характера. Исследования влияния пожаров на растительность предоставляют важную экспериментальную информацию, но из-за их трудоемкости часто ограничиваются одним или несколькими участками (Малышева, Малаховский, 2000) и в связи с этим, не позволяют произвести адекватной статистической оценки и склонны к неоправданной генерализации (Козлов, 2003).

Растительность Северо-Западного Прикаспия, в частности, Черных земель – района, где мы проводили свои исследования, в последние двадцать лет претерпевает существенные изменения, в основном, выражающиеся в увеличении доли злаков и сокращении площадей, занятых полыньниками (Маштыков, Очирова, 2005; Шилова и др., 2007). Активные процессы горения, так же имеющее место на данной территории, могут свидетельствовать о существовании положительной обратной связи между ними и изменением растительности. Виды, неустойчивые к пожарам, уступают место видам, более к ним устойчивым. Помимо этого изменения растительности также зависят от частоты пожаров, охватывающих одну и ту же территорию (Опарин, Опарина, 2003).

Несмотря на важную экосистемную роль процессов горения, происходящих на территории Черных земель, подробных численных оценок их пространственных и временных характеристик до сих пор произведено не было. Научная оценка динамики пожаров этого района ограничивается единственной работой (Буваев, 2002), имеющей ряд серьезных недостатков, в том числе, ограниченный временной интервал (только за 2002 г.), за который была произведена оценка. Столь узкое временное разрешение работы не позволяет делать выводы о долгосрочных изменениях динамики пожаров. Также в статье не приводится методология, в соответствии с которой производилось картирование пожаров, а результаты анализа (ГИС-слои) отсутствуют в открытом доступе. Тем не менее, методология, представленная в работе Д.А. Буваева (2002), отражает широко используемые подходы к оценке пожарной динамики экосистем по всему миру (Arino et al., 2001), которые могут быть применены для создания адекватных наборов данных о пожарной динамике аридных экосистем.

Современные средства дистанционного зондирования земной поверхности позволяют достаточно быстро и эффективно получать и обрабатывать данные дистанционного зондирования для восстановления временной и пространственной пожарной динамики практически любой территории земного шара. Средства дистанционного мониторинга пожаров разделяются на две группы: мониторинг активно горящих участков (оперативный) и

мониторинг уже сгоревших территорий. Каждая из этих групп характеризуется своими особенностями выделения участков, охваченных пожарами, имеет свои достоинства и недостатки, использует различные базовые данные. Для идентификации пожарных явлений могут использоваться автоматические, полуавтоматические методы, а также визуальное или ручное дешифрирование, применение которого позволяет получить качественный результат (Bowman et al., 2002).

В данной работе мы рассматриваем временной и пространственный режимы горения региона Черных Земель на территории Республики Калмыкия и Астраханской области. Задачи данной работы: 1) восстановить динамику пожаров региона Черных Земель с 2000 по 2009 гг., 2) оценить общую и межгодовую изменчивость появления пожаров, 3) оценить пространственное распределение частоты горения (интервал возврата пожара). Особо отметим, что целью данной работы не является выявление движущих факторов оцениваемой динамики пожаров, однако, мы планируем остановиться на этом вопросе в следующих публикациях.

Методы исследования

Территория исследования расположена в Северо-Западном Прикаспии на правом берегу р. Волга и охватывает регион Черных земель (три административных района Республики Калмыкия: Черноземельский, Яшкульский, Юстинский, а также степные участки Енотаевского и Наримановского районов Астраханской области). Общая площадь территории исследования составляет 4.5 млн га. и полностью включает степной участок Государственного природного биосферного заповедника (ГПБЗ) «Черные земли» и его буферную зону, а также пограничный с заповедником заказник «Степной» / «Тингута». Район исследования представляет собой суббореальную пустыню на песках морского происхождения, где доминирующими растительными группировками являются лерхополынные, тырсовые, осочково-тырсовые сообщества. Выбранный район работ в целом соответствует контуру растительного региона «Пустыни равнинные северные», согласно карте Растительности СССР (1990) с масштабом 1: 4000000.

Период исследования. Оценка пожарной динамики была произведена за 2000-2008 гг. Выбор периода исследования обоснован доступностью за этот период данных дистанционного зондирования. Картирование сгоревших территорий производилось ежегодно с начала мая до конца сентября, охватывающий период сезонного минимума осадков (летняя засуха), когда в районе работ отмечается основное количество пожаров (Carmona-Moreno et al., 2005).

Данные. Для восстановления пожарной динамики территории исследования нами были использованы архивные данные дистанционного зондирования, полученные с помощью камеры MODIS ИСЗ TERRA, а также три продукта на базе данных MODIS: продукты первого уровня обработки, получаемые в автоматическом режиме на базе исходного потока данных MOD2QM и MOD1KM – данные отражения 250 и 1000 метрового разрешения, соответственно, а также производный продукт второго уровня обработки MOD14A1 – данные о локализации очагов активного горения. Данные MOD2QM представлены двумя спектральными диапазонами: 620-670 нанометров (красный), 841-876 (ближний инфракрасный). Данные MOD1KM содержат информацию в 28 спектральных диапазонах. Все данные MODIS доступны на бесплатной основе через интернет. Источником данных первого уровня обработки является Система Архивирования и Распространения Данных Первого Уровня Обработки и Атмосферных Данных (Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System – LAADS, <http://gis-lab.info/qa/laadsweb.html>), второго уровня обработки - Поисковая Система Инвентаризации (Warehouse Inventory Search Tool – WIST, [АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2010, том 16, № 3 \(43\)](http://gis-</p></div><div data-bbox=)

lab.info/qa/wist.html). Данные обеих уровней обработки доступны практически ежедневно, за исключением дней с сильной облачностью. Для каждого года в течение периода исследования было получено в среднем 75 изображений (от 50 до 103 изображений).

Использование свободно доступных данных обуславливает достаточно легкое продолжение временной серии динамики пожаров района исследования в последующие годы, а при необходимости также и расширение района исследования.

Проверка данных картирования осуществлялась с помощью данных об очагах горения, полученных с помощью радиометра MODIS, базирующегося на спутниках TERRA и AQUA – MOD14A1/MYD14A1. Этот продукт представляет площади высокотемпературных аномалий («очагов» горения), к которым чувствительны 3960 и 11000 нанометровые спектральные диапазоны съемки (21, 22, 31 каналы) радиометра MODIS (Justice et al., 2002). Несмотря на то, что эти данные не дают четкого представления о площади сгоревших территорий, они могут использоваться для проверки последних. Данные MOD14A1 позволяют идентифицировать очаги пожаров с достаточной высокой (до 80%) степенью достоверности (Hawbaker et al., 2008). Опосредованная проверка результатов также производилась с помощью официальных данных по пожарам, полученных из Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Калмыкия. Официальные данные не позволяют произвести точную проверку полученной со спутников информации по причине того, что не все пожары были учтены, однако они дают возможность оценить тенденции.

Подготовка данных. Для последующего дешифрирования были отобраны безоблачные снимки. На основе продуктов MODIS и MOD1KM были созданы композитные трехканальные изображения RGB. В качестве синего и зеленого канала были использованы 250-метровые красный и ближний инфракрасный каналы MOD2QKM, а для красного канала был выбран один из тепловых каналов MODIS из продукта MOD1KM (31 канал, 10780-11280 нм). Использование теплового канала позволило произвести более точное разделение водных объектов, теней от облаков и сгоревших территорий.

Для проверки из MOD14A1/MYD14A1 были извлечены данные о дате и величине активного очага пожара. Все данные были географически привязаны в равновеликую проекцию Альберса с помощью программных пакетов MODIS Reprojection Tool Swath и MODIS Reprojection Tool (https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/tools/modis_reprojection_tool).

Дешифрирование. Восстановление границ сгоревших территорий производилось по временным сериям данных MODIS. Высокое временное разрешение (практически ежедневная съемка), позволило с высокой степенью точности идентифицировать сгоревшую территорию по следующим признакам: а) наличие слепожарной сажи, поглощающей солнечную радиацию во всех диапазонах и выражающейся визуально, как темные пятна, б) наличие поверхности без растительности там, где она присутствовала несколько дней назад, в) четкое ограничение области пожара объектами линейной инфраструктуры, часто останавливающими распространение огня (рис. 1). В ряде случаев сгоревшие территории не могут быть идентифицированы только по наличию слепожарной сажи, т.к. она может быть удалена за счет выветривания или вымывания.

Несмотря на хорошее спектральное и временное разрешение данных MODIS, дешифрирование пожаров в этом и других районах может быть связано с некоторыми сложностями. Главными препятствиями являются сильная облачность, сложность выделения пожаров слабой интенсивности, не приводящих к удалению растительности на значительной площади.

Результаты дешифрирования были проверены с помощью полигонального слоя активных пожаров. Для определения точности использовались центроиды полигонов с высоким уровнем достоверности температурных аномалий. Было рассчитано процентное отношение попадания очагов горения в контур сгоревшей территории. Данный способ проверки дает

представление об ошибке из-за пропущенных пожаров (ошибка недооценки), но не дает возможности оценить возможную переоценку.

Анализ. Полученные границы сгоревших территорий использовались для расчета площадей и временного распределения пожаров по годам и за весь период. Площади территорий рассчитывались в равноплощадной проекции Альберса (стандартный меридиан 45, первая стандартная параллель 52, вторая стандартная параллель 64). Для определения распределения территорий по площади и числу пожаров, сгоревшие территории были разбиты на восемь размерных классов от территорий меньше 10, до территорий больше 250 тыс. га. Для определения периодичности горения территории за период исследования все полигоны были разбиты по границам на уникальные (непересекающиеся) и произведена выборка по их центроидам уникальных полигонов из исходных границ сгоревших территорий в Arcinfo Workstation/Arcview GIS для получения информации о том, сколько раз горел конкретный контур за период исследования.

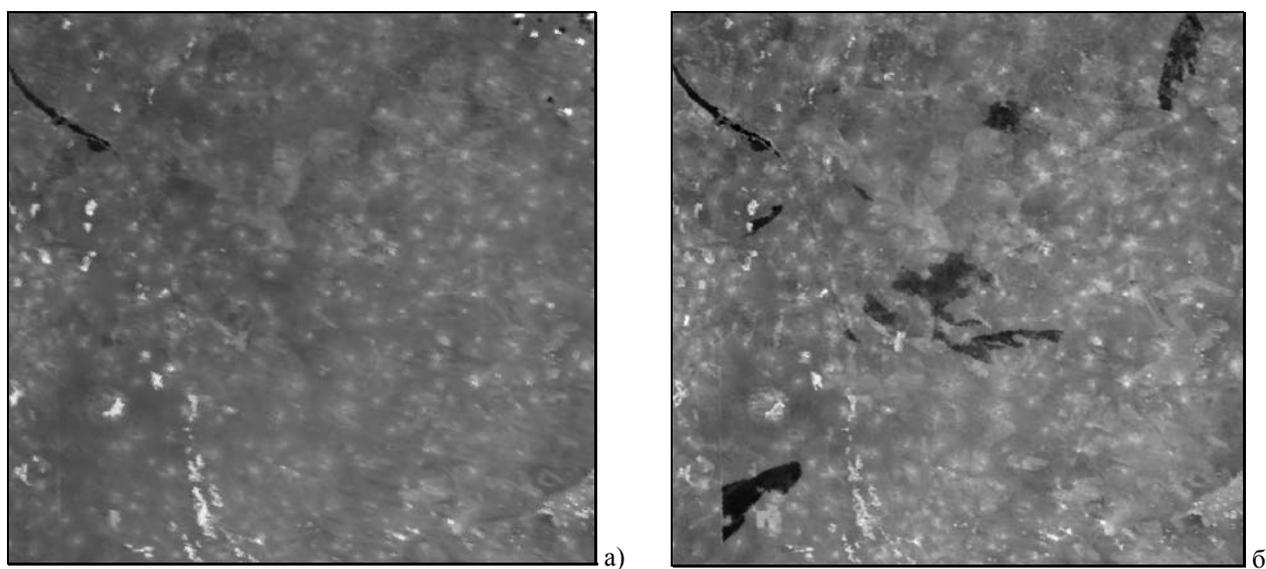


Рис. 1. Пример сгоревших территорий в период с 16 июля по 5 августа 2005 г.: а) изображение камеры MODIS до (6 июня 2005 г.) и б) – после пожара (7 августа 2005 г.). Участок Яшкульского и Юстинского районов Республики Калмыкия. **Fig. 1.** Example of burned area burned during July, 16th – August, 5th period: а) – before (June 6th, 2005), б) – after fire (August 7th, 2005) MODIS image. Showing portion of Yashkulsy and Ustinsky region of Republic of Kalmykia.

Мы также сравнили общую тенденцию изменения расчетных площадей с официальными данными МЧС России.

Результаты

В период с 2000 по 2008 гг. в районе исследования в общей сложности сгорело 2790 тыс. га; с учетом повторяемости пожаров общая сгоревшая площадь составила 1288 тыс. га или 27% территории исследования. Максимальное выгорание достигало 16% территории (547 тыс. га, 2006 г.), в среднем – 310 тыс. га ежегодно (6.9% территории). В пяти из девяти лет сгоревшая площадь составила более чем 5% территории исследования, в трех из десяти лет – более 10% (табл. 1). Значительные по величине пожары происходили практически каждый год, за исключением 2003 г., когда сгорела относительно небольшая площадь (59 тыс. га или 1.3% территории, рис. 2). Наибольшие площади сгоревших территорий отмечались в Черноземельском районе, затем в Яшкульском и Юстинском

районах Республики Калмыкия и их доля составила 54, 27, 11%, соответственно, от общей сгоревшей территории (табл. 2). Официальные данные, хотя и показали совпадающую тенденцию роста количества пожаров, коррелировали с оценкой слабо ($\rho=54\%$, табл. 1).

Таблица 1. Площадь территории, ежегодно охваченной пожарами в период 2000-2008 гг. (тыс. га).
Table 1. Total annual area burned from 2000 to 2008 (thousands ha).

Год	Площадь (оценка исследования)	% территории	Площадь (официальные данные)
2000	279.7	6.2%	
2001	160.1	3.5%	
2002	547.3	12.1%	55.0
2003	58.8	1.3%	2.9
2004	205.2	4.5%	56.1
2005	250.7	5.6%	89.7
2006	731.3	16.2%	167.3
2007	453.5	10.0%	176.8
2008	107.3	2.4%	

Таблица 2. Площадь территории, охваченной пожарами, суммарно по районам и годам (тыс. га), процент от площади района (в скобках). **Table 2.** Area burned summarized by regions and years (thousands ha), and percentage of total region area (in brackets).

Район Год	Енотаевский	Наримановский	Черноземельский	Яшкульский	Юстинский
2000	1 (0.2)	5 (0.9)	169 (12.0)	90 (7.6)	14 (1.8)
2001	54 (9.4)		12 (0.8)	48 (4.1)	46 (5.7)
2002	36 (6.2)		313 (22.2)	115 (9.7)	83 (10.4)
2003			4 (0.3)	52 (4.4)	3 (0.3)
2004	14 (2.3)	5 (0.9)	97 (6.9)	69 (5.8)	21 (2.7)
2005	8 (1.4)		143 (10.2)	64 (5.4)	35 (4.5)
2006	74 (12.8)	1 (0.2)	375 (27.1)	193 (16.3)	82 (10.3)
2007	12 (2.1)		318 (22.6)	109 (9.2)	14 (1.8)
2008			77 (5.5)	25 (2.1)	5 (0.6)
Всего:	200	11	1514	765	303

Распределение частоты горения характеризовалось высокой степенью кластеризации (рис. 3). Анализ пространственного распределения позволяет выделить 3 очага кластеризации. Основным очагом является, безусловно, территория ГПБЗ «Черные земли», а так же территория непосредственно к западу от его границы (окрестности п. Тавн-Гашун, горевшая 7 из 9 лет периода исследования). Вторым очагом горения является область на границе Яшкульского и Юстинского районов (окрестности пос. Молодежный). Третья область – север Енотаевского района Астраханской области и Юстинского района Республики Калмыкия. Второй и третий очаги горения повторно горели в 4 из 9 лет.

Несмотря на то, что площадь сгоревших территорий значительно менялась из года в год, общая тенденция за 9 лет была положительной. Резкие увеличения сгоревшей площади происходили в 2002 и 2006 гг., значительная площадь могла также выгореть и сразу на следующий год (например, как это случилось в 2007 г.).

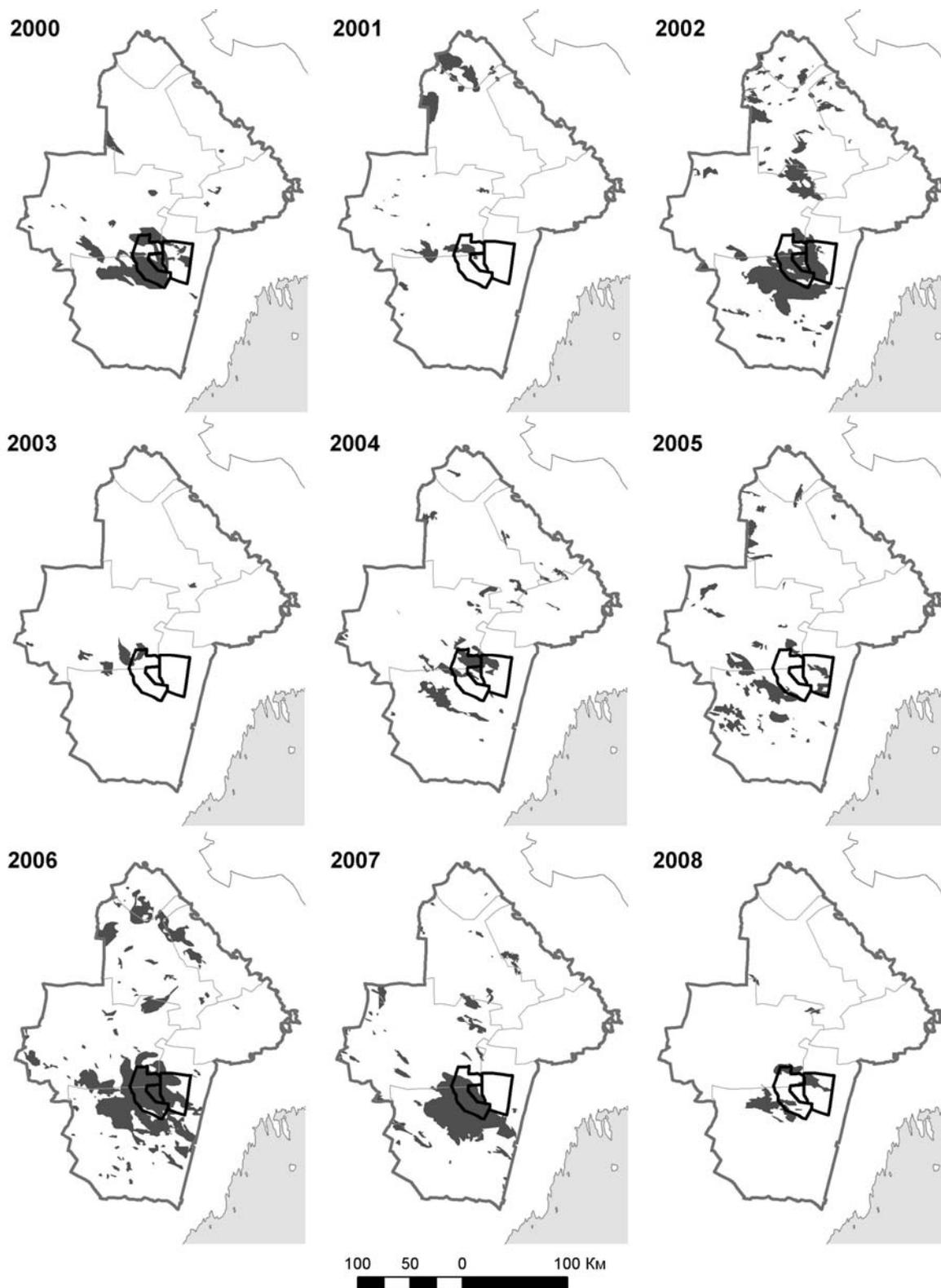


Рис. 2. Территории, затронутые пожарами ежегодно в период с 2000 по 2008 гг. (черная линия – границы ГПБЗ «Черные земли» и заказника «Степной»/«Тингута», темно серый – сгоревшие территории, тонкая серая линия – границы районов, толстая серая линия – граница территории исследования, светло серый – Каспийское море). **Fig. 2.** Annual total area burned from 2000 to 2008. (black line – Chernye Zemli Zapovednik and nature preserve «Stepnoy»/«Tinguta», dark gray – burned areas, thin gray line – regions boundaries, thick gray line – study area, light gray polygon – Caspian Sea).

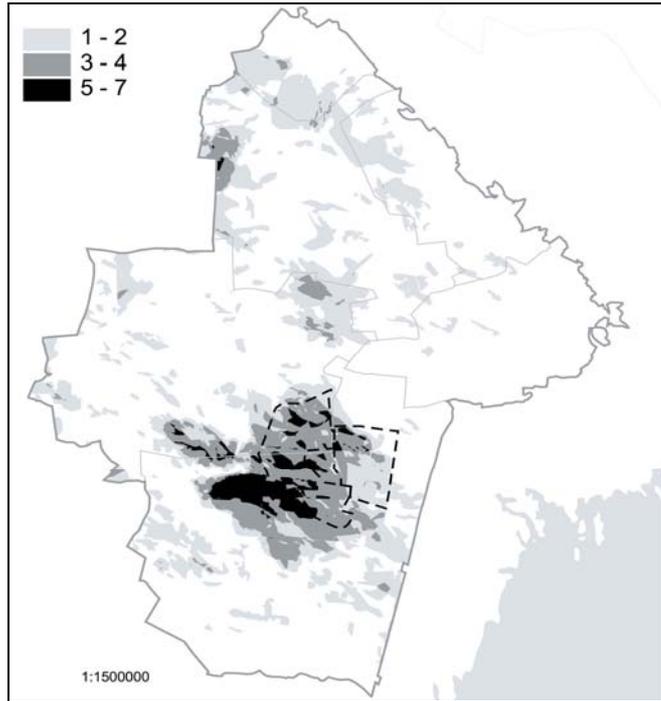


Рис. 3. Количество пожаров за весь период исследования (градации серого – количество пожаров за период исследования, черный пунктир – границы ГПБЗ «Черные земли» и заказника «Степной/Тингута», толстая темно серая линия – граница территория исследования, тонкие светло серая линия – границы районов, светло серый – Каспийское море). **Fig. 3.** Distribution of number of fires (gray scales – number of fires, see legend, black dashed line – Chernye Zemli Zapovednik and nature preserve «Stepnoy» / «Tinguta», thick gray line – study area, thin gray line – regions boundaries, light gray polygon – Caspian Sea).

С точки зрения размерного класса, подавляющая часть сгоревшей территории была представлена сравнительно небольшим количеством пожаров. Более 45% всей сгоревшей территории относилось к 20 крупнейшим пожарам, относящихся к размерному классу более 25 тыс. га: в среднем 65 тыс. га каждый (табл. 3).

Таблица 3. Распределение площадей и числа пожаров по размерным классам (площадь в тыс. га).
Table 3. Size class distribution of area and number of fires (areas in thousands ha).

Размерный класс	Количество пожаров	Общая площадь	Удельная площадь пожара	Доля от общей площади, %
<1	159	77.6	0.5	3
1-2	86	124.7	1.5	4
2-3.5	67	181.9	2.7	7
3.5-6	49	221.8	4.5	8
6-10	32	255.7	8.0	9
10-15	26	312.6	12.0	11
15-25	18	364.0	20.2	13
>25	21	1255.9	59.8	45

Временной промежуток, в который имело место большинство пожаров (95%), совпадает с периодом летней засухи с июня по август. Доля пожаров имевших место вне основного пожарного сезона была невелика и составила 2.3% площади в мае и 4.8% в сентябре (рис. 4). Основная доля пожаров по площади и количеству пришлась на июль, на втором месте по площади был июнь, а по количеству – август месяц. В целом площадь сгоревших территорий была распределена на 2-3 месяца. Сгоревшая площадь за отдельно взятый месяц никогда не составляла более половины от общей сгоревшей площади за год.

Использованная методология выделения сгоревших территорий показала достаточно высокую точность. Из 1136 температурных аномалий MOD14A1 совпали с дешифрованными границами 70% очагов пожаров. Остальные сгоревшие территорий АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2010, том 16, № 3 (43)

было пропущены из-за малой площади возгораний, не дешифрируемых на использованном масштабном уровне.

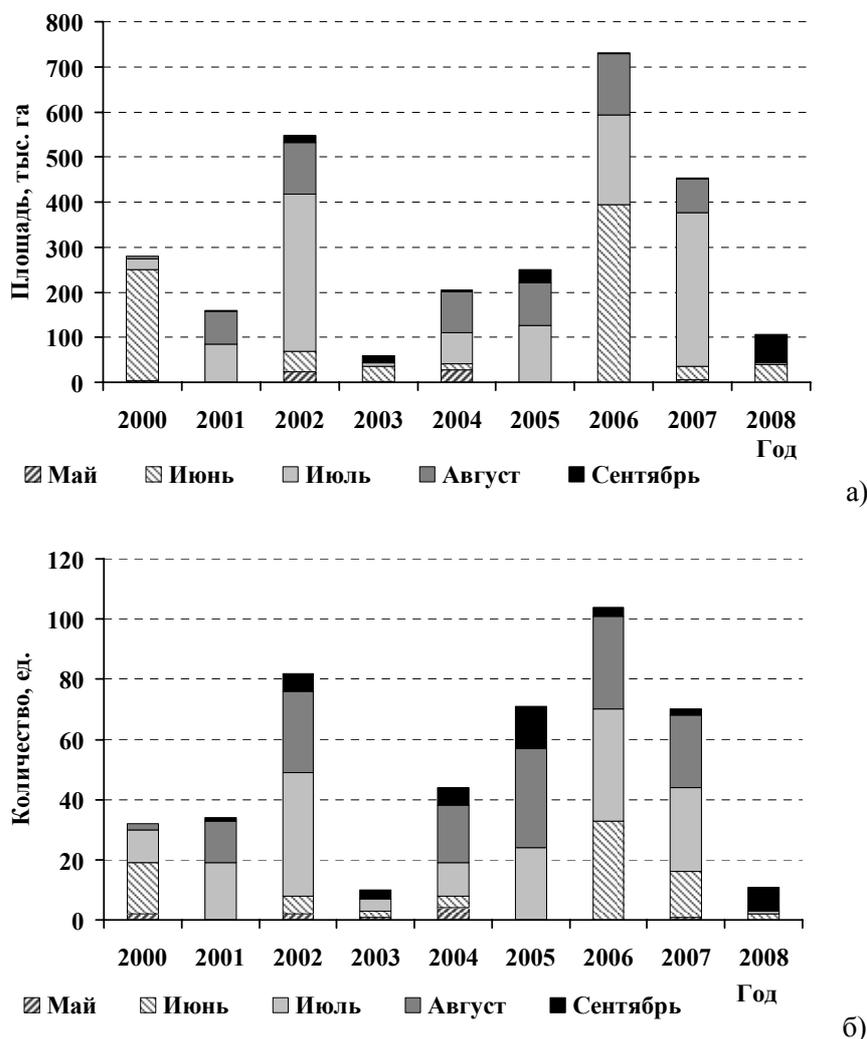


Рис. 4. Временное распределение пожаров за весь период исследования: а) площадь, тыс. га, б) количество, в единицах. **Fig. 4.** Temporal distribution of fires for the whole period of study: а) top – area, thousands ha, б) bottom – number.

Обсуждение и выводы

Активные степные пожары большой протяженности в экосистемах Северо-Западного Прикаспия отмечались, по крайней мере, с конца 18 века. П.С. Паллас, побывавший здесь в 1793 г., отмечает «...В июле меня остановила, против моей воли, отчасти – возрастающая жара, достигшая непереносимой температуры из-за случающихся часто на обеих сторонах Волги степных пожаров. ... Большой пожар ... выжег степь вдоль и поперёк и оттого сделал невозможным кормление лошадей, чем и расстроил мои намерения. Пожар, бушевавший приблизительно 3 недели назад, пришёл из местности вокруг озера Эльтон и, как мы вскоре, к нашей досаде, узнали, перешёл через гору Богдо и распространился на сотни вёрст. Мы вынуждены были путешествовать по сожженным дочерна полям под палящим солнцем, которое морило людей и скот» (Паллас, 2008). В более поздних литературных источниках также приводятся описания о широком распространении пожаров (Zwick, Schill, 1831).

Однако, в последние десятилетия, особенно в период с конца 1980-х до середины 1990-х годов, пожаров на территории исследования практически не отмечалось (Шилова и др., 2007), что подтверждается и исследованиями с помощью данных дистанционного зондирования (Dubinin et al., 2010; Hoelzel et al., 2002).

Анализ распространения сгоревших территорий свидетельствует о значительном пространственном и временном разнообразии пожарного режима Черных земель, связанного с эквивалентной неоднородностью растительного покрова, находящегося на разных стадиях сукцессионных смен. Пространственная кластеризация очагов горения представляет подтверждение гипотезы о неравномерном характере растительных смен. Нерегулярность горения остальной площади свидетельствует о недостаточной сомкнутости и характере травостоя, в том числе в связи с продолжающимся достаточно интенсивным выпасе, который препятствует восстановлению растительного покрова.

Расположение самого активного очага горения, являющегося причиной огромных площадей горения в районе ГПБЗ «Черные земли», свидетельствует об отрицательной обратной связи интенсивности выпаса и горения, за счет связанной с ним структурой растительных сообществ данного района. Большие площади в этом районе заняты сообществами с легко воспламеняемым, горючим материалом высокой степени сомкнутости, образованным, в первую очередь, злаками *Stipa* spp., *Anizantha tectorum*.

Доминирующий характер больших по площади пожаров является типичным для сухих степей и полупустынь Австралии, Монголии и Северо-запада США, где также, как правило, в активно горящих областях могут доминировать однолетние и многолетние злаки: *Triodia basedowii*, инвазивная форма *Anizantha tectorum* (Greenville et al., 2009; Knapp, 1998).

В отсутствие адекватных официальных данных по сгоревшим территориям, использованная методология представляет достаточно надежный и легко воспроизводимый способ оценки пространственного и временного распределения сгоревших территорий. Ошибки в их определении могут быть связаны с рядом факторов, такими как: а) сильная облачность, б) ошибка оператора, в) недооценка площадей сгоревших территорий небольшого размера в связи с низким пространственным разрешением использованных данных. Несмотря на перечисленные недостатки, метод представляет собой удобный способ экспресс-оценки горимости на обширных территориях. Результаты подобной оценки позволяют заложить базу для дальнейшего моделирования и предсказания пожарного режима и связанных с ним экосистемных процессах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Буваев Д.А. 2002. Исследование распространения степных пожаров на территории Республики Калмыкия по материалам дистанционного зондирования // Вестник Калмыцкого института социально-экономических и правовых исследований. Вып. 2. С. 168-173.
- Зонн С.В. 1995. Опустынивание природных ресурсов аграрного производства Калмыкии за последние 70 лет и меры борьбы с ним // Биота и природная среда Калмыкии. Москва-Элиста: Издательство «Коркис». С. 12-52.
- Иванов В.В. 1952. К вопросу о роли степных пожаров // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. Том. 57. Вып 1. С. 62-69.
- Карта растительности СССР для высших учебных заведений. 1990. Мб. 1: 4000000. М.: ГУГК СССР.
- Козлов М.В. 2003. Мнимые повторности (pseudoreplications) в экологических исследованиях: проблема, не замеченная российскими учеными // Журнал общей биологии. № 64. С. 292-307.

- Малышева Г.С., Малаховский П.Д. 2000. Пожары и их влияние на растительность сухих степей // Ботанический журнал. Вып. 85. С. 96-103.
- Маштыков Н.Л.-Г., Очирова Н.Н. 2005. Состояние растительного покрова территории биосферного заповедника «Черные земли» // Экология и природная среда Калмыкии. Элиста: Издательство «Джангар». С. 23-30.
- Опарин М.Л., Опарина О.С. 2003. Влияние палов на динамику степной растительности // Поволжский экологический журнал. № 2. С. 158-171.
- Паллас П.С. 2008. Заметки о путешествии в южные наместничества российской империи в 1793 и 1794 годах. Том первый (избранное). Перевод с немецкого. Астрахань: Государственное предприятие Астраханской области «Издательско-полиграфический комплекс “Волга”». 300 с.
- Родин Л.Е. 1981. Пирогенный фактор и растительность аридной зоны // Ботанический журнал. Вып. 66. С. 1673-1684.
- Шилова С.А., Неронов В.В., Касаткин М.В., Савинецкая Л.Е., Чабовский А.В. 2007. Пожары на современном этапе развития полупустыни юга России: влияние на растительность и население грызунов // Успехи современной биологии. Вып. 127. С. 372-386.
- Arino O., Piccolini I., Kasischke E., Siegert F., Chuvieco E., Martin M.P., Li Z., Fraser R., Eva H., Stroppiana D., Pereira J., Silva J.M.N., Roy D., Barbosa P.M. 2001. Methods of mapping burned surfaces in vegetation fires // Global and regional vegetation fire monitoring from space: planning a coordinated international effort / Eds. F.J. Ahern, J.G. Goldammer & C.O. Justice. The Hague SPB Academic Publishing. P. 227-255.
- Bowman D., Zhang Y., Walsh A., Williams R.J. 2003. Experimental comparison of four remote sensing techniques to map tropical savanna fire-scars using Landsat-TM imagery // International Journal of Wildland Fire. No 12. P. 341-348.
- Brooks M.L., D'Antonio C.M., Richardson D.M., Grace J.B., Keeley J.E., DiTomaso J.M., Hobbs R.J., Pellant M., Pyke D. 2004. Effects of invasive alien plants on fire regimes // Bioscience. No 54. P. 677-688.
- Carmona-Moreno C., Belward A., Malingreau J.P., Hartley A., Garcia-Alegre M., Antonovskiy M., Buchshtaber V., Pivovarov V. 2005. Characterizing interannual variations in global fire calendar using data from Earth observing satellites // Global Change Biology. No 11. P. 1537-1555.
- Dubinin M., Potapov P., Luschekina A., Radeloff V.C. 2010. Reconstructing long time series of burned areas in arid grasslands of Southern Russia by satellite remote sensing // Remote Sensing of Environment (in press).
- Greenville A.C., Dickman C.R., Wardle G.M., Letnic M. 2009. The fire history of an arid grassland: the influence of antecedent rainfall and ENSO // International Journal of Wildland Fire. No. 18. P. 631-639.
- Hawbaker T.J., Radeloff V.C., Syphard A.D., Zhu Z.L., Stewart S.I. 2008. Detection rates of the MODIS active fire product in the United States // Remote Sensing of Environment. No. 112. P. 2656-2664.
- Hoelzel N., Haub C., Ingelfinger M.P., Otte A., Pilipenko V.N. 2002. The return of the steppe: Large-scale restoration of degraded land in southern Russia during the post-Soviet era // Journal for Nature Conservation (Jena). No. 10. P. 75-85.
- Justice C.O., Giglio L., Korontzi S., Owens J., Morisette J.T., Roy D., Descloitres J., Alleaume S., Petitcolin F., Kaufman Y. 2002. The MODIS fire products // Remote Sensing of Environment. No. 83. P. 244-262.
- Knapp P.A. 1998. Spatio-temporal patterns of large grassland fires in the Intermountain West, USA // Global Ecology and Biogeography. No. 7. P. 259-272.
- Koshkina M. 2009. Wetlands and birds of Northern Kazakhstan // Red-breasted Goose Conservation

- Workshop. Moscow: Association for the Conservation of Biodiversity of Kazakhstan (oral presentation).
- Meyn A., White P.S., Buhk C., Jentsch A. 2007. Environmental drivers of large, infrequent wildfires: the emerging conceptual model // *Progress in Physical Geography*. No. 31. P. 287-312.
- Stohl A., Berg T., Burkhardt J.F., Fjaeraa A.M., Forster C., Herber A., Hov O., Lunder C., McMillan W.W., Oltmans S., Shiobara M., Simpson D., Solberg S., Stebel K., Strom J., Torseth K., Treffeisen R., Virkkunen K., Yttri K.E. 2007. Arctic smoke - record high air pollution levels in the European Arctic due to agricultural fires in Eastern Europe in spring 2006 // *Atmospheric Chemistry and Physics*. No. 7. P. 511-534.
- Van der Werf G.R., Randerson J.T., Giglio L., Collatz G.J., Kasibhatla P.S., Arellano A.F. 2006. Interannual variability in global biomass burning emissions from 1997 to 2004 // *Atmospheric Chemistry and Physics*. No. 6. P. 3423-3441.
- Warneke C., Bahreini R., Brioude J., Brock C.A., de Gouw J.A., Fahey D.W., Froyd K.D., Holloway J.S., Middlebrook A., Miller L., Montzka S., Murphy D.M., Peischl J., Ryerson T.B., Schwarz J.P., Spackman J.R., Veres P. 2009. Biomass burning in Siberia and Kazakhstan as an important source for haze over the Alaskan Arctic in April 2008 // *Geophysical Research Letters*. No. 36. P. L02813
- Zwick, H.A., & Schill, J.G. (1831). *Calmuc tartary or journey from Sarepta to several Calmuc Hordes of the Astrakhan Government*. London: Holdsworth and Ball. 262 pp.

ASSESSMENT OF MODERN BURNING DYNAMICS IN ARID ECOSYSTEMS USING REMOTE SENSING DATA (CASE STUDY OF CHERNYE ZEMLI)

© 2010. M.Yu. Dubinin*, A.A. Lushchekina**, V.C. Radeloff*

**University of Wisconsin-Madison*

USA, 53705, 1630 Linden Drive, Madison, WI. E-mail: dubinin@wisc.edu

***A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of sciences (RAS)
Russia, 119071 Moscow, Leninsky prospect, 33. E-mail: rusmabcom@gmail.com*

Abstract. Vegetation burning is a natural component of the dynamics of grassy arid ecosystems. Understanding of influence of fire on different components of arid ecosystems is essential for conservation, science and management and requires detailed assessment of area burned in high detail, both in space and time. Here we present a method and data that can be used to assess spatio-temporal change in burned area. The assessment of burned areas dynamics in Chernye zemli (Black lands) is provided, that utilizes this method. The assessment shows widespread nature of burning, high interannual variability, clustering in space and domination of large fires.

Key words: arid ecosystems, fire, remote sensing, Chernye Zemli.