Анализ многолетней динамики степных пожаров в Волгоградской области

С. С. Шинкаренко[1,2], А. Н. Берденгалиева[1]

[1] *Волгоградский государственный университет, Волгоград, 400062, Россия*
[2] *Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, Волгоград, 400062, Россия*
E-mails: shinkarenko@volsu.ru, gik@volsu.ru

Работа является продолжением исследования пожарного режима естественных зональных ландшафтов Северного Прикаспия. Для естественных степных и полупустынных ландшафтов Волгоградской области на основе дешифрирования снимков Landsat с верификацией по данным активных очагов горения определены выгоревшие территории за 1998–2018 гг. До 40 % естественных ландшафтов области подверглись пирогенному воздействию за исследуемый период, общая площадь гарей без учёта повторяемости составила 55 592,7 км^2, а их количество — 3776. Наибольшие площади отмечаются в Заволжье в Палласовском районе. Это связано с низкой освоенностью территории: здесь около 80 % земель несельскохозяйственного назначения; по этой причине пожары свободно распространяются на значительные пространства, например 4,7 тыс. км^2 в 2001 г. и от 2,5 до 3 тыс. км^2 в 1998, 2002, 2005, 2010, 2014 и 2016 гг. Среднегодовая площадь гарей в районе — 1780,5 км^2. Здесь же расположена зона максимальной повторяемости степных пожаров: от восьми до тринадцати раз за два десятилетия, этот своеобразный «очаг» степных пожаров имеет площадь 2,4 тыс. км^2, или 12,3 % всех гарей области. Анализ индекса ближайших соседей центров контуров гарей показал значительную кластеризацию в их пространственном размещении. Объективное определение длительностей пирогенных сукцессий делает возможным исследование закономерностей растительных смен после пожаров разных лет на основе как полевых, так и дистанционных методов.

Ключевые слова: естественная растительность, ландшафтные пожары, Landsat, MODIS, Волгоградская область, дистанционное зондирование

Одобрена к печати: 29.03.2019
DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-98-110

Введение

В конце XX – начале XXI вв. в южных регионах страны интенсифицировались степные пожары. Причиной стали климатические изменения и снижение антропогенных нагрузок (Опарин, Опарина, 2003; Павлейчик, 2017). Рост увлажнения способствовал накоплению мортмассы в естественных ландшафтах, а увеличение температуры в летние месяцы повышало пожароопасность (Кузьмина, Трешкин, 2014; Sapanov, 2018). В то же время в силу экономических причин увеличивалась доля залежных земель и снижалось поголовье скота.

Исследование является продолжением работы по изучению пожарного режима естественных зональных ландшафтов Северного Прикаспия. Ранее были определены выгоревшие площади в Астраханской области (Шинкаренко, 2018), в Приэльтонье (Шинкаренко, 2015) и установлены закономерности пожарного режима территории по активным очагам горения (Шинкаренко, 2019). Волгоградская область отличается наибольшим разнообразием ландшафтов среди регионов юго-востока европейской части России: от типично степных ландшафтов на северо-западе области до полупустыни на юго-востоке с интразональными ландшафтами речных пойм и бессточных озёрных котловин. Заволжье располагается на территории Прикаспийской низменности и представляет морскую аккумулятивную равнину, усложнённую отрицательными формами мезо- и микрорельфа, соляно-купольными поднятиями и сопряжёнными с ними компенсационными мульдами, что повлекло за собой комплексность почвенного покрова и мозаичность растительности (Рулев и др., 2017). Правобережная

часть области сильно расчленена эрозионными формами, достаточно освоена в сельскохозяйственном отношении. Природные ландшафты сохранились в долинах рек Донского бассейна, на Придонских песчаных массивах, склонах крупных балок. Здесь же сосредоточены крупные лесные массивы. Гидротермические условия на территории области также значительно различаются: годовая норма осадков на северо-западе области (Урюпинск) составляет 450 мм, в то время как в Заволжье (Эльтон) — всего 280 мм, летние температуры нередко достигают 40 °С. Существенно отличается и почвенный покров: от обыкновенных чернозёмов на северо-западе до солонцов со светло-каштановыми на юге Заволжья. Такие разнородные природные и хозяйственные условия, безусловно, сказываются на состоянии ландшафтных комплексов и их пожарном режиме (Рябинина, 2015).

Волгоградская область имеет площадь 113,9 тыс. км² и делится на 33 административных района. Средняя лесистость области не превышает 4,5 %, имеющиеся статистические материалы по ландшафтным пожарам охватывают только лесные и нелесные земли государственного лесного фонда. Учёт степных пожаров официально не ведётся, поэтому определение выгоревших площадей в зональных ландшафтах региона является актуальной задачей.

Материалы и методы

В работе определялись выгоревшие площади в естественных зональных ландшафтах Волгоградской области на основе визуального дешифрирования цветовых RGB-композитов Landsat-5, -7, -8 за 1998–2018 гг., данных очагов активного горения FIRMS (термоточки) и продукта MCD45A1 версии 6 за 2001–2018 гг. (гранулы h20v04, h21v04, h20v03, h21v03). Сельскохозяйственные палы на пашнях и пожары в интразональных пойменных ландшафтах настоящим исследованием не охвачены. Комплексирование данных разного разрешения даёт достаточно точные результаты (Барталев и др., 2012, 2017; Лупян и др., 2017; Шинкаренко, 2018). Как показали исследования пожарного режима аридных ландшафтов, большая часть пожаров в естественных зональных ландшафтах приходится на летние месяцы (Шинкаренко, 2018, 2019), поэтому в работе использовались спутниковые данные за август – октябрь; соответственно, определялись гари летнего и осеннего периодов. При отсутствии безоблачных спутниковых снимков нужного витка (path) и ряда (row) использовались данные соседних витков. Также возможно определение гарей по снимкам следующего сезона на основе архива очагов горения и визуального отличия зарастающих гарей от остальной территории.

Очаги активного горения и данные о выгоревших площадях MCD45A1 применялись для уточнения при визуальном дешифрировании, поскольку эти информационные продукты отражают не более 40–50 % площади степных пожаров (Дубинин и др., 2010; Павлейчик, 2015, 2018; Шинкаренко, 2017). На *рис. 1* (см. с. 100) показан охват гарей термоточками. Свежие гари отличаются тёмным тоном и хорошо дешифрируются визуально. Из-за плотной облачности не всегда удаётся подобрать снимки, даты которых близки к датам пожаров, а определение выгоревших участков через 2–3 мес затруднительно. В этом случае используются снимки с соседних витков, а также изображения, предшествующие пожарам, которые сопоставляются с имеющимися. На основе наличия термоточек или контуров MCD45A1 территория может быть отнесена к выгоревшей (см. *рис. 1а*). В Заволжье периодически случаются пожары два года и более подряд, например в 2016 и 2017 гг. В таких случаях повторные гари, наоборот, имеют более светлый тон и часто не детектируются спектрорадиометром MODIS (см. *рис. 1б*) из-за значительно более низкой температуры горения вследствие отсутствия растительной ветоши и небольшой фитомассы, образованной в текущем вегетационном сезоне на месте прошлогодней гари.

Геоинформационная обработка осуществлялась в программе QGIS версий 2.18 и 3.2. Площади полигонов рассчитаны на эллипсоиде WGS84. Дешифрирование проводилось при рабочих масштабах 1:10 000–1:50 000 в зависимости от площади гарей, что соответствует ошибке в 5–7 % (Берлянт, 2006). Идентифицировались объекты площадью более 0,5 км^2.

В качестве базовой основы для карт использованы скорректированные авторами слои водных объектов и административных границ проекта Open street maps, распространяемые по лицензии Open Data Commons Open Database License (ODbL). Картографические материалы представлены в проекции UTM (зона 38). Статистическая обработка данных выполнена в MS Office Excel.

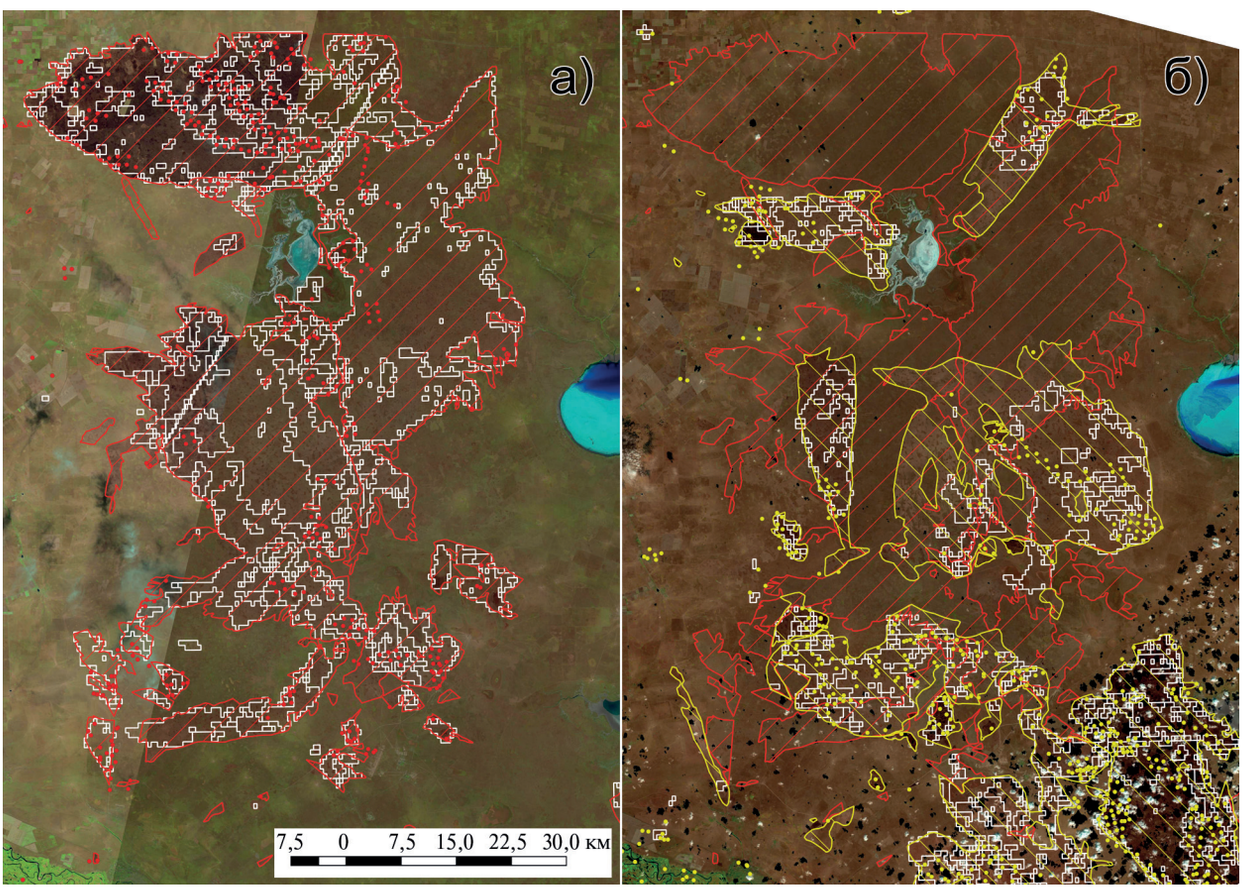

Рис. 1. Пример дешифрирования гарей в Приэльтонье (волгоградское Заволжье): *а* — мозаика из двух снимков Landsat-8 за 24 августа и 4 октября 2016 г.; *б* — снимок Landsat-8 за 28 сентября 2017 г. Красный контур — определение выгоревшей территории по результатам дешифрирования снимков Landsat-8; белый контур — выгоревшие площади по данным MCD45A1; красные кружки — термоточки в 2016 г.; жёлтый контур и кружки — то же за 2017 г.

Кластеризация гарей оценивалась на основе индекса ближайших соседей (среднее ближайшее соседство) с помощью инструмента «анализ близости» QGIS 3.2. Выделенные на основе визуального дешифрирования полигональные объекты были преобразованы в центроиды, между которыми и проводился анализ близости. Алгоритм определения среднего ближайшего соседства рассчитывает расстояния до соседних точек и затем усредняет. Далее определяется индекс ближайшего соседства: отношение рассчитанного среднего расстояния (наблюдаемого) и статистически ожидаемого, если бы это количество точек было распределено случайно на той же площади. Если наблюдаемое расстояние меньше ожидаемого, считается, что распределение объектов кластеризуется, в противном случае наблюдается дисперсность. *Z*-оценка (*Z*-критерий) определяется как частное разницы наблюдаемого и ожидаемого средних расстояний к среднеквадратической ошибке (квадратный корень отношения квадрата количества объектов к минимальной площади, которая их охватывает). Этот критерий используется для того, чтобы отклонить нулевую гипотезу: чем больше абсолютное значение *Z*, тем ниже вероятность, что пространственное распределение отражает теоретическую случайную пространственную закономерность (Mitchell, 2005).

Результаты и обсуждение

В результате дешифрирования выгоревших площадей разработан слой гарей за 1998–2018 гг., содержащий 3776 объектов. Наложение контуров гарей позволяет определить, когда в последний раз был пожар на конкретной территории области (*рис. 2*). Эти данные очень важны для исследования пирогенных изменений в ландшафтах, поскольку позволяют объективно установить длительности сукцессионных смен. Наибольшие площади отмечаются в Заволжье в Палласовском районе. Это связано с низкой освоенностью территории: здесь около 80 % земель несельскохозяйственного назначения (Ткаченко, 2014); по этой причине пожары свободно распространяются на значительные пространства, например 4,7 тыс. км^2 в 2001 г. и от 2,5 до 3 тыс. км^2 в 1998, 2002, 2005, 2010, 2014 и 2016 гг., среднегодовая площадь пожаров в районе — 1780,5 км^2.

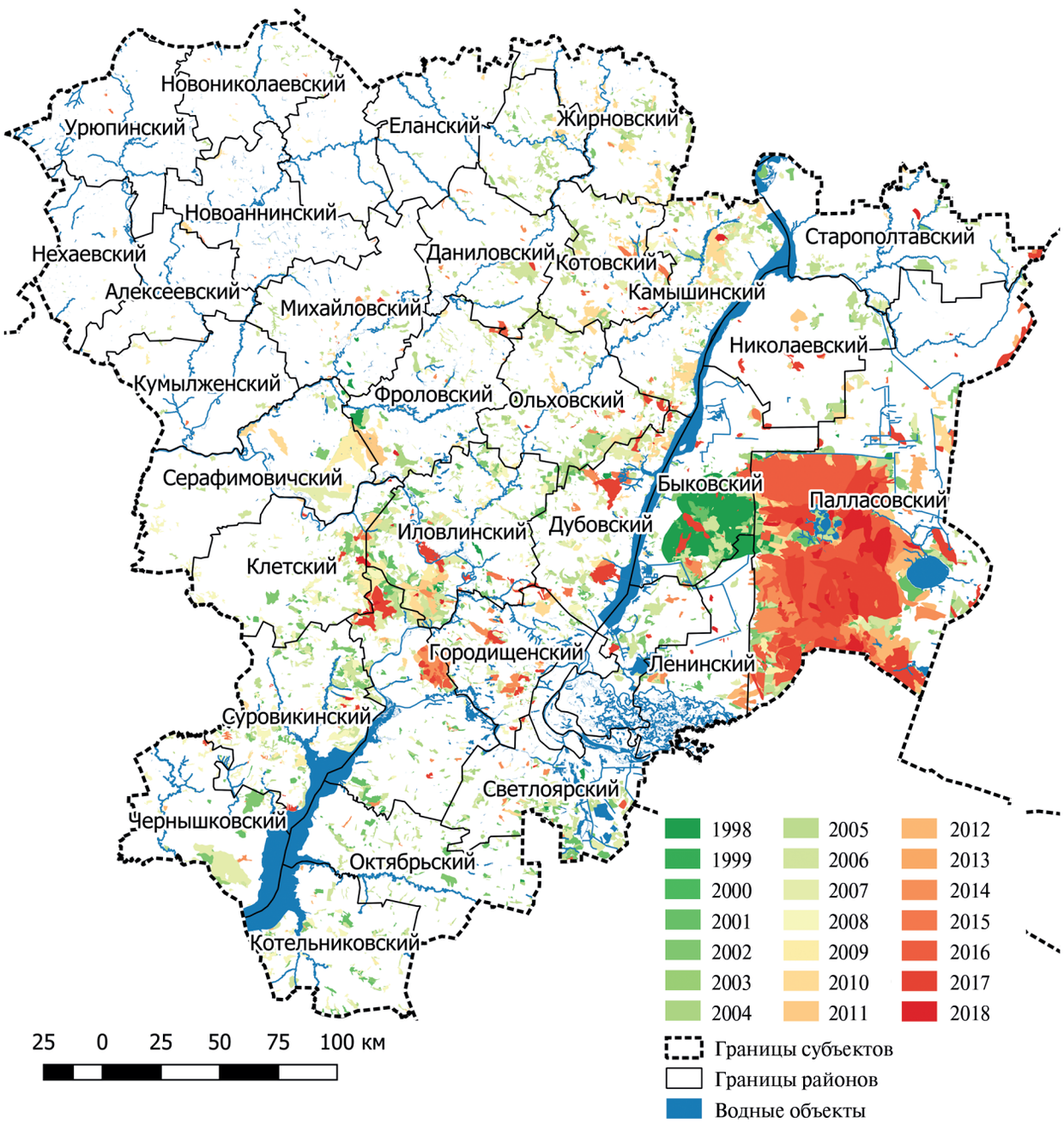

Рис. 2. Пространственно-временное распределение пожаров в зональных ландшафтах Волгоградской области

В среднем на Палласовский район приходится две трети площади и пятая часть количества всех степных пожаров региона. В остальных районах в среднем площадь не превышает 4 %, а количество — 5 % в каждом. Среднегодовая площадь пожаров в районах — 79,9 км^2 при среднегодовом количестве шесть пожаров на район в год. Кроме Палласовского значительные (20–30 км^2) площади степных пожаров отмечались в 2005–2007 гг. в Иловлинском, Калачевском, Ольховском районах и в 1998 и 2001 гг. — в Быковском районе. На период 2005–2007 гг. приходится 42 % пожаров в регионе.

Общая площадь территорий, затронутых степными пожарами в регионе, составляет 19 812,9 км^2 (суммарная площадь всех гарей без учёта повторяемости — 55 592,7 км^2), среднегодовая площадь пожаров — 2647,3 км^2. Самые масштабные степные пожары были в 1998, 2001, 2005–2007, 2010, 2014 и 2016 гг. — более 2,5 тыс. км^2 в каждом (*рис. 2*, *3*). Далее приводятся годы, в которые в каждом из районов была отмечена максимальная выгоревшая площадь.

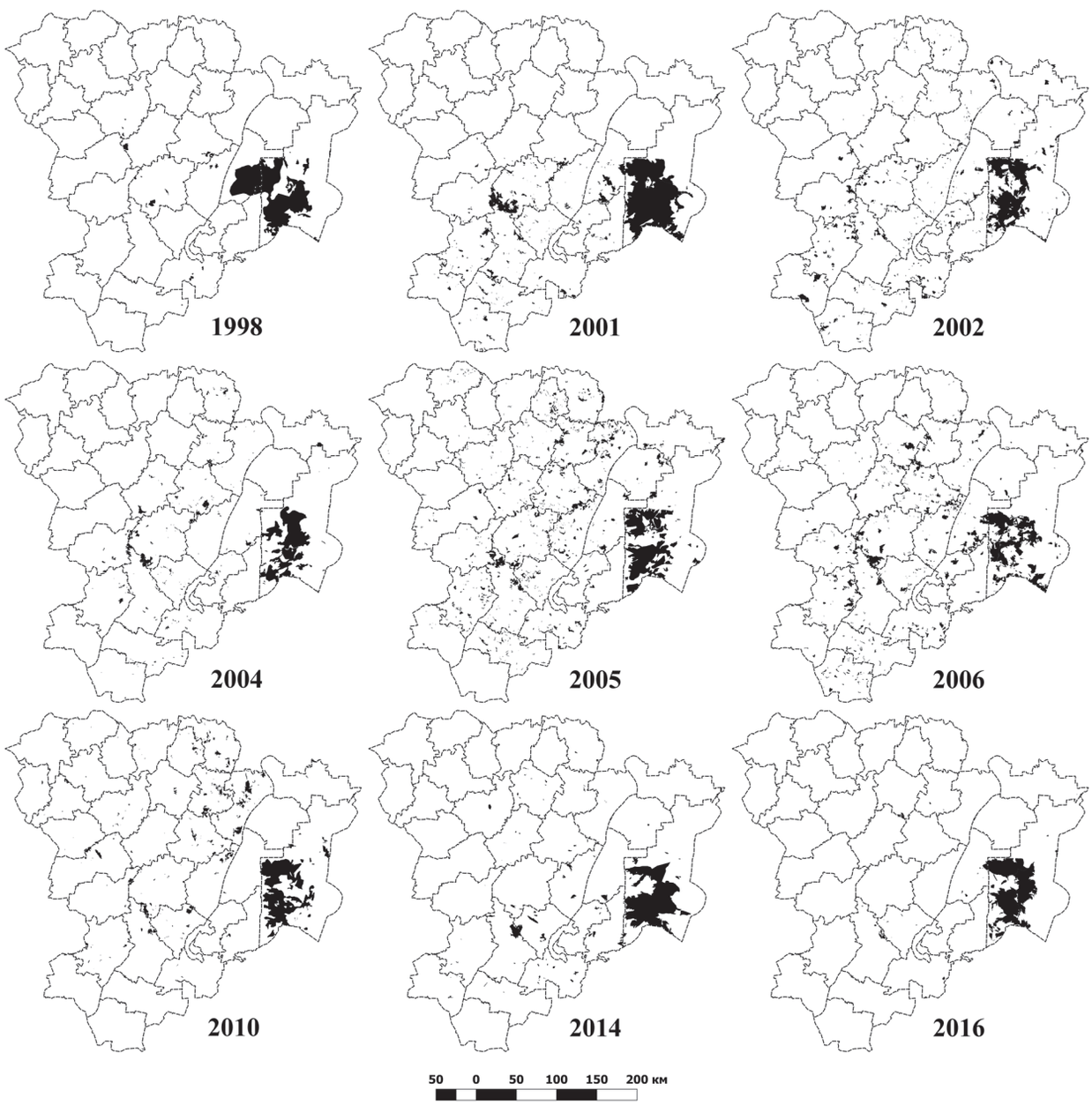

Рис. 3. Максимальные площади степных пожаров в Волгоградской области

Пожары 1998 г. составили 82 % всех выгоревших территорий за анализируемый период в Быковском районе и 27 % — в Ленинском. В 2001 г. самые большие выгоревшие площади были в Иловлинском, Калачевском и Палласовском районах: 394,2, 331,9 и 4735,3 км^2 соответственно. В Дубовском (168,3 км^2), Николаевском (137,2 км^2), Ольховском (239,8 км^2) и Руднянском (111,9 км^2) районах наибольшие площади пожаров отмечены в 2005 г.; в Даниловском (135,8 км^2), Котельниковском (110,1 км^2) и Фроловском (100,8 км^2) — в 2006 г. На 2007 г. приходится максимальная площадь пожаров Городищенского (119,4 км^2), Серафимовичского (263,3 км^2) и Чернышковского (202,0 км^2) районов. В 2010 г. наибольшие площади зафиксированы в Жирновском (113,6 км^2), Камышинском (280,9 км^2), Котовском (156,2 км^2) районах. В период 2011–2018 гг. выгоревших площадей, превышающих указанные выше значения, не было ни в одном из районов области.

Рисунки 2 и *3* иллюстрируют пространственное распределение гарей. Значительная их часть сконцентрирована в Заволжье, в правобережной части области расположение пожаров носит более хаотичный характер. Для оценки пространственного расположения гарей был проведён анализ близости их центроидов (*табл. 1*). Индекс ближайших соседей (среднее ближайшее соседство) превышает единицу только в 1999, 2000 и 2013 гг., когда общее число гарей было незначительным, в остальные годы он составляет от 0,53 до 0,92. Меньшие значения индекса при больших абсолютных величинах *Z*-оценки свидетельствуют о кластеризации размещения объектов (Mitchell, 2005).

Таблица 1. Площади и показатели близости центров гарей

Год	Площадь, км^2	Наблюдаемое среднее расстояние, м	Ожидаемое среднее расстояние, м	Индекс ближайших соседей	Количество пожаров	*Z*
1998	4572,9	17 508	22 961	0,76	37	–2,76
1999	16,4	102 259	37 669	2,71	3	5,68
2000	34,3	21 855	8 204	2,66	3	5,51
2001	6390,1	5 470	9 918	0,55	281	–14,38
2002	4395,0	5 736	9 179	0,62	406	–14,46
2003	231,1	13 612	23 082	0,59	51	–5,61
2004	3331,6	7 458	12 319	0,61	212	–10,99
2005	5698,9	4 938	7 229	0,68	759	–16,70
2006	4948,9	6 231	8 735	0,71	493	–12,18
2007	2847,0	6 843	10 640	0,64	347	–12,72
2008	2240,0	6 779	9 911	0,68	357	–11,42
2009	2103,1	10 801	20 482	0,53	92	–8,67
2010	4099,2	7 952	12 696	0,63	261	–11,55
2011	1024,5	14 847	20 863	0,71	29	–2,97
2012	2812,9	18 149	25 627	0,71	36	–3,35
2013	21,3	42 793	36 950	1,16	10	0,96
2014	3953,0	10 904	15 153	0,72	113	–5,70
2015	485,2	11 468	17 297	0,66	94	–6,25
2016	3236,2	13 894	19 786	0,70	43	–3,74
2017	2642,6	11 089	13 848	0,80	105	–3,91
2018	508,6	15 577	16 858	0,92	44	–0,96
Всего	–	2 132	3 395	0,63	3776	–43,70

В целом все гари региона за исследуемый период достаточно кластеризованы, что свидетельствует о пространственных закономерностях в их размещении. Кроме ландшафтных и хозяйственных особенностей территории области это определяют и сами пирогенные изменения в ландшафтах. В результате пирогенного воздействия увеличивается доля дерновинных злаков и эфемеров, снижается участие разнотравья, полукустарников и полукустарничков. Это приводит к формированию фитоценозов, более подверженных пожарам, чем исходные, не тронутые огнём (Рябинина и др., 2018).

Пожарный режим степных и полупустынных ландшафтов зависит от гидротермических условий территории: во-первых, необходимо накопление достаточного количества горючего материала; во-вторых, погодные условия не должны препятствовать возникновению и распространению огня. В Астраханской области установлено наличие нескольких лет с обильными осадками, предшествующих засушливым годам с большими площадями пожаров (Шинкаренко, 2018).

На *рис. 4* приведены площади степных пожаров в области, годовые суммы осадков и среднемесячные максимумы температур (приходятся на июль или август) по данным метеостанции «Волгоград». Поскольку гидротермические условия на территории области существенно различаются, то районы были сгруппированы по близости к одной из четырёх метеостанций региона: «Волгоград», «Урюпинск», «Фролово» и «Эльтон». Для выявления связей между площадями пожаров с разными климатическими показателями (суммы осадков и средние температуры за текущий и предшествующий года, тёплое и холодное полугодия, пожароопасный период) был проведён корреляционный анализ. Для южной части области (метеостанция «Волгоград») значимый коэффициент корреляции ($r = 0{,}51$) отмечен только между площадями пожаров и суммой осадков за предшествующие годы. На северо-западе (метеостанция «Урюпинск») наибольшая корреляция наблюдается между динамикой площадей пожаров и средней температурой за пожароопасный период. В центральной части области (метеостанция «Фролово») коэффициенты корреляции между площадями пожаров и суммами осадков за предыдущий год и пожароопасный период равны 0,28 и –0,26 соответственно. Наиболее сильная связь между площадями пожаров и суммой осадков за предшествующий год отмечена в Заволжье (метеостанция «Эльтон», $r = 0{,}62$).

Рис. 4. Площади гарей в зональных ландшафтах Волгоградской области, годовые суммы осадков и максимальная среднемесячная температура по данным метеостанции «Волгоград»

Такие различия обусловлены разницей природных условий и систем природопользования в районах. На степном северо-западе и в центральной части области пастбищные нагрузки на естественные зональные ландшафты незначительны, а увлажнение достаточно для накопления мортмассы. В то же время из-за высокой распаханности естественные ландшафты сохранились только по крупным балкам, где растительность луговая. Поэтому здесь гораздо важнее условия текущего года: должен быть достаточно длительным и жарким засушливый период в летнее время. В южной части области в отдельных районах доля естественных

пастбищ выше и аридность климата проявляется сильней, чем в северных районах, поэтому здесь важны гидротермические условия предыдущих лет. В полупустынном Заволжье продуктивность естественной растительности ещё ниже, вследствие чего отдельные влажные годы вызывают её бурное развитие во многом за счёт эфемеров (Рулев и др., 2016). Поэтому всем годам с большими площадями пожаров предшествовали 1-2 года с суммой осадков выше среднемноголетней.

Достоверной зависимости между количеством пожаров и их общей площадью нет, коэффициент корреляции равен 0,68. Две трети площади пожаров (67 %) обеспечено небольшим количеством (1,2 % всех пожаров) очень крупных гарей площадью более 100 км^2, на каждый из остальных размерных классов приходится не более 10 % площади (*табл. 2*). Наибольшее количество пожаров (38,2 %) имеют площадь до 1 км^2 при суммарной площади в 1,2 % от всех гарей. Далее по количеству следуют пожары размером 2–6 км^2 (23,8 %) и 1–2 км^2 (17 %).

Таблица 2. Площади и количество степных пожаров разных размерных классов в Волгоградской области

Год	Размерные классы пожаров, км^2							
	<1	1–2	2–6	6–10	10–20	20–50	50–100	>100
	Площади пожаров, км^2/ количество							
2018	5,2/11	6,8/5	42,3/12	41,3/5	110,5/8	70,4/2	0,0/0	232,1/1
2017	11,5/24	12,9/9	92,7/24	140,5/18	144,6/10	249,3/9	294,3/4	1696,9/7
2016	3,7/10	11,1/8	17,8/5	38,9/5	112,1/8	129,8/4	0,0/0	2922,7/3
2015	16,4/40	21,3/14	60,9/19	56,1/7	103,8/8	132,5/5	94,3/1	0,0/0
2014	13,0/32	26,6/18	141,3/39	57,1/7	118,2/8	186,6/6	51,7/1	3358,5/2
2013	1,0/3	4,5/3	8,8/3	7,0/1	0,0/0	0,0/0	0,0/0	0,0/0
2012	8,0/16	7,7/6	9,2/3	6,0/1	63,1/4	88,1/3	74,3/1	2556,6/2
2011	0,8/2	3,8/3	39,4/10	8,9/1	59,1/4	124,2/4	208,1/3	580,1/2
2010	41,7/102	49,2/37	258,0/68	166,8/20	200,7/15	354,8/12	378,76	2649,31
2009	16,2/36	26,7/19	55,5/16	49,6/7	43,4/3	187,1/7	130,4/2	1594,1/2
2008	60,4/120	97,5/68	406,0/116	183,6/24	214,7/16	203,4/8	114,9/2	959,5/3
2007	63,3/117	102,7/71	300,1/85	196,2/25	382,6/27	376,2/13	201,5/3	1224,4/6
2006	77,6/148	130,3/89	474,7/132	376,3/50	545,3/40	743,5/23	362,3/5	2239,0/6
2005	152,3/342	201,3/139	587,1/168	329,6/41	535,3/37	710,6/24	235,9/4	2946,9/4
2004	45,8/102	42,1/28	145,6/43	110,2/13	97,6/7	379,4/12	187,0/3	2323,7/4
2003	11,8/26	14,1/9	39,5/10	14,2/2	29,9/2	26,3/1	95,3/1	0,0/0
2002	73,9/159	106,5/74	292,0/83	293,0/37	376,0/27	556,4/22	176,9/3	2520,2/1
2001	59,2/149	60,2/42	168,7/47	129,0/18	122,9/10	233,4/8	360,1/5	5256,6/2
2000	0,0/0	0,0/0	3,8/1	0,0/0	30,5/2	0,0/0	0,0/0	0,0/0
1999	0,0/0	0,0/0	7,5/2	8,9/1	0,0/0	0,0/0	0,0/0	0,0/0
1998	1,7/4	1,5/1	37,0/13	38,/45	97,0/7	161,8/5	77,2/1	4158,4/1
Среднее	31,6/69	44,1/31	151,8/43	107,2/14	161,3/12	234,0/8	144,9/2	1772,3/2

Совмещение слоёв с гарями разных лет позволяет определить повторяемость (частоту) пожаров на территории региона (*рис. 5*, см. с. 106, *табл. 3*). За анализируемый период на отдельных участках пожары случались до 13 раз. Зона наибольшей интенсивности степных пожаров («очаги») расположена в Заволжье (Палласовский район) между озёрами Эльтон и Булухта. Это абсолютно незаселённые и малоосвоенные в хозяйственном отношении земли, которые частично используются для сенокошения. При этом неоснащённость техники искрогасителями является существенным фактором возникновения возгораний. Из-за отсутствия диких копытных и выпаса скота накапливается растительная ветошь. Кроме того, через эту территорию проходят грунтовые дороги, позволяющие вдвое сократить путь

от Эльтона до областного центра, и частой причиной возгораний являются непотушенные окурки, выбрасываемые из окон автомобилей. Согласно данным публичной кадастровой карты, этот участок имеет назначение «земли промышленности, энергетики, транспорта, связи, радиовещания, телевидения, информатики, земли для обеспечения космической деятельности, земли обороны, безопасности и земли иного специального назначения». В правобережной части области максимальная частота пожаров отмечена в Донской излучине в Иловлинском и Калачевском районах на площадях 17,1 км^2 (шесть лет с пожарами) и 1,01 км^2 (семь лет с пожарами). Это малонарушенные антропогенной деятельностью ландшафты с эталонной степной растительностью в природном парке «Донской» (Рябинина и др., 2018). Однократному воздействию огня за период с 1998 по 2018 г. подверглось 10,8 тыс. км^2 (54,4 % всех выгоревших площадей), из них 1,6 тыс. км^2 — в 2005 г., 1,4 тыс. км^2 — в 2006 г., по 1,1 тыс. км^2 — в 2007 и 2002 гг., 0,98 тыс. км^2 — в 1998 г. На этих территориях возможно проведение исследований состояния растительности для оценки пирогенных изменений и сукцессионной динамики, поскольку здесь не было повторных возгораний. Дважды пожары случались на площади 15,7 % всех гарей, трижды — на 6,2%, 4–7 раз — на 11,4 % и на 12,3 % — 8 и более раз.

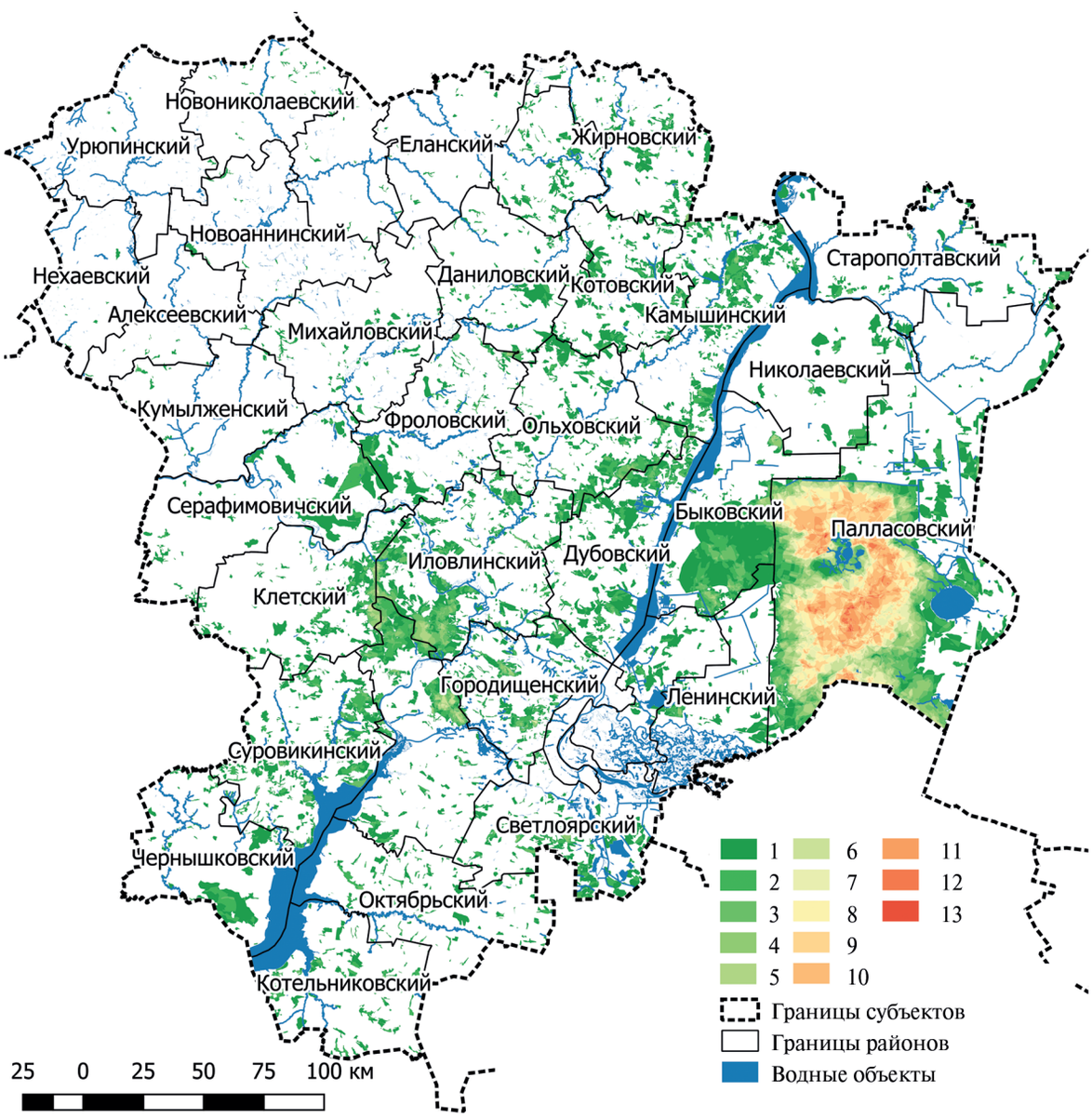

Рис. 5. Повторяемость пожаров в зональных ландшафтах Волгоградской области

Таблица 3. Повторяемость степных пожаров в Волгоградской области

Количество пожаров	Площадь, км^2	Наблюдаемое среднее расстояние, м	Ожидаемое среднее расстояние, м	Индекс ближайших соседей	Количество объектов	*Z*
1	10 815,1	723,46	1966,31	0,37	11363	–128,9
2	3 127,3	611,20	2426,39	0,25	6720	–117,3
3	1 234,6	612,27	3169,67	0,19	3343	–89,25
4	793,7	583,02	3700,32	0,16	2122	–74,24
5	543,7	547,29	3279,14	0,17	1579	–63,33
6	465,9	400,97	2295,92	0,17	1457	–60,27
7	467,4	489,76	2217,07	0,22	1320	–54,15
8	633,2	490,52	1883,26	0,26	1377	–52,50
9	738,9	474,06	977,142	0,49	1271	–35,11
10	705,8	460,34	1033,85	0,45	1023	–33,94
11	306,4	468,93	1159,58	0,40	605	–28,03
12	49,4	464,00	1472,75	0,32	323	–23,55
13	3,9	1759,39	3517,19	0,50	50	–6,76

Результаты определения среднего ближайшего соседства по центроидам контуров с разным количеством пожаров приведены в *табл. 3*. Наиболее кластеризованы участки с количеством пожаров от 3 до 6. С ростом повторяемости пожаров снижается *Z*-оценка и наблюдаемое расстояние приближается к ожидаемому, т. е. кластеризация «очагов» пожаров проявляется в меньшей степени, несмотря на их очевидную территориальную приуроченность. Причиной этому может быть уменьшение площади, которая покрывает все анализируемые объекты (повторяемость более восьми пожаров отмечена только в Палласовском районе, зона ограничена оросительным каналом на севере и массивами пахотных и сенокосных земель на западе), из-за чего фактическое расположение центров контуров близко к случайному.

Выводы

В результате картографирования степных пожаров за 1998–2018 гг. определена площадь затронутых огнём земель в Волгоградской области: 17 % всей территории области и 40 % естественных ландшафтов. Наибольшие площади, подвергнутые пирогенному воздействию, расположены в Палласовском (6,8 тыс. км^2), Быковском (1,4 тыс. км^2) и Иловлинском (1,2 тыс. км^2) районах.

Большая часть всех гарей (66,7 %) представлена очень крупными пожарами площадью более 100 км^2 в Заволжье при их незначительном количестве — 1,2 % всех возгораний. Наибольшее количество пожаров (38,2 %) имеют площадь до 1 км^2 при суммарной площади в 1,2 % от всех гарей.

Определены закономерности многолетней динамики площадей степных пожаров. В типично степных северо-западных районах области определяющую для пожарного режима роль играют гидротермические условия текущего года: лето должно быть жарким и засушливым, поскольку естественная растительность сохранилась по склонам и днищам балок, где представлена высокопродуктивными фитоценозами. В южных и заволжских районах масштабные пожары случались в сухие годы после нескольких влажных лет, когда накапливалась мортмасса.

Наибольшая частота пожаров отмечена в Заволжье (Палаласовский район): 12,3 % всех гарей были пройдены огнём от восьми до тринадцати раз. В правобережной части «очагом» степных пожаров является Донская излучина (Иловлинский и Калачевский районы).

«Очаги» пожаров привязаны к территориям, наименее подверженным сельскохозяйственному освоению и удалённым от населённых пунктов. Индекс ближайших соседей центров контуров гарей свидетельствует о значительной кластеризации их пространственного распределения.

Разработанные слои геоинформационной системы послужат основой для анализа геоэкологических последствий степных пожаров в регионе. Объективно определена длительность пирогенных сукцессий и повторяемость пожаров, далее возможно проведение полевых исследований в ландшафтах с разным пожарным режимом. Кроме того, будут проведены работы по дистанционной оценке пирогенных изменений в ландшафтах на основе вегетационных индексов и других данных дистанционного зонирования.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Волгоградской области в рамках научного проекта № 18-45-343002 «Анализ геоэкологических последствий степных пожаров в Волгоградской области».

Литература

1. *Барталев С. А.*, *Егоров В. А.*, *Ефремов В. Ю.*, *Лупян Е. А.*, *Стыценко Ф. В.*, *Флитман Е. В.* Оценка площади пожаров на основе комплексирования спутниковых данных различного пространственного разрешения MODIS и Landsat-TM/ETM+ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 2. С. 9–26.
2. *Барталев С. А.*, *Стыценко Ф. В.*, *Хвостиков С. А.*, *Лупян Е. А.* Методология мониторинга и прогнозирования пирогенной гибели лесов на основе данных спутниковых наблюдений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 6. С. 176–193.
3. *Берлянт А. М.* Теория геоизображений. М.: ГЕОС, 2006. 262 с.
4. *Дубинин М. Ю.*, *Лущекина А. А.*, *Раделоф Ф. К.* Оценка современной динамики пожаров в аридных экосистемах по материалам космической съемки (на примере Черных земель) // Аридные экосистемы. 2010. Т. 6. № 3. С. 5–16.
5. *Кузьмина Ж. В.*, *Трешкин С. Е.* Климатические изменения в бассейне Нижней Волги и их влияние на состояние экосистем // Аридные экосистемы. 2014. Т. 20. № 3(60). С. 14–32.
6. *Лупян Е. А.*, *Барталев С. А.*, *Балашов И. В.*, *Егоров В. А.*, *Ершов Д. В.*, *Кобец Д.А*, *Сенько К. С.*, *Стыценко Ф. В.*, *Сычугов И. Г.* Спутниковый мониторинг лесных пожаров в 21 веке на территории Российской Федерации (цифры и факты по данным детектирования активного горения) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 6. С. 158–175.
7. *Опарин М. Л.*, *Опарина О. С.* Влияние палов на динамику степной растительности // Поволжский экологич. журн. 2003. № 2. С. 158–171.
8. *Павлейчик В. М.* Проблемы изучения степных пожаров (анализ результатов автоматизированного и визуального дешифрирования космических изображений) // Степи Северной Евразии: материалы 7-го Международного симп. Оренбург: ИС УрО РАН, Печатный дом «Димур», 2015. С. 603–608.
9. *Павлейчик В. М.* Условия распространения и периодичность возникновения травяных пожаров в Заволжско-Уральском регионе // География и природные ресурсы. 2017. № 2. С. 56–65.
10. *Павлейчик В. М.* Опыт применения данных дистанционного зондирования Земли в исследованиях степных пожаров // Успехи современного естествознания. 2018. № 11-2. С. 377–382.
11. *Рулев А. С.*, *Канищев С. Н.*, *Шинкаренко С. С.* Анализ сезонной динамики NDVI естественной растительности Заволжья Волгоградской области // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 4. С. 113–123.
12. *Рулев А. С.*, *Кошелева О. Ю.*, *Шинкаренко С. С.* Геоморфологические критерии проведения лесомелиорации ландшафтов (на примере Приэльтонья) // Геоморфология. 2017. № 2. С. 63–71.
13. *Рябинина Н. О.* Природа и ландшафты Волгоградской области. Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2015. 370 с.
14. *Рябинина Н. О.*, *Канищев С. Н.*, *Шинкаренко С. С.* Современное состояние и динамика степных геосистем юго-востока Русской равнины (на примере природных парков Волгоградской области) // Юг России: экология и развитие. 2018. № 1. С. 116–127.
15. *Ткаченко Н. А.* Качественная оценка и картографирование деградации пахотных земель волгоградского Заволжья // Изв. Оренбургского гос. аграрного ун-та. 2014. № 2(46). С. 21–23.
16. *Шинкаренко С. С.* Пространственно-временной анализ степных пожаров Приэльтонья на основе данных ДЗЗ // Вестн. Волгоградского гос. ун-та. Сер. 11. Естественные науки. 2015. № 1. С. 87–94.
17. *Шинкаренко С. С.* Идентификация степных пожаров по данным Landsat и MODIS // Научно-агроном. журн. 2017. № 2. С. 32–34.

18. *Шинкаренко С. С.* Оценка динамики площадей степных пожаров в Астраханской области // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 1. С. 138–146.
19. *Шинкаренко С. С.* Пожарный режим ландшафтов Северного Прикаспия по данным очагов активного горения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 1. С. 121–133.
20. *Mitchell A.* The ESRI Guide to GIS Analysis. Vol. 2: Spatial Measurements and Statistics. ESRI Press, 2005. 252 p.
21. *Sapanov M. K.* Environmental Implications of Climate Warming for the Northern Caspian Region // Arid Ecosystems. 2018. V. 8. No. 1. P. 13–21.

Analysis of steppe fires long-term dynamics in Volgograd Region

S. S. Shinkarenko[1,2], A. N. Berdengalieva[1]

[1] *Volgograd State University, Volgograd 400062, Russia*
[2] *Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Meliorations and Agroforestry RAS Volgograd 400062, Russia*
E-mails: shinkarenko@volsu.ru, gik@volsu.ru

The work is based on the investigation of the fire regime of the zonal landscapes of Northern Caspian. For the natural steppe and semi-desert landscapes of Volgograd Region, the areas burnt during 1998–2018 are determined on the basis of interpretation of Landsat images with verification according to active burning centers. Up to 40 % of the natural landscapes were subjected to pyrogenic effects in the region over the studied period, the total burning area, excluding repeatability, was 55,592.7 km^2, and their number was 3776. The largest area is found in the Trans-Volga region in the Pallasovsky municipal district. This is due to the low development of the territory, there are about 80 % of non-agricultural land, for this reason fires spread freely to large areas, for example, 4.7 thousand km^2 in 2001 and from 2.5 to 3 thousand km^2 in 1998, 2002 , 2005, 2010, 2014 and 2016, the average annual fire area in the region is 1780.5 km^2. The zone of maximum repeatability of the steppe fires is situated here — from eight to thirteen times in two decades, this kind of «center» of the steppe fires has an area of 2.4 thousand km^2 or 12.3 % of all the area burns. An analysis of the index of the nearest neighbors of the centers of the contours of the burns showed significant clustering in their spatial distribution. An objective determination of the duration of pyrogenic successions makes it possible to study the patterns of plant shifts after fires of different years based on both field and distance methods.

Keywords: natural vegetation, landscape fires, Landsat, MODIS, Volgograd Region, remote sensing

Accepted: 29.03.2019
DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-98-110

References

1. Bartalev S. A., Egorov V. A., Efremov V.Yu., Loupian E. A., Stytsenko F. V., Flitman E. V., Otsenka ploshchadi pozharov na osnove kompleksirovaniya sputnikovykh dannykh razlichnogo prostranstvennogo razresheniya MODIS i Landsat-TM/ETM+ (Integrated burnt area assesment based on combine use of multiresolution MODIS and Landsat-TM/ETM+ satellite data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 2, pp. 9–26.
2. Bartalev S. A., Stytsenko F. V., Khvostikov S. A., Loupian E. A., Metodologiya monitoringa i prognozirovaniya pirogennoi gibeli lesov na osnove dannykh sputnikovykh nablyudenii (Methodology of post-fire tree mortality monitoring and prediction using remote sensing data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2017, Vol. 14, No. 6, pp. 176–193.
3. Berlyant A. M., *Teoriya geoizobrazhenii* (Geoimage theory), Moscow: GEOS, 2006, 262 p.
4. Dubinin M. Yu., Lushchekina A. A., Radelof F. K., Otsenka sovremennoi dinamiki pozharov v aridnykh ekosistemakh po materialam kosmicheskoi s″emki (na primere Chernykh zemel') (Assessment of modern

burning dynamics in arid ecosystems using remote sensing data (case study of Chernye zemli)), *Aridnye ekosistemy*, 2010, Vol. 6, No. 3, pp. 5–16.
5. Kuzmina Zh. V., Treshkin S. E., Klimaticheskie izmeneniya v basseine Nizhnei Volgi i ikh vliyanie na sostoyanie ekosistem (Climate changes in the basin of the Lower Volga and their influence on the ecosystem), *Aridnye ekosistemy*, 2014, Vol. 20, No. 3(60), pp. 14–32.
6. Loupian E. A., Bartalev S. A., Balashov I. V., Egorov V. A., Ershov D. V., Kobets D. A., Senko K. S., Stytsenko F. V., Sychugov I. G., Sputnikovyi monitoring lesnykh pozharov v 21 veke na territorii Rossiiskoi Federatsii (tsifry i fakty po dannym detektirovaniya aktivnogo goreniya) (Satellite monitoring of forest fires in the 21st century in the territory of the Russian Federation (facts and figures based on active fires detection)), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2017, Vol. 14, No. 6, pp. 158–175.
7. Oparin M. L., Oparina O. S., Vliyanie palov na dinamiku stepnoi rastitel'nosti (Influence of fires on dynamics of steppe vegetation), *Povolzhskii ekologicheskii zhurnal*, 2003, No. 2, pp. 158–171.
8. Pavleichik V. M., Problemy izucheniya stepnykh pozharov (analiz rezul'tatov avtomatizirovannogo i vizual'nogo deshifrirovaniya kosmicheskikh izobrazhenii) (Problems of studying of steppe fires (analysis of the results of the automated detection and visual interpretation of satellite images)), *Proc. 7th Intern. Symp. "Steppes of Northern Eurasia"*, Orenburg: IS UrO RAN, Dimur Publ., 2015, pp. 603–608.
9. Pavleichik V. M., Usloviya rasprostraneniya i periodichnost' vozniknoveniya travyanykh pozharov v Zavolzhsko-Ural'skom regione (The conditions for the spread of grass fires and the periodicity of their occurrence in the Transvolga-Ural region), *Geografiya i prirodnye resursy*, 2017, No. 2, pp. 65–56.
10. Pavleichik V. M., Opyt primeneniya dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli v issledovaniyakh stepnykh pozharov (Experience of data application of remote sensing in studies of steppe fires), *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2018, No. 11-2, pp. 377–382.
11. Rulev A. S., Kanishchev S. N., Shinkarenko S. S., Analiz sezonnoi dinamiki NDVI estestvennoi rastitel'nosti Zavolzh'ya Volgogradskoi oblasti (Analysis of NDVI seasonal dynamics of natural vegetation of Low Trans-Volga in Volgograd region), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, Vol. 13, No. 4, pp. 113–123.
12. Rulev A. S., Kosheleva O. Yu., Shinkarenko S. S., Geomorfologicheskie kriterii provedeniya lesomelioratsii landshaftov (na primere Priel'ton'ya) (Geomorphological criteria in agroforestry: Lake Elton area (SE Russian plain) case study), *Geomorfologiya*, 2017, No. 2, pp. 63–71.
13. Ryabinina N. O., *Priroda i landshafty Volgogradskoi oblasti* (Nature and landscapes of Volgograd region), Volgograd: Izd. VolGU, 2015, 370 p.
14. Ryabinina N. O., Kanishchev S. N., Shinkarenko S. S., Sovremennoe sostoyanie i dinamika stepnykh geosistem yugo-vostoka Russkoi ravniny (na primere prirodnykh parkov Volgogradskoi oblasti) (The current state and dynamics of geosystems in the south-east of the Russian plain (by the example of the natural parks in Volgograd region)), *Yug Rossii: ekologiya i razvitie*, 2018, No. 1, pp. 116–127.
15. Tkachenko N. A., Kachestvennaya otsenka i kartografirovanie degradatsii pakhotnykh zemel' volgogradskogo Zavolzh'ya (Qualitative assessment and map-making of arable lands degradation in the Volgograd Zavolzhye), *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2014, No. 2(46), pp. 21–23.
16. Shinkarenko S. S., Prostranstvenno-vremennoi analiz stepnykh pozharov Priel'ton'ya na osnove dannykh DZZ (The spatial and temporal analysis of steppe fires in Lake Elton area based on RSD), *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta*, *Ser. 11*, *Estestvennye nauki*, 2015, No. 1, pp. 87–94.
17. Shinkarenko S. S., Identifikatsiya stepnykh pozharov po dannym Landsat i MODIS (Identification of steppe fires according to the data of Landsat and MODIS), *Nauchno-agronomicheskii zhurnal*, 2017, No. 2, pp. 32–34.
18. Shinkarenko S. S., Otsenka dinamiki ploshchadei stepnykh pozharov v Astrakhanskoi oblasti (Assessment of steppe burning dynamics in Astrakhan Region), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, Vol. 15, No. 1, pp. 138–146.
19. Shinkarenko S. S., Pozharnyi rezhim landshaftov Severnogo Prikaspiya po dannym ochagov aktivnogo goreniya (Fire regime of North Caspian landscapes according to the data of active burning centers), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 1, pp. 121–133.
20. Mitchell A., *The ESRI Guide to GIS Analysis*, *Vol. 2: Spatial Measurements and Statistics*, ESRI Press, 2005, 252 p.
21. Sapanov M. K., Environmental Implications of Climate Warming for the Northern Caspian Region, *Arid Ecosystems*, 2018, Vol. 8, No. 1, pp. 13–21.