# Пожарный режим ландшафтов Северного Прикаспия по данным очагов активного горения

**С. С. Шинкаренко**

*Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, Волгоград, 400062, Россия*
*E-mail: vnialmi@bk.ru*

В статье рассмотрены результаты пространственно-временного анализа активных очагов горения в Северном Прикаспии. Многие исследователи отмечают рост интенсивности ландшафтных пожаров в последние два десятилетия. Это связано с появлением большого количества залежных земель и снижением пастбищных нагрузок на рубеже XX и XXI вв. на фоне роста температуры и увлажнения. В результате накапливается фитомасса, которая во время летних засух способствует распространению пожаров на значительные площади. В ходе работы проведена классификация территории Калмыкии, Астраханской и Волгоградской областей России, а также Атырауской и Западно-Казахстанской областей Казахстана по среднегодовому количеству очагов горения FIRMS (Fire Information for Resource Management System), определены месяцы с максимальной интенсивностью пожаров. В типично-степных и сухостепных ландшафтах преобладают пожары в конце лета – начале осени. В полупустыне основная часть палов отмечается летом, регулярны весенние пожары в долинах Волги и Урала в апреле. В северопустынных ландшафтах треть очагов пожаров приходятся на март и апрель. Изучена возможность использования данных об активных очагах горения для оценки площадей степных пожаров на основе сопоставления гарей за 2017 г., дешифрированных по спутниковым снимкам Landsat, и количества термоточек, попадающих в границы гарей. С увеличением площади пожаров растёт и количество соответствующих им точек, но при этом снижается число точек на единицу площади пожаров. Около половины пожаров не отражены продуктом FIRMS, их средняя площадь составляет 3–4 км$^2$, но доля в общей площади сгоревших территорий не превышает 2 %. Более 90 % площади пожаров составляют возгорания площадью более 50 км$^2$. Самые большие гари (до 9 тыс. км$^2$) расположены на границе Атырауской и Западно-Казахстанской областей. Низкие плотность населения и степень хозяйственной освоенности территории способствуют распространению огня. Всего в регионе в 2017 г. зафиксировано 437 степных пожара общей площадью 50 096 км$^2$.

**Ключевые слова:** ландшафтные пожары, ГИС, ДЗЗ, MODIS, Landsat, FIRMS, активные очаги горения, мониторинг, Прикаспий

Одобрена к печати: 12.10.2018
DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-1-121-133

## Введение

В последние два десятилетия на территории нашей и сопредельных стран наблюдается интенсификация ландшафтных пожаров, причём возрастает не только их масштабность, но и частота. Проблеме пожаров в лесной зоне отводится достаточное внимание (Барталев и др., 2017; Лупян и др., 2017), но в степных, полупустынных и пустынных ландшафтах пожары исследованы ещё недостаточно, имеющиеся работы касаются территорий отдельных регионов: Волгоградской, Астраханской, Оренбургской областей, Чёрных земель, Даурии, некоторых областей Казахстана (Архипкин и др., 2007; Барталев и др., 2012; Дубинин и др., 2010; Павлейчик, 2016; Шинкаренко, 2015, 2018). В то же время пирогенный фактор является одним из важнейших параметров, воздействующих на растительность (Ильина, 2011). По мнению ряда исследователей, степные пожары способствуют улучшению состояния пастбищ. Другие учёные, напротив, отмечают их деструктивное воздействие на естественные фитоценозы, также пожары вызывают гибель членистоногих и грызунов (Немков, Сапига, 2010; Опарин, Опарина, 2003), способствуют развитию эрозионных процессов (Попов, 2004). Таким образом, изучение пожарного режима территорий должно являться важной частью

комплексных ландшафтных исследований. В первую очередь необходимо определить сгоревшие территории, частоту пожаров на них и периоды наибольшей пожарной опасности.

Работа направлена на изучение ландшафтных пожаров в Северном Прикаспии — территории, расположенной в зонах пустынь, полупустынь и степей. Исследование охватывает республику Калмыкия, Астраханскую и Волгоградскую области России, а также Атыраускую и Западно-Казахстанскую (ЗКО) области Казахстана. Западная и северо-восточная части рассматриваемой территории относятся к степным типам ландшафтов (правобережье Волгоградской области, запад Калмыкии, прилегающие к границе с Оренбургской областью участки Западно-Казахстанской области). Волгоградское Заволжье и центральная часть Западно-Казахстанской области, север Астраханской области и Калмыкии представлены полупустынными типами ландшафтов, более южные районы относятся к пустынным ландшафтам. По долинам рек в северную часть региона проникают интразональные лесостепные ландшафты (Швиденко и др., 2007). Растительность в регионе представлена степным и пустынным типами. В первом доминируют дерновинные злаки (*Agropyron*, *Stipa*, *Festuca*, *Poa* и т. д.), во втором — полукустарнички (*Anabasis*, *Artemisia*, *Camphorosma*, *Kochia*) (Сафронова, 2008; Сафронова, Степанова, 2018).

Норма осадков меняется от 448 мм на северо-западе (Урюпинск) до 169 мм на юго-востоке (Атырау), среднегодовые температуры по этим метеостанциям составляют 7,1 и 9,9 °С соответственно. Тенденции климатических изменений, направленные на рост температур и осадков (Кузьмина, Трешкин, 2014), на фоне снижения пастбищных нагрузок и площади пахотных земель на рубеже XX и XXI вв. способствовали развитию травянистой растительности, накоплению растительной ветоши, что привело к активизации ландшафтных пожаров (Павлейчик, 2016).

## Материалы и методы

Основой для работы послужили архивные данные об активных очагах горения FIRMS за 2001–2017 гг. Данные FIRMS предоставляются в формате shapefile в географической системе координат WGS84, для работы они были спроецированы в UTM, зона 40 (EPSG 32640). Исследуемую территорию разбили на ячейки 10×10 км и для всех рассчитали количество термоточек за период 2001–2017 гг., среднегодовое количество термоточек и их распределение по месяцам, в том числе были определены месяцы, в которые наблюдается максимальное число активных очагов горения. По центроидам ячеек построена изолинейная карта среднего многолетнего количества термоточек. При оформлении карты изолинии были классифицированы по квантилям.

Определение контуров степных пожаров основывалось на визуальном дешифрировании космоснимков Landsat-8 OLI с верификацией по данным FIRMS и MCD45 — продукту MODIS о сгоревших территориях (*рис. 1*, см. с. 123). Даты снимков (*табл. 1*) подбирались исходя из сезонной динамики числа активных очагов горения MODIS (август и сентябрь). На основе автоматизированных алгоритмов обработки космоснимков внутри контуров гарей были классифицированы и вырезаны объекты, которые к ним не относятся (водоёмы, солончаки, открытые пески и т. п.). Использование при исследованиях ландшафтных пожаров комплексных данных дистанционного зондирования разного пространственного разрешения позволяет достаточно оперативно получить результаты с необходимой точностью (Дубинин и др., 2010). При этом визуальное дешифрирование имеет преимущество перед автоматическими и управляемыми классификациями и имеющимися сервисами с данными о пожарах (Павлейчик, 2015). Этот подход уже был успешно опробован в регионе для картографирования степных пожаров на примере Астраханской области (Шинкаренко, 2018). Гари были разделены по площади на размерные классы, предложенные в работе (Дубинин и др., 2010).

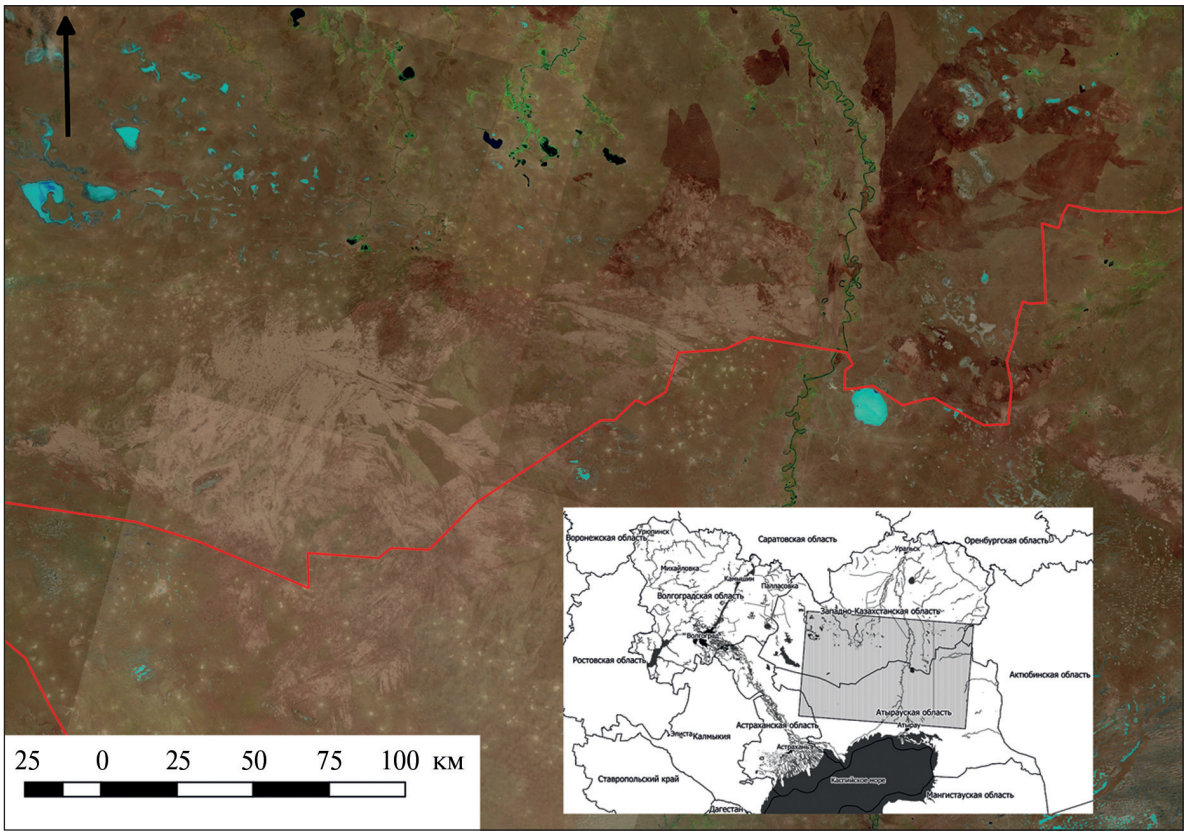


*Рис. 1.* Космоснимки Landsat-8 (август – сентябрь), иллюстрирующие степные пожары в Западном Казахстане в 2017 г.

*Таблица 1.* Даты спутниковых снимков Landsat-8 за 2017 г., используемых для дешифрирования гарей

| Колонка | Ряд | Дата | Колонка | Ряд | Дата |
|---|---|---|---|---|---|
| 164 | 27 | 11 сентября | 169 | 27 | 14 сентября |
| 164 | 28 | 11 сентября | 169 | 28 | 14 сентября |
| 165 | 25 | 18 сентября | 169 | 29 | 14 сентября |
| 165 | 26 | 18 сентября | 170 | 25 | 21 сентября |
| 165 | 27 | 18 сентября | 170 | 26 | 21 сентября |
| 165 | 28 | 18 сентября | 170 | 27 | 21 сентября |
| 166 | 24 | 25 сентября | 170 | 28 | 22 сентября |
| 166 | 25 | 25 сентября | 171 | 25 | 12 сентября |
| 166 | 26 | 25 сентября | 171 | 26 | 28 сентября |
| 166 | 27 | 25 сентября | 171 | 27 | 12 сентября |
| 167 | 24 | 16 сентября | 171 | 28 | 12 сентября |
| 167 | 25 | 16 сентября | 172 | 25 | 19 сентября |
| 167 | 26 | 16 сентября | 172 | 26 | 19 сентября |
| 167 | 27 | 16 сентября | 172 | 27 | 19 сентября |
| 167 | 28 | 16 сентября | 172 | 28 | 19 сентября |
| 168 | 24 | 23 сентября | 173 | 24 | 10 сентября |
| 168 | 25 | 23 сентября | 173 | 25 | 10 сентября |
| 168 | 26 | 22 августа | 173 | 26 | 26 сентября |
| 168 | 27 | 22 августа | 173 | 28 | 26 сентября |
| 168 | 28 | 23 сентября | 174 | 24 | 17 сентября |
| 169 | 25 | 29 августа | 174 | 25 | 17 сентября |
| 169 | 26 | 14 сентября | 174 | 26 | 17 сентября |

Геоинформационная обработка проводилась в программе QGIS 2.14. Площади полигонов рассчитаны на эллипсоиде WGS84. В качестве базовой основы для карт использованы скорректированные автором слои водных объектов и административных границ проекта Open street maps, распространяемые по лицензии Open Data Commons Open Database License (ODbL).

## Результаты и обсуждение

В течение года наблюдается выраженный пик количества очагов горения, который приходится на вторую половину лета. Это связано с тем, что в регионе в этот период устанавливается атмосферная засуха, которая создаёт благоприятные для возникновения и распространения ландшафтных пожаров условия. В среднем по исследуемому региону четверть всех возгораний отмечена в августе, до 16 % — в июле, 14 % — в сентябре. Ещё 25 % термоточек приходятся на март и апрель, оставшиеся 20 % — на июнь (8 %), октябрь (7 %), май (3 %) и остальные месяцы. Сезонные особенности распределения ландшафтных пожаров показаны на *рис. 2*.

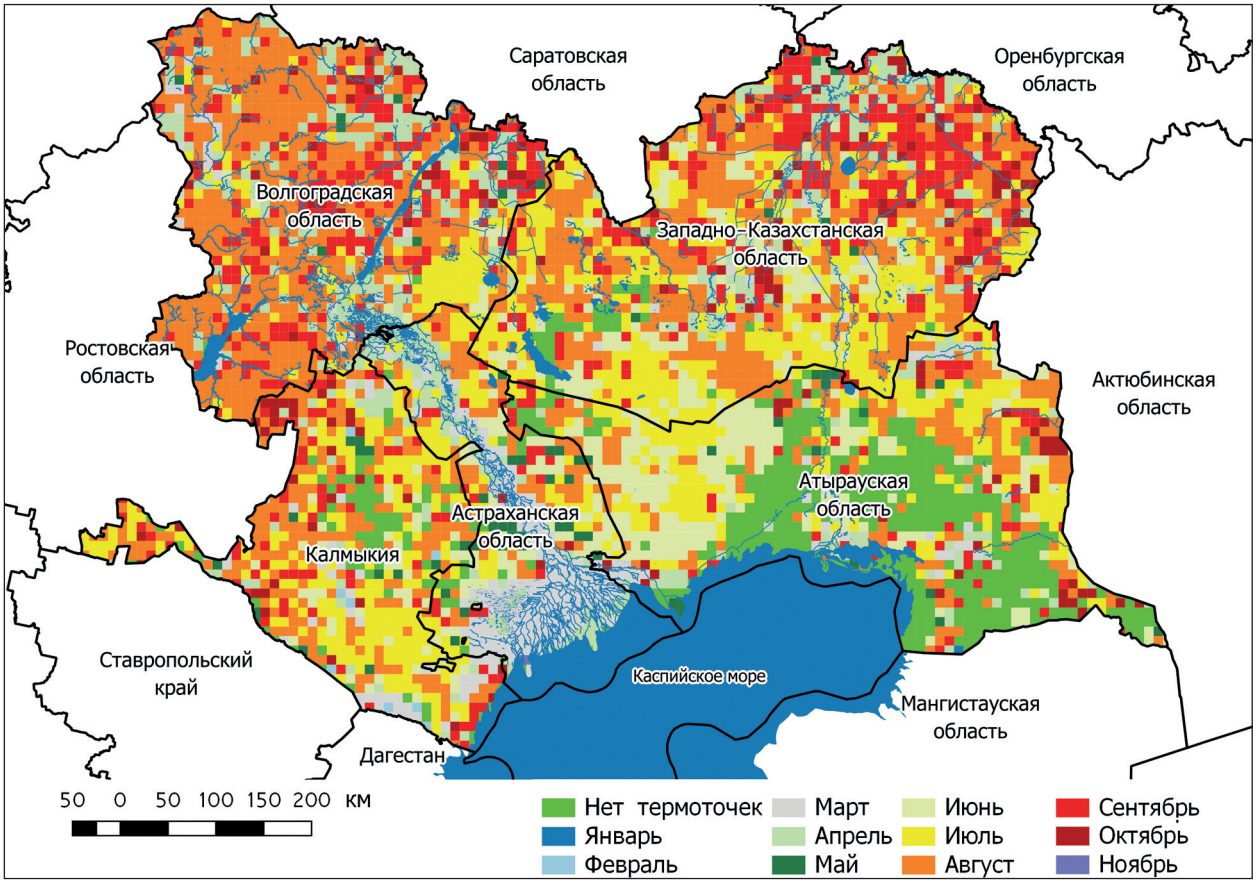


*Рис. 2.* Пространственно-временное распределение очагов активного горения

В Астраханской области более половины пожаров приходится на март (37 %) и апрель (27 %). В это время здесь интенсивно горит сухой тростник в Волго-Ахтубинском междуречье и дельте Волги (Дымова, 2015). В мае – сентябре в пойме и дельте нет явных временных пиков, число термоточек распределено более-менее равномерно. В зональных ландшафтах максимум числа очагов горения наблюдается в августе и сентябре. В Волгоградской области также часто отмечаются тростниковые пожары в долине Волги, но в отличие от Астраханской области максимум весенних палов в регионе отмечен в апреле (15 %). Большая часть ланд-

шафтных пожаров приходится на июль (13 %), август (32 %) и сентябрь (20 %). Летом характерны лесные и степные пожары. В сентябре и октябре многочисленны поджоги пожнивных остатков на сельскохозяйственных землях. В Калмыкии доля весенних пожаров заметно ниже: по 9 % в марте и апреле, они приходятся главным образом на побережье Каспия (тростниковые пожары). Максимум количества пожаров отмечен в июле (25 %) и августе (28 %), в сентябре — 13 %.

Похожая ситуация складывается и в Западно-Казахстанской области, но здесь ещё ниже доля весенних пожаров: в марте и апреле на долину Урала суммарно приходится 10 % всех очагов горения региона. Увеличивается доля возгораний в июне до 11 %, когда на территории РФ она не превышает 7 %. Наибольшее число термоточек также наблюдается в июле – сентябре — 22, 27, 18 % соответственно. В Атырауской области максимальное количество очагов горения отмечается в первой половине лета — в июне (20 %) и июле (22 %), в низовьях Урала и на побережье Каспия до 16 % термоточек региона приходятся на апрель и март.

В целом по всему району исследований максимум интенсивности пожаров в течение сезона распределяется так: в августе — в Волгоградской и Западно-Казахстанской областях (по 9 % от всех очагов), в марте — в Астраханской области (7 %) и в июле — в Западно-Казахстанской (7 %); ещё по 6 % — в сентябре в Волгоградской и Западно-Казахстанской областях.

Особенности сезонного распределения очагов горения в ландшафтах отражает *табл. 2*. В типично-степных и сухостепных ландшафтах преобладают пожары в конце лета – начале осени (август — 33 %, сентябрь — 19–21 %, июль и октябрь — по 10–13 %). В полупустыне основная часть палов отмечается летом, регулярны весенние пожары в долинах Волги и Урала в апреле (13 %). В северопустынных ландшафтах 37 % очагов пожаров приходятся на март (21 %) и апрель (16 %), они относятся преимущественно к дельтовым и аллювиально-аккумулятивным ландшафтам речных долин. В морских и эоловых аккумулятивных ландшафтах преобладают летние пожары. Лесостепные типы ландшафтов представлены относительно небольшими площадями долин рек Донского бассейна, здесь преобладают палы весной, а также в конце лета – начале осени: август (19 %), сентябрь (17 %), октябрь (13 %). Для всех типов ландшафтов и административных единиц характерно незначительное количество пожаров в мае, так как на этот месяц приходится пик вегетации и растительные органы имеют высокую влажность, что приводит к низкой горимости.

*Таблица 2.* Сезонное распределение очагов горения в разных подтипах ландшафтов

| Подтип ландшафта | Доля активных очагов горения, % | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Весна | Лето | Осень | В общем количестве термоточек по региону |
| Лесостепные | 37 | 31 | 32 | 1 |
| Полупустынные | 20 | 60 | 20 | 14 |
| Северопустынные | 41 | 44 | 13 | 22 |
| Сухостепные | 18 | 46 | 36 | 26 |
| Типично-степные | 23 | 47 | 30 | 38 |

По абсолютному показателю числа активных очагов горения за исследуемый период лидируют северопустынные ландшафты: 38 % при средней плотности точек 0,41 шт./км$^2$. Далее следуют полупустынные ландшафты (26 % очагов горения, плотность термоточек 0,44 шт./км$^2$), сухостепные (21,5 %, 0,59 шт./км$^2$), типично-степные (14 %, 0,73 шт./км$^2$) и лесостепные (>1 %, 0,38 шт./км$^2$). Количество очагов пожаров в административных единицах распределяется так: Астраханская область — 19 % (плотность 0,82 шт./км$^2$), Волгоградская — 29 % (0,63 шт./км$^2$), Атырауская — 12 % (0,24 шт./км$^2$), Западно-Казахстанская — 33 % (0,54 шт./км$^2$), Калмыкия — 7 % (0,23 шт./км$^2$). Средняя плотность очагов горения по всему исследуемому региону составляет 0,48 шт./км$^2$.

Интенсивность ландшафтных пожаров отражает изолинейная карта среднегодового количества активных очагов горения в ячейках 10×10 км (*рис. 3*). Выделяются ареалы максимального числа пожаров — дельта Волги и Волго-Ахтубинское междуречье. Здесь преобладают тростниковые пожары. Тростник (*Phragmites australis*) восстанавливается после весенних пожаров в течение этого же сезона и обеспечивает наличие мортмассы на следующий за пожаром год. В результате тростниковые пожары могут возникать ежегодно на одном и том же месте (Дымова, 2015). Кроме этого, велика частота пожаров на юго-западе и северо-западе Волгоградской области, западе Калмыкии, а также на севере Западно-Казахстанской области. Эти территории практически полностью распаханы, и ландшафтные пожары в результате сжигания пожнивных остатков здесь случаются каждый год.

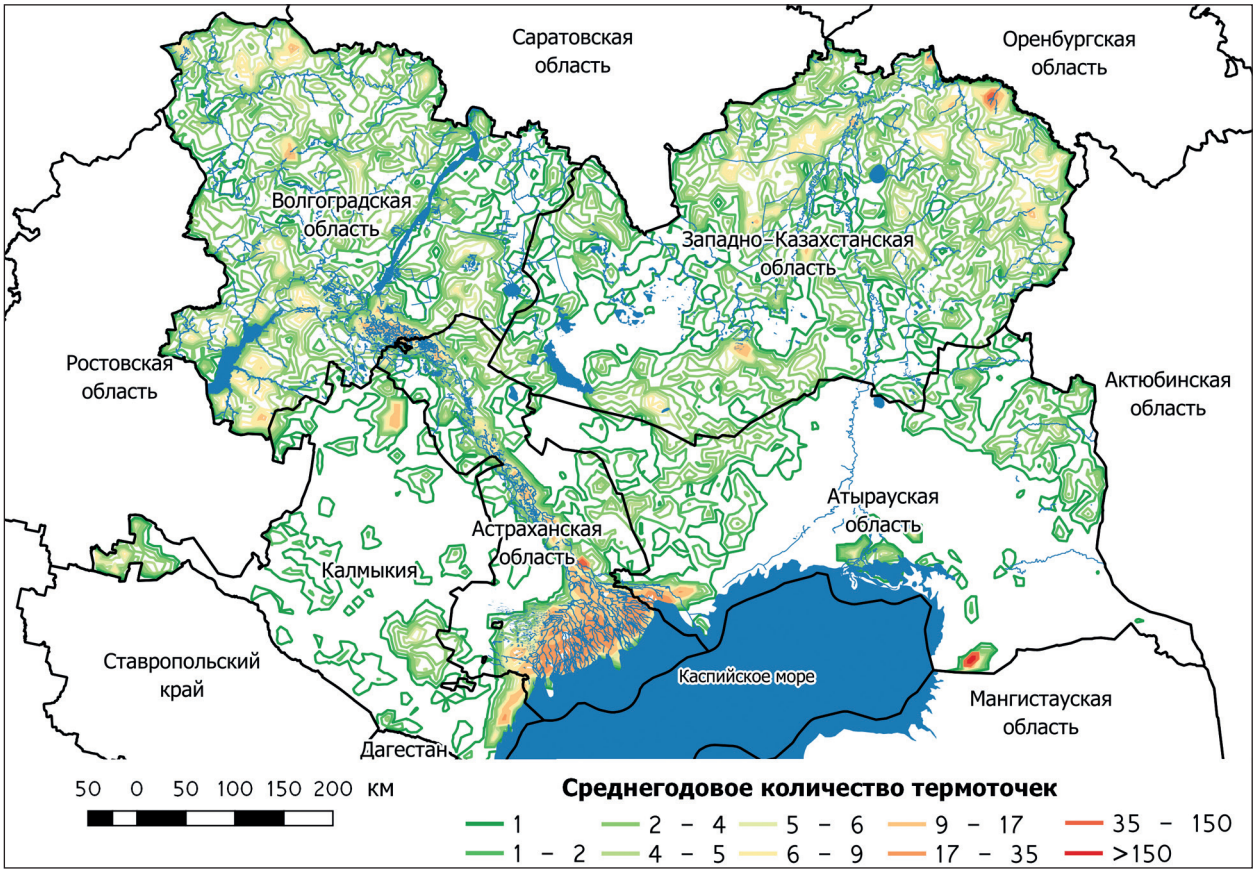


*Рис. 3.* Изолинейная карта среднегодового количества активных очагов горения

Кроме природных пожаров продукт FIRMS фиксирует и техногенные тепловые источники, например предприятия нефтяного и газового промысла, факелы которых могут быть интерпретированы как очаги горения, причём термоточки здесь фиксируются практически ежедневно (Терехов, Муратова, 2006). На *рис. 3* яркими очагами выделяются несколько таких объектов: Астраханское газоконденсатное месторождение (на 60 км севернее Астрахани), Чинаревское, Западно-Тепловское, Карачаганакское и Дарьинское нефтегазоконденсатные месторождения на северо-востоке Западно-Казахстанской области, Кисимбай, Кашаган Восточный и Западный, Тенгиз, Кайран, Западная Прорва юго-восточнее г. Атырау. Стационарные техногенные тепловые источники должны быть отдельно картированы и не учитываться при оценке пожарного режима природных ландшафтов.

Значительно меньшее количество очагов горения наблюдается в Калмыкии и Астраханском Правобережье. Ландшафты здесь представлены северопустынной морской аккумулятивной равниной с разреженной малопродуктивной растительностью. Для возникновения пожаров в таких условиях необходимо накопление мортмассы в течение нескольких

лет либо благоприятный по гидротермическим условиям год. К тому же на этой территории достаточно велики пастбищные нагрузки и из-за стравливания растительная ветошь отсутствует (Шинкаренко, 2018). Выделяется только район Чёрных земель на границе Калмыкии и Астраханской области, где расположен ряд ООПТ: заповедник «Чёрные земли», заказники «Степной» и «Меклетинский», на территории которых запрещён выпас (Кулик и др., 2018). В результате здесь образуется достаточное для развития пожаров количество мортмассы и пожары отмечаются каждые несколько лет (Дубинин и др., 2010).

Минимальное количество очагов горения характерно для северопустынных солончаковых аккумулятивных ландшафтов (Атырауская область и окрестности солончака Хаки в Западно-Казахстанской области). Низкая сомкнутость травостоя в сочетании с высокой влажностью почвы и мясистостью вегетативных органов галофитной растительности препятствуют распространению ландшафтных пожаров.

Среди пустынных ландшафтов наибольшая интенсивность пожаров наблюдается в Рынпесках и астраханском Заволжье. Плотность животноводческих хозяйств здесь ниже, чем на остальных территориях, практически отсутствуют населённые пункты. В связи с этим значительно ниже пастбищные нагрузки, а возникшие пожары не тушатся, так как отсутствует угроза хозяйственным объектам и населённым пунктам.

Применение продуктов FIRMS для оценки площадей лесных пожаров даёт результаты достаточно высокой точности (Лупян и др., 2017). Травяные пожары намного более динамичны, и за периоды между съёмками фронт пожара может преодолеть значительные расстояния, особенно при благоприятных погодных условиях и достаточном количестве горючего материала. Соответственно, термоточки охватят только часть гари — фронт пожара в момент съёмки. Ещё один фактор, снижающий эффективность применения данных MODIS, — относительно более низкая интенсивность горения травянистой растительности и быстрое остывание гарей, из-за чего не все пожары фиксируются. Для оценки охвата степных пожаров данными об активных очагах горения спектрорадиометра MODIS (спутники Terra и Aqua) были картографированы пожары в зональных ландшафтах с естественной растительностью за 2017 г. на основе снимков Landsat (*рис. 4*, см. с. 128), после чего гари были распределены по размерным классам и построен график связи размеров гарей с количеством термоточек, которое они охватывают.

В количественном отношении преобладают небольшие по площади (менее 2 км$^2$) возгорания — 30 % всех пожаров, но при этом на этот класс приходится всего 0,2 % площади гарей (*табл. 3*, *4*). Большая часть пожаров площадью от 2 до 10 км$^2$ отмечена в степных ландшафтах Волгоградской (75) и Западно-Казахстанской (158) областей, где пашня занимает значительные площади и возгорания естественной растительности возможны только по различным необрабатываемым неудобьям — балкам, днищам оврагов и т. п.

Следует отметить, что величины в таблицах по всему региону исследований могут не совпадать с суммой по отдельным субъектам. Это связано с тем, что при отсечении сгоревших площадей по административным границам «пограничные» гари могли разделиться на части, соответствующие меньшим размерным классам.

*Таблица 3.* Площади пожаров различных размерных классов в Северном Прикаспии в 2017 г.

| Регион | Площадь степных пожаров, км$^2$ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Размерные классы, км$^2$ | | | | | |
| | <2 | 2–6 | 6–10 | 10–20 | 20–50 | >50 |
| Астраханская область | 6,4 | 30,0 | 43,3 | 126,6 | 129,2 | 2157,0 |
| Волгоградская область | 24,3 | 92,7 | 140,5 | 144,6 | 249,3 | 1991,4 |
| Калмыкия | 6,3 | 20,9 | 36,9 | 79,7 | 168,7 | 1216,8 |
| Атырауская область | 15,9 | 20,5 | 13,6 | 18,2 | 9,1 | 22,7 |
| ЗКО | 67,8 | 180,8 | 165,8 | 294,2 | 662,8 | 32 959,8 |
| Северный Прикаспий | 88,9 | 361,1 | 393,8 | 744,7 | 1286,5 | 47 194,7 |

*Таблица 4.* Общее количество и площади степных пожаров в Северном Прикаспии в 2017 г.

| Регион | Количество | Площадь, км$^2$ | Средняя площадь пожара, км$^2$ |
|---|---|---|---|
| Астраханская область | 39 | 2492,5 | 63,9 |
| Волгоградская область | 105 | 2642,7 | 25,2 |
| Калмыкия | 27 | 1529,4 | 56,6 |
| Атырауская область | 44 | 9078,4 | 206,3 |
| ЗКО | 243 | 34 331,2 | 141,2 |
| Северный Прикаспий | 437 | 50 069,6 | 114,6 |

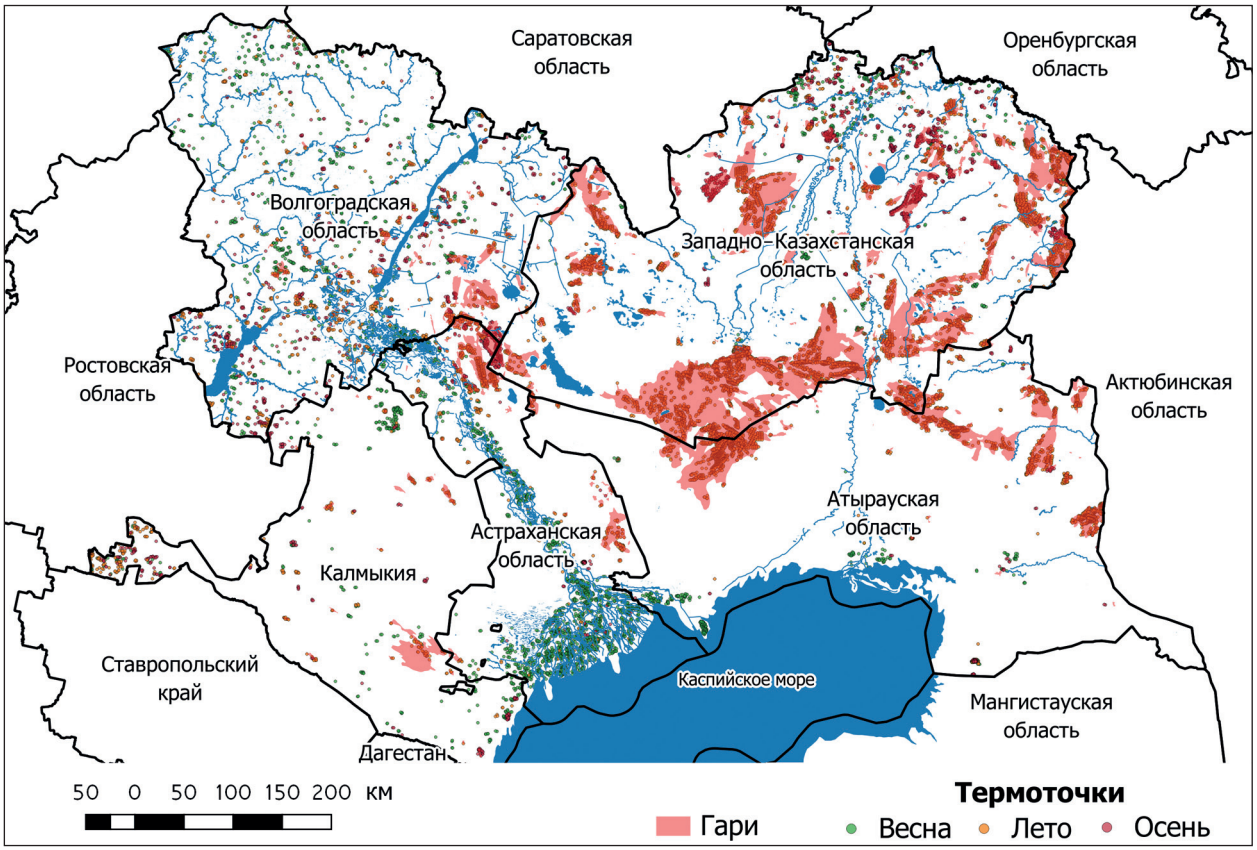


*Рис. 4.* Степные пожары и очаги активного горения в Северном Прикаспии за 2017 г.

В ландшафтном отношении большая часть сгоревшей площади находится в пустынях — 51 %. В полупустынях зафиксировано 36 %, в степях — 13 % площадей пожаров. В степных ландшафтах, как было отмечено выше, в количественном отношении преобладают гари до 10 км$^2$ (около 69 %) суммарной площадью 27,1 км$^2$, или 0,4 % от площади всех гарей в этом типе ландшафта; 92 % площади пожаров в степных ландшафтах обеспечено гарями более 50 км$^2$. В полупустыне наибольшее число гарей — от 10 до 50 км$^2$, но 95 % площади возгараний приходятся на пожары более 50 км$^2$. В пустынях и по количеству очагов, и по их площадям преобладают пожары самого крупного размерного класса (98 % всех гарей). В степях средняя площадь пожаров естественной травянистой растительности в 2017 г. составила 61 км$^2$, в полупустыне — 168 км$^2$, в пустынях — 601 км$^2$. Пожары на таких огромных площадях бывают далеко не каждый год (Архипкин и др., 2007; Павлейчик, 2016; Шинкаренко, 2018). Исследуемому периоду предшествовали два года с благоприятными гидротермическими условиями для развития растительности, в результате было накоплено большое количество мортмассы, что способствовало распространению огня. Самая большая гарь в регионе в 2017 г. зафиксирована на границе Атырауской и Западно-Казахстанской областей. Её пло-

щадь в 9649 км$^2$ была пройдена пожаром за 19 дней — с 13 по 31 июля, вторая по площади гарь в 6243 км$^2$ была преодолена за 16 дней — с 1 по 16 июля. В первом случае среднесуточная скорость распространения огня составила 508 км$^2$/сут, во втором — 390 км$^2$/сут, или 21 и 16 км$^2$/ч соответственно.

Взаимосвязи площади отдельных гарей и количества очагов горения FIRMS внутри них показаны на *рис. 5*. Чем больше площадь пожара, тем больше термоточек он охватывает (см. *рис. 5б*), но в то же время с её ростом снижается и количество термоточек на единицу площади гари.

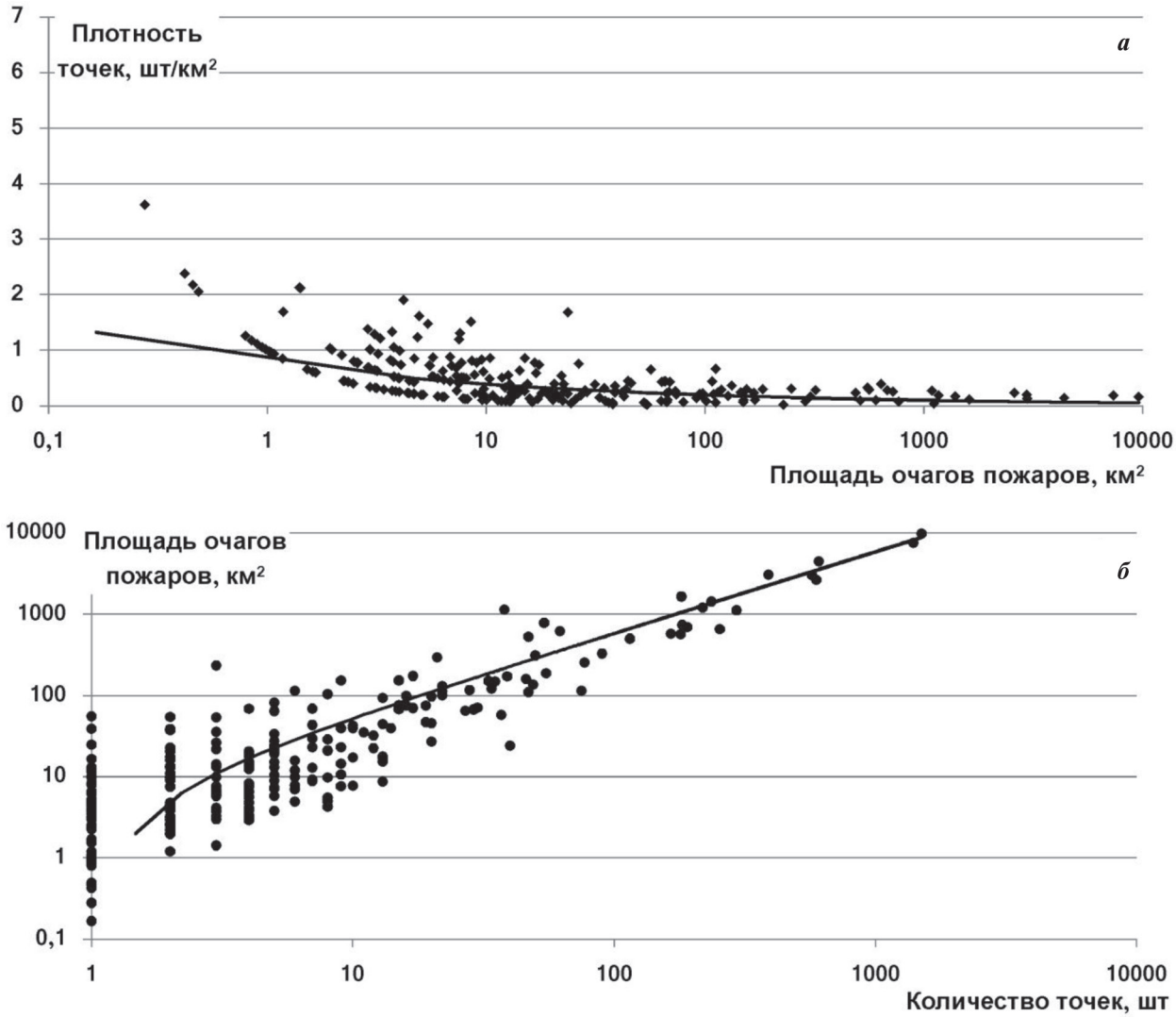


*Рис. 5.* Связь площадей очагов пожаров с количеством термоточек на примере степных пожаров 2017 г.: *а* — зависимость плотности термоточек внутри очага от его площади, полулогарифмический масштаб; *б* —связь площади гари с количеством точек внутри неё, логарифмический масштаб

На 1 км$^2$ гарей площадью до 2 км$^2$ в среднем приходится 1,2 термоточки, а у пожаров более 50 км$^2$ плотность термоточек составляет уже 0,18 шт./км$^2$ (см. *рис. 5а*). При этом из 437 зафиксированных гарей только 244 включали очаги активного горения FIRMS. Неохваченные термоточками гари, несмотря на значительное количество, занимают всего 870 км$^2$, или 1,7 % сгоревшей площади, средняя площадь — 3,56 км$^2$.

Таким образом, точное определение площади степных пожаров по материалам FIRMS невозможно, а данные о сгоревших площадях MCD45 охватывают всего до 40 % степных пожаров (Шинкаренко, 2017). Поэтому точность при определении гарей может быть обеспечена

только визуальным дешифрированием спутниковых снимков разрешением не ниже среднего с верификацией по материалам спектрорадиометра MODIS при наличии эталонов сгоревших площадей и достаточным опытом дешифровщика.

## Выводы

Анализ архива данных об активных очагах горения FIRMS позволил установить сезонные особенности пожарного режима Северного Прикаспия для различных типов ландшафтов и административных единиц России и Казахстана, расположенных на этой территории. Весенние пожары преобладают в долинах р. Урал, Дон, Волга и их притоков. При этом в дельтах Волги и Урала, а также в южной части Волго-Ахтубинской поймы большая часть пожаров случается в марте, тогда как в северной части Волжской поймы и бассейне Дона — в апреле. В целом по региону преобладают летние пожары, поскольку в этот период устанавливается атмосферная засуха, способствующая возникновению и распространению ландшафтных пожаров.

Территория наибольшей частоты пожаров — дельта Волги и Волго-Ахтубинская пойма. Здесь преобладают тростниковые палы. Тростник на месте пожаров восстанавливается в течение вегетационного сезона, и следующей весной на тех же местах могут возникать новые пожары. Значительная плотность термоточек отмечена в степных ландшафтах, практически полностью распаханных, это объясняется ежегодным сжиганием пожнивных остатков. На пастбищах с разной степенью сбитости и в солончаковых ландшафтах частота пожаров минимальна из-за отсутствия мортмассы: в первом случае — из-за стравливания скотом, во втором — в силу естественной низкой сомкнутости и высокой влажности вегетативных органов галофитной растительности.

Картографирование степных пожаров за 2017 г. с высокой точностью позволило установить площади, пройденные огнём. Почти 90 % площади гарей обеспечено пожарами площадью более 50 км$^2$, при средней площади гари 114,6 км$^2$. Размер очагов природных пожаров возрастает от степных к пустынным ландшафтам. В условиях тотальной распашки степей возгорания естественной растительности возникают только по различным неудобьям и имеют относительно небольшую площадь. В пустынных и полупустынных ландшафтах преобладает пастбищное природопользование, и на территориях с низкой плотностью населения и животноводческих хозяйств огонь распространяется на значительные пространства.

Анализ взаимосвязи площадей отдельных пожаров с количеством и плотностью термоточек показал, что с ростом площади пожаров увеличивается и количество соответствующих им «горячих пикселей». В то же время снижается их количество на единицу площади пожара. Это связано с динамичностью травяных палов, способных за период обращения спутника преодолеть десятки квадратных километров. Около половины гарей не охвачены данными FIRMS, средняя площадь таких пожаров составляет 3–4 км$^2$. Поэтому точное определение площадей степных пожаров возможно только на основе визуального дешифрирования с контролем на основе полевых исследований и данных MODIS об активных очагах горения. Для установления закономерностей пожарного режима региона необходимо продолжение работы по дешифрированию гарей за другие годы и сопоставление площадей с гидротермическими и ландшафтными условиями, особенностями использования территорий (пастбищные нагрузки, распаханность, плотность населённых пунктов и т. п.).

## Литература

1. *Архипкин О. П.*, *Спивак Л. Ф.*, *Сагатдинова Г. Н.* Пятилетний опыт оперативного космического мониторинга пожаров в Казахстане // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2007. Т. 1. № 4. С. 103–110.
2. *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.

3. *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.
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. *Дымова Т. В.* Мониторинг природных пожаров на территории Астраханской области // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2015. № 3(13). С. 16–21.
6. *Ильина В. Н.* Пирогенное воздействие на растительный покров // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2011. Т. 20. № 2. С. 4–30.
7. *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.
8. *Кулик К. Н.*, *Петров В. И.*, *Рулев А. С.*, *Кошелева О. Ю.*, *Шинкаренко С. С.* К 30-летию «Генеральной схемы по борьбе с опустыниванием Черных земель и Кизлярских пастбищ» // Аридные экосистемы. 2018. Т. 24. № 1(74). С. 5–12.
9. *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.
10. *Немков В. А.*, *Сапига Е. А.* Влияние пожаров на фауну наземных членистоногих заповедных степных экосистем // Экология. 2010. № 2. С. 141–147.
11. *Опарин М. Л.*, *Опарина О. С.* Влияние палов на динамику степной растительности // Поволжский эколог. журн. 2003. № 2. С. 158–171.
12. *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, 2015. С. 603–608.
13. *Павлейчик В. М.* Многолетняя динамика природных пожаров в степных регионах (на примере Оренбургской области) // Вестник Оренбургского гос. ун-та. 2016. № 6(194). С. 74–80.
14. *Попов А. В.* Степные пожары и сохранение биоразнообразия ООПТ Северного Прикаспия // Заповедное дело: проблемы охраны и экологической реставрации степных экосистем: Материалы международной конф. Оренбург: Газпромпечать, 2004. С. 152–153.
15. *Сафронова И. Н.* Еще раз к вопросу о границе между степной и пустынной зонами в Нижнем Поволжье // Поволжский эколог. журн. 2008. № 4. С. 334–343.
16. *Сафронова И. Н.*, *Степанова Н. Ю.* Современный растительный покров Прикаспийской низменности на юго-востоке Европейской части России // Поволжский эколог. журн. 2018. № 1. С. 76–86.
17. *Терехов А. Г.*, *Муратова Н. Р.* Детектирование тепловых источников в Казахстанском секторе Каспийского региона по данным NOAA/AVHRR // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2006. Т. 1. №. 3. С. 134–142.
18. *Швиденко А.*, *Щепащенко Д.*, *МакКаллум Я.*, *Нильссон С.* Леса и лесное хозяйство России / Международный институт прикладного системного анализа, Российская Академия наук. Лаксенбург, Австрия, 2007. Электрон. дан. и прогр. 1 электрон. опт. диск CD-ROM. URL: http://www.iiasa.ac.at/Research/FOR/forest_cdrom/index.html.
19. *Шинкаренко С. С.* Пространственно-временной анализ степных пожаров в Приэльтонье на основе данных ДЗЗ // Вестник Волгоградского гос. ун-та. Сер. 11: Естественные науки. 2015. № 1. С. 87–94.
20. *Шинкаренко С. С.* Идентификация степных пожаров по данным Landsat и MODIS // Научно-агроном. журн. 2017. № 2. С. 32–34.
21. *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.

# Fire regime of North Caspian landscapes according to the data of active burning centers

**S. S. Shinkarenko**

*Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Meliorations and Agroforestry RAS, Volgograd 400062, Russia*
*E-mail: vnialmi@bk.ru*

The paper discusses the results of space-time analysis of active burning centers in North Caspian. Over the past two decades, a lot of researchers have noted an increase in the intensity of landscape fires. This is connected with the emergence of a large number of fallow lands and a decrease in pasture loads at the turn of the 20th and 21st centuries amid rising temperatures and humidification. As a result, the phytomass accumulates that contributes to fire spreading over significant areas during summer droughts. A classification of Astrakhan and Volgograd Regions, Kalmykia in Russia and Atyrau and West Kazakhstan regions of Kazakhstan is carried out according to the average number of FIRMS (Fire Information Resource Management System) burning centers; also, the months with maximum fire intensity are determined. In typical-steppe and dry-steppe landscapes fires prevail in the end of summer – beginning of autumn. In the semi-desert the main part of fire sites is observed in summer, spring fires in the valleys of the Volga and the Urals regularly happen in April. In north-desert landscapes the third part of fires occurs in March and April. The possibility of using data on active burning canters has been studied in order to estimate the scale of steppe fires from comparison of burnings of 2017 decoded using Landsat satellite images and the number of thermal points falling within the boundaries of the burnings. With an increase in the areas of fires, the number of corresponding points is growing, but at the same time the number of points per unit area of fires is decreasing. About half of the fires are not identified by FIRMS, their average area being 3–4 km$^2$, but their share in the total area of burned-out territories does not exceed 2 %. More than 90 % of fire areas is made up of ignitions of over 50 km$^2$ in size. The largest burnings (up to 9000 km$^2$) are located on the border of Atyrau and West Kazakhstan regions. Low density of population and degree of economic development of the territory contribute to the spread of fire. In 2017, in the given region the total number of 437 steppe fires were recorded with a total area of 50 096 km$^2$.

**Keywords:** landscape fires, GIS, remote sensing, MODIS, Landsat, FIRMS, active fires, monitoring, Caspian region

Accepted: 12.10.2018
DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-1-121-133

## References

1. Arkhipkin O. P., Spivak L. F., Sagatdinova G. N., Pyatiletnii opyt operativnogo kosmicheskogo monitoringa pozharov v Kazakhstane (Five-year experience of operational space monitoring of fires in Kazakhstan), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2007, Vol. 1, No. 4, pp. 103–110.
2. Bartalev S. A., Egorov V. A., Efremov V. Yu., Loupian E. A., Stytsenko F. V., Flitman E. V., Otsenka ploshchadi pozharov na osnove kompleksirovaniya sputnikovykh dannykh razlichnogo prostranstvennogo razresheniya MODIS i Landsat-TM/ETM+ (Integrated burnt area assessment based on combine use of multi-resolution MODIS and Landsat-TM/ETM+ satellite data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 2, pp. 9–26.
3. 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.
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. Dymova T. V., Monitoring prirodnykh pozharov na territorii Astrakhanskoi oblasti (Monitoring natural fires on the territory of Astrakhan region), *Inzhenerno-stroitel'nyi vestnik Prikaspiya*, 2015, No. 3(13), pp. 16–21.

6. Il'ina V. N., Pirogennoe vozdeistvie na rastitel'nyi pokrov (Impact of fires on the vegetation cover), *Samarskaya Luka: problemy regional'noi i global'noi ekologii*, 2011, Vol. 20, No. 2, pp. 4–30.
7. Kouzmina J. V., Treshkin S. E., Climate changes in the basin of the Lower Volga and their influence on the ecosystem, *Arid Ecosystems*, 2014, Vol. 20, No. 3, pp. 142–157.
8. Kulik K. N., Petrov V. I., Rulev A. S., Kosheleva O. Yu., Shinkarenko S. S., On the 30th Anniversary of the "General Plan to Combat Desertification of Black Lands and Kizlyar Pastures", *Arid ecosystems*, 2018, Vol. 8, No. 1, DOI: 10.1134/S2079096118010067.
9. 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.
10. Nemkov V. A., Sapiga E. A., Vliyanie pozharov na faunu nazemnykh chlenistonogikh zapovednykh stepnykh ekosistem (Impact of fires on the fauna of terrestrial arthropods in protected steppe ecosystems), *Ekologiya*, 2010, No. 2, pp. 141–147.
11. 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.
12. 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)), *Stepi Severnoi Evrazii* (Steppes of Northern Eurasia), Proc. 7th Intern. Symp., Orenburg, IS UrO RAN, 2015, pp. 603–608.
13. Pavleichik V. M., Mnogoletnyaya dinamika prirodnykh pozharov v stepnykh regionakh (na primere Orenburgskoi oblasti) (Multi-year dynamics of natural fire in the steppe regions (on the example of the Orenburg region)), *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, No. 6(194), pp. 74–80.
14. Popov A. V., Stepnye pozhary i sokhranenie bioraznoobraziya OOPT Severnogo Prikaspiya (Steppe fires and conservation of biodiversity of the Northern Near-Caspian Protected Areas), *Zapovednoe delo: problemy okhrany i ekologicheskoi restavratsii stepnykh ekosistem* (Reserve Management: Problems of Protection and Ecological Restoration of Steppe Ecosystems), Proc. Intern. Conf., Orenburg: Gazprompechat', 2004, pp. 152–153.
15. Safronova I. N., Eshche raz k voprosu o granitse mezhdu stepnoi i pustynnoi zonami v Nizhnem Povolzh'e (On the problem of the boundary between the steppe and desert zones in the Lower Volga region), *Povolzhskii ekologicheskii zhurnal*, 2008, No. 4, pp. 334–343.
16. Safronova I. N., Stepanova N. Yu., Sovremennyi rastitel'nyi pokrov Prikaspiiskoi nizmennosti na yugo-vostoke Evropeiskoi chasti Rossii (Current vegetation cover of the Caspian lowland in the South-East of European Russia), *Povolzhskii ekologicheskii zhurnal*, 2018, No. 1, pp. 76–86.
17. Terekhov A. G., Muratova N. R., Detektirovanie teplovykh istochnikov v Kazakhstanskom sektore Kaspiiskogo regiona po dannym NOAA/AVHRR (Detection of thermal sources in the Kazakhstan sector of the Caspian region according to NOAA/AVHRR), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2006, Vol. 1, No. 3, pp. 134–142.
18. Shvidenko A., Schepaschenko D., McCallum I., Nilsson S., *Lesa i lesnoe khozyaistvo Rossii* (Russian forests and forestry), Mezhdunarodnyi institut prikladnogo sistemnogo analiza i Rossiiskaya Akademiya nauk (International Institute for Applied Systems Analysis and the Russian Academy of Science), Laxenburg, Austria, 2007, available at: http://www.iiasa.ac.atResearchFORforest_cdromindex.html.
19. Shinkarenko S. S., Prostranstvenno-vremennoi analiz stepnykh pozharov v Priel'ton'e na osnove dannykh DZZ (The spatial and temporal analysis of steppe fires in Lake Elton area based on RSD), *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 11: Estestvennye nauki*, 2015, No. 1, pp. 87–94.
20. 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.
21. 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.