

УДК 630*43:528.7

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ТЕРРИТОРИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «КРАСНОЯРСКИЕ СТОЛБЫ»

М. Г. Ерунова^{1, 2}, А. А. Кнорре^{2, 3}

¹ Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр СО РАН»
660036, Красноярск, Академгородок, 50

² Национальный парк «Красноярские Столбы»
660006, Красноярск, ул. Карьерная, 26а

³ Сибирский федеральный университет
660041, Красноярск, пр. Свободный, 79

E-mail: marina@icm.krasn.ru, nau-stolby@yandex.ru

Поступила в редакцию 12.05.2022 г.

Исследована горимость территории национального парка «Красноярские Столбы», ежегодно фиксируемая на особо охраняемой природной территории (ООПТ) и в ее охранной зоне в рамках ведения длительных рядов наблюдений за природными процессами. Информация по пожарам с 1942 г. обобщена в базе данных ArcGis. Цифровая модель истории пожаров заповедной территории включает 176 участков (610 выделов) пожаров, 40 (58 выделов) из которых – повторно горимые. Проведен ретроспективный анализ фактической горимости лесов данной территории за период с 1942 по 2020 г. Частота возникновения пожаров и площади выгорания существенно различаются в разных функциональных зонах национального парка в зависимости от режима охраны. К наиболее часто горимым (2.4 возгораний в год) относятся участки ООПТ и ее охранной зоны с режимом рекреационного использования и межпожарным интервалом, не превышающим 2 года. Самыми крупными по площади стали пожары 1956 и 2002 гг. в заповедной зоне ООПТ. За весь период преобладали низовые пожары малой и средней интенсивности. Больше всего пожаров общей площадью 1744 га, включая повторные разных лет на одних и тех же участках, отмечено с 1997 по 2006 г. Наложение карт горимости территории на информационную основу по типам леса показало, что в прошлом большая часть пожаров зафиксирована в насаждениях с преобладанием (59 %) сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). В связи с высоким классом природной пожарной опасности в последние годы из-за массового усыхания древостоев (преимущественно пихтовых), высокой степенью накопления лесных горючих материалов вследствие длительного отсутствия пожаров в заповедной зоне в целом, именно этот район нацпарка наименее защищен от возникновения крупных пожаров в будущем с возможным изменением как видов пожаров, так и их периодичности.

Ключевые слова: горимость территории, геоинформационные системы, векторизация пожаров, ООПТ, базы данных.

DOI: 10.15372/SJFS20220502

ВВЕДЕНИЕ

Пожары являются важной частью функционирования многих лесных экосистем в бореальной зоне и относятся к фактору, не имеющему однозначного характера воздействия. Из наиболее отрицательных последствий пожаров на лесные экосистемы можно выделить коренные

изменения в их составе и структуре, что нарушает связи между различными компонентами, тем самым снижая ее устойчивость. К тому же на длительное время утрачивается углероддепонирующая функция лесов, значительно влияющая на климат в целом. Повышение концентрации парниковых газов вследствие выброса большого количества CO₂ в дальнейшем может

привести к увеличению площадей горимых территорий (Иванова, 2005). Однако последствия лесных пожаров могут носить и положительный характер. Они способствуют смене породного состава, что в определенных условиях приводит к улучшению плодородия почвы. Также пожары содействуют естественному возобновлению древесных пород, прежде всего светлохвойных, способствуя расширению площадей их произрастания (Цветков, 2007; Wooster et al., 2013). Низовые пожары слабой и средней интенсивности приводят к общему снижению запасов лесных горючих материалов, тем самым обеспечивают низкую вероятность горения участков в будущем.

До сих пор законодательно не выработано четкого отношения к пожарам на особо охраняемых природных территориях (ООПТ), возможно потому, что слишком разнообразны и специфичны условия обширной территории России.

Объективная и своевременная информация о последствиях пожаров, в частности о пирогенной гибели лесов, крайне важна для особо охраняемых природных территорий не только по причине выполнения одной из основных своих функций по регистрации всех явлений и процессов, происходящих на ООПТ, но также для решения широкого круга прикладных задач лесного хозяйства, включая планирование охраны и защиты лесов, лесопользование и лесовосстановление, актуализацию данных о лесных ресурсах (Hann, Bunnell, 2001; Стыценок, 2016; Волокитина и др., 2017). Данные о площади поврежденных огнем и погибших насаждений являются ключевой составляющей информационного обеспечения фундаментальных биосферных исследований природных территорий (Коровин, Исаев, 1998).

Для южной части Средней Сибири в целом, к которой относится и территория национального парка (НП) «Красноярские Столбы», типичны повторяющиеся экстремальные пожароопасные сезоны, характеризующиеся длительными периодами без осадков, высокими температурами и низкой относительной влажностью воздуха, часто сопровождаемые сильными ветрами. Почти ежегодно в той или иной части региона создаются условия, благоприятные для возникновения экстремальных ситуаций, но четкой закономерности в их наступлении не выявлено (Иванова, 2005).

Современная территория национального парка «Красноярские Столбы», ранее (1925–2019) – государственного природного заповед-

ника «Столбы», существует в тех же границах и имеет полную преемственность истории, зонирования, научных исследований и иных категорий функционирования заповедника. Еще до его создания данная территория неоднократно подвергалась воздействию лесных пожаров. Об этом свидетельствуют как исторические материалы, так и следы огня (старые обгорелые пни), встречающиеся почти повсеместно и в настоящее время (Дельпер, 1988; Проект..., 2007). Однако до 1948 г. комплексных лесоинвентаризационных работ на ООПТ не проводилось, следовательно, данные о лесопирологических исследованиях, в том числе о пожарах с 1925 по 1942 г., отсутствуют. Начиная с 1942 г., в летописях природы и в отчетах лесного отдела заповедника (ныне национального парка) представлена обширная и достаточно полная информация по пожарам как на бумажных носителях, так и обобщенная в базу данных (Тимошкина, Тимошкин, 2010), ежегодно пополняемая.

Безусловно, внедрение цифровых технологий в изучение природных территорий повышает эффективность научных исследований. Ведение цифровых баз данных позволяет не только документировать собранную за много лет информацию о состоянии природных комплексов, но также анализировать ее и выявлять различные взаимосвязи географической информации (Abhineet et al., 1996; Malczewski, 2006; Гребенников, 2016).

Применение географических информационных систем (ГИС) позволяет разрабатывать единую методологию экологического мониторинга состояния природных ресурсов особо охраняемых природных территорий и создавать уникальную цифровую базу данных для конкретной территории с дальнейшим ее использованием для комплексного изучения (Ерунова и др., 2008).

Встречается множество публикаций, связанных с созданием цифровых баз данных историй пожаров, где используются разного рода письменные сообщения. Так, L. F. Howard и соавт. (2021) для парка Catoctin Mountain (США) приводят сведения из газетных сообщений по пожарам с 1702 г. Работники национального парка Крюгера вносили данные о пожарах, «нарисованные от руки», с 1941 г. (Strydom, Midzi, 2019). В последние годы мониторинг пожаров ведется в основном по данным дистанционного зондирования (Sunar, Özkan, 2001; Барталев и др., 2008; Пономарев и др., 2017; Nieman et al., 2021). В работе M. Pleniou и соавт. (2012) соз-

даны карты истории пожаров на основе архива данных Landsat TM с 1986 г., где из-за низкого разрешения снимков единицей пожара выступает точечный объект. Снимки среднего разрешения со спутников Terra/Aqua позволяют создать базу данных пожарной информации с 2000 г., так как приборы MODIS, установленные на космических аппаратах, именно в этом году начали собирать ежедневные данные (Nieman et al., 2021). К сожалению, небольшие пожары или пожары низкой интенсивности не обнаруживаются MODIS, к тому же, наиболее часто используемые доступные спутниковые данные среднего разрешения зачастую выявляют не точное обнаружение возгораний из-за резких различий по температуре поверхности между участками голой земли, например скал и окружающей их растительностью (Govender et al., 2012). В связи с этим информация, получаемая из отчетных документов ООПТ (в том числе летописей природы), остается единственно актуальной для многих территорий.

Так, на примере территории НП «Красноярские Столбы» общей площадью 47 219 га при анализе данных с приборов MODIS (спутники Terra и Aqua) начиная с 2001 г. получены сведения всего о 11 пожарах, хотя по данным летописей природы за этот же период их зафиксировано 36, что свидетельствует о существенном расхождении наземной и спутниковой информации.

Цель данной работы – провести ретроспективный анализ лесных пожаров на территории НП «Красноярские Столбы» за 1942–2020 гг. с оценкой горимости в зависимости от режима территории и погодных условий. Для этого была создана геоинформационная база данных истории пожаров на основе документальных источников.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования послужили данные о горимости территории старейшего в России государственного природного заповедника «Столбы», преобразованного в декабре 2019 г. в национальный парк «Красноярские Столбы», ведущего ежегодные исследования с приоритетом на длительные ряды наблюдений за природными процессами, включая ежегодно фиксируемые пожары на самой ООПТ и в ее охранной зоне.

Территория относится к горному ландшафту с градацией абсолютных отметок высот от 200 до 832 м н. у. м. Расположена в Восточно-Саянской лесорастительной провинции Манско-Канского

округа горных темнохвойных лесов со свойственным ему спектром высотной поясности и особенностями типологического состава лесов (Смагин и др., 1980). Более 75 % всей площади НП покрыто лесами с преобладанием сосны (*Pinus* L.) и пихты (*Abies* Mill.), по 7 % и менее приходится на остальные породы, такие как ель (*Picea* A. Dietr.), осина (*Populus tremula* L.), лиственница (*Larix* Mill.), береза (*Betula* L.) и кедр (*Pinus sibirica* Du Tour.). Территория разделена на три участковых лесничества: Столбинское, Базайское, Манское (рис. 1).

Исторически сложилось деление территории на зоны (районы), различающиеся по режиму охраны.

Около 90 % всегда относилось к заповедной зоне (исключающая любую хозяйственную деятельность), на зону активной рекреации традиционно приходится около 4 % (большая часть относится к Столбинскому участковому лесничеству), остальная площадь выполняет функцию буферной территории (ныне «особо охраняемая зона»). При преобразовании заповедника в национальный парк баланс площадей остался практически тем же, с дополнительным выделением небольших хозяйственных зон вокруг существующих кордонов и научных стационаров.

Первая сохранившаяся информация о пожарах на территории бывшего заповедника датируется 1942 г. (по данным сводки «Летописи природы» за 1925–1945 гг.), где фиксируется площадь и вид пожара. Архивные материалы о пожарах (включая акты лесных пожаров, разделы в летописях природы) хранятся в виде текстовых документов и электронной базе данных (БД). Начиная с 2012 г. контуры пожаров фиксируются с использованием GPS-навигатора.

Все архивные данные преобразованы в таблицу Excel, где учтены такие показатели, как дата возникновения пожара (год и месяц); местность; номер квартала (выдела); вид пожара (верховой, низовой), характер горения (беглый) и его интенсивность (слабый, сильный, средний); площадь (га); степень воздействия и причиненные повреждения; источник исходной информации.

Расчеты по оценке воздействия пожаров на главные породы наиболее корректно проводить не для всей площади конкретного пожара, а по участкам с привязкой к выделам. Выделы анализировались в связи с тем, что лесоустройством 1959 г., проведенным по II разряду точности, были внесены существенные изменения в квартальную сеть территории по размерности (стала

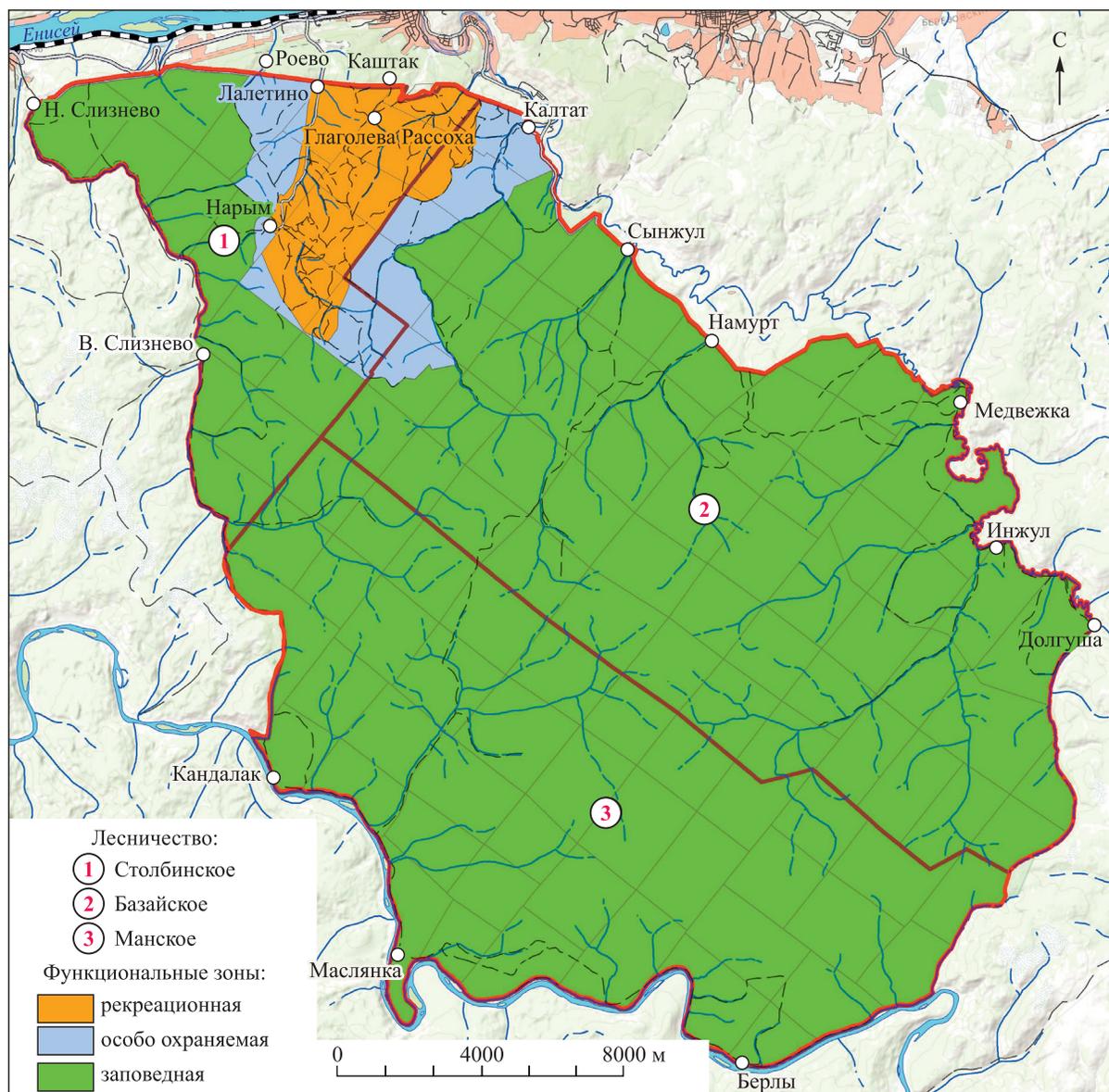


Рис. 1. Территория национального парка «Красноярские Столбы» с выделением функциональных зон (в приведенном варианте хозяйственная зона не отмечена).

2 км) и общему числу кварталов (увеличилось до 114). Ранее, лесоустройством 1948 г. (IV разряд точности), территория была разбита на 37 кварталов. Соответственно число и нумерация выделов также претерпели изменение. К тому же каждый выдел представляет собой однородный по разным параметрам, включая растительность, участок, поэтому расчеты площадей пожаров по преобладающим породам было целесообразно проводить именно для отдельных выделов.

Цифровая модель территории. С 2003 г. в НП ведется геоинформационная БД состояния территории. Цифровая модель территории на сегодняшний день содержит более 200 тематических карт (слоев), и в частности данные лесоустройства за 1948 (Гостева и др., 2010), 1977

(Egunova et al., 2006) и 2007 гг. (Проект..., 2007). Эта модель организована в геоинформационной системе ArcGis, имеет единую картографическую проекцию (Универсальная поперечная проекция Меркатора (UTM WGS46), 46 северная зона), что позволяет использовать функциональные возможности пространственного анализа с помощью инструментов геообработки ArcGIS (Vajjali, 2018).

Создание геоинформационной базы данных истории пожаров. Построение цифровой базы данных истории пожаров территории национального парка проводилось по нескольким алгоритмам.

1. Каждый пожар был преобразован в полигональный объект.

2. Каждый трек с GPS-приемника преобразовывался в полигональный объект и вносился в общий векторный слой.

Особое внимание в данной работе акцентируется на проблеме преобразования картографических материалов на бумажных носителях и материалах в электронном формате в единую картографическую модель (Ерунова и др., 2008).

Лесоустроительные работы для всей территории НП проводились в 1948, 1959, 1976–1977 и 2006–2007 гг. Последнее лесоустройство выполнено в геоинформационной базе данных в цифровом формате. Данные 1948 и 1977 гг. получены ранее в результате оцифровки бумажных планшетов. В зависимости от года пожара выбиралась запись выдела из соответствующей базы лесоустройства и вносилась в цифровую модель истории пожаров. Если площадь выдела превышала площадь произошедшего пожара, то контур пожара создавался в зависимости от его географического описания. Если географическое описание отсутствовало, то в цифровую модель истории пожаров заносился выдел целиком, но

указывалась его фактическая площадь. Пожары с 1959 по 1977 г. оцифровывались по отсканированной карте лесоустройства 1959 г. Оцифровка необходимых выделов, где происходили пожары, включала три основных этапа: создание растровой подложки с выделами, в которых описаны пожары (сканирование бумажной карты лесоустройства 1959 г.); привязка данных к единой картографической основе (UTM WGS46); оцифровка выделов, в которых указан пожар; заполнение показателей для каждого пожара.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Создана геоинформационная база данных истории пожаров территории современного национального парка «Красноярские Столбы», в которой хранится следующая информация о пожаре: дата, описание местности, номер выдела и квартала, вид пожара (верховой, низовой), площадь, степень воздействия (причиненные повреждения). БД включает 610 участков (выделов) пожаров, 58 из которых – повторно горимые (рис. 2).

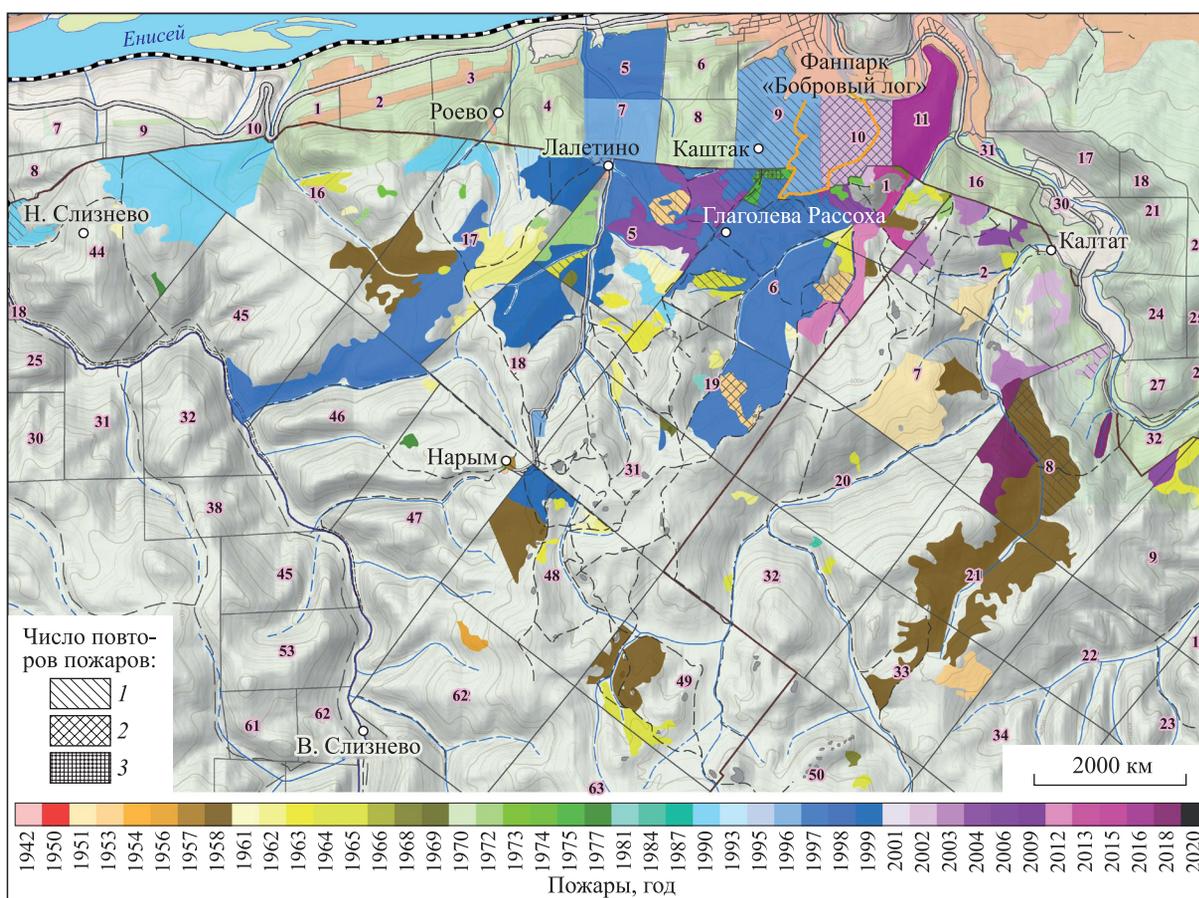


Рис. 2. Карта истории пожаров на территории национального парка «Красноярские Столбы» и его охранной зоны за 1942–2019 гг. с представленностью лет, характеризующихся фактической горимостью (например, в 2020 г. пожары отсутствовали).

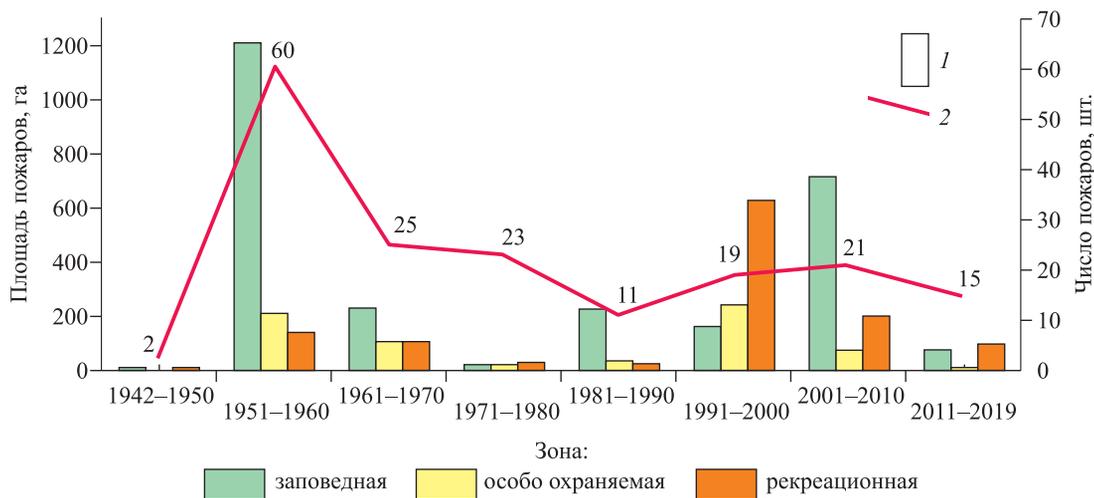


Рис. 3. Суммарная площадь (1), пройденная огнем в разных функциональных зонах НП «Красноярские Столбы» и общее число пожаров (2) за 1942–2020 гг. по десятилетиям.

На карте они выделены серой штриховкой. Площадь территории, повторно подвергшейся пожарам, составила 349 га. Такие участки расположены в основном в рекреационной зоне, в долине р. Миничевой Рассохи и на сопредельной территории фанпарка «Бобровый лог», входящей в охранную зону ООПТ.

На основе полученной геоинформационной БД истории пожаров проведен ретроспективный анализ фактической горимости лесов данной территории с помощью геоинформационных систем.

Временная динамика горимости по площадям и количеству пожаров на территории за весь рассматриваемый период представлена на рис. 3. Наибольшее число возгораний пришлось на периоды с 1951 по 1980 г. и с 1991 по 2010 г.

Наиболее масштабными по охвату территории были пожары с 1997 по 2006 г., когда возгораниями было охвачено 1744 га территории, включая повторные пожары, возникающие на одних и тех же участках в разные годы. Самыми крупными в истории национального парка стали пожары 1956 (557 га), 1958 (360 га), 1990 (193 га), 1997 (536 га), 1999 (230 га), 2002 (688 га) и 2004 (180 га) гг.

Причем пожары 1951–1960 гг. в большей степени приурочены к заповедной зоне Базайского участкового лесничества. Как показано на рис. 1, данное событие было отмечено в районе г. Абатак (12-й квартал), где только в мае 1956 г. сгорело более 500 га. Упоминаний о причинах возгораний в документальных источниках ООПТ («Летопись природы», «Генеральное дело» и др.) не найдено. По данным метеостанции «Столбы», год возникновения пожара

и предшествующий ему характеризовались по температурному режиму и степени увлажнения (количеству осадков) на уровне среднемноголетних, поэтому причиной возгораний могли быть разные факторы – от неосторожного обращения с огнем до поджога. Большие площади пожаров обусловлены сложным тушением в горной труднодоступной местности.

К наиболее часто горимому относится Столбинское лесничество. Общая суммарная по годам площадь пожаров составила 1560 га, это 21 % от всей его площади (7573 га). Всего здесь зафиксировано 100 пожаров. Самые масштабные приходится на Столбинское нагорье, район кордонов Нижнее Слизнево и Лалетино, урочище Моховая, скалы Такмак, Воробушки, Второй Столб, хр. Откликные, район руч. Фокинский. Данные участки относятся к наиболее посещаемым в рекреационной зоне (за исключением кордона Нижнее Слизнево, руч. Фокинский), с колоссальной ежегодной антропогенной нагрузкой (так, число посетителей НП в 2019 г. превысило 1 млн чел.).

В Базайском лесничестве за всю историю зафиксирован 51 пожар с суммарной площадью 1140 га, что составляет 5 % от общей площади лесничества (22 322 га). Самые крупные и частые пожары приходится на территорию г. Абатак, а также район руч. Миничева Рассоха. Территория лесничества Базайское практически полностью относится к заповедной зоне.

На территории Манского участкового лесничества (полностью относится к заповедной зоне) за весь период зафиксировано всего 9 пожаров на площади 760 га, что составляет 4 % от площади лесничества (17 324 га). Единственный крупный

пожар, одновременно и самый большой по площади за весь период существования ООПТ, на территории Манского лесничества был в 2002 г., когда вдоль береговой линии р. Мана выгорело 688 га леса на крутых склонах заповедной зоны в весенний период. Последствием такого пожара стало появление крупной гари площадью 17 га.

Необходимо отметить и тот факт, что периодические пожары фиксируются и в охранной зоне ООПТ. Основными местами их возникновения также становятся участки массового туризма (урочища Бобровый лог, Каштак, скалы Малый Такмак) и примыкающих СНТ (Мраморный карьер). Общее число пожаров в охранной зоне составило 9 % от зафиксированных за весь период наблюдения, с общей площадью выгорания 50 га.

Анализ горимости территории по сезонам показал, что наиболее пожароопасен весенний период (табл. 1). Почти половина всех пожаров (48 %), возникших на территории национального парка, приходится на май, который характеризуется и максимальной площадью, пройденной пожарами. Так же значительный ущерб вследствие воздействия пожаров общей площадью более 450 га характерен для августа и октября.

По данным метеорологической станции национального парка, среднегодовая температура воздуха в целом за рассматриваемый период выросла на 1.8 °С, перейдя отметку 0 °С в начале 1980-х гг. (Гончарова, Кнорре, 2018). Средние температуры осени и весны стали выше на 1.6 и 1.9 °С соответственно. Причем, если температуры осенних месяцев все же растут в последние 30 лет незначительно, то весной они показывают стабильный положительный тренд, что способствует как увеличению пожароопасного периода, а так и сдвигу его начала на более ранние даты.

Таблица 1. Распределение пожаров на территории национального парка «Красноярские Столбы» и охранной зоны (по месяцам) за 1942–2020 гг.

Месяц	Число пожаров (возгораний)	Площадь пожара	
		га	%
Апрель	14	139.5	3.6
Май	84	2476.3	64.2
Июнь	24	168.6	4.4
Июль	15	126.0	3.3
Август	21	475.3	12.3
Сентябрь	6	5.6	0.1
Октябрь	4	458.3	11.9
Без даты	8	8.2	0.2
В с е г о...	176	3857.8	100

На фрагменте территории с наиболее часто фиксируемыми пожарами (рис. 4) отражено территориальное распределение площадей пожаров по месяцам года. Из данного фрагмента видно, что весенние пожары наиболее представлены для участков, характеризующих остепненные склоны на примыкании ООПТ к городской черте (ранее всех освобождающиеся от снежного покрова весной), а также на наиболее посещаемом маршруте Центрального района.

Дополнительным фактором концентрации весенних пожаров на данных участках является то, что временной период совпадает с эпидемиологическими рисками в связи с активностью иксодовых клещей (*Ixodidae* С. L. Koch), переносчиков клещевого энцефалита, боррелиоза и других болезней, что сдерживает массовое посещение удаленных лесных территорий. Осенние пожары уже охватывают более отдаленные участки рекреационной зоны, а также зоны особой охраны (ранее буферной).

Наложение карт горения на данные по преобладающим древесным породам, показало, что большая часть пожаров (59 %) имела распространение на площадях с доминированием сосны обыкновенной. Это связано с приуроченностью произрастания данного вида к достаточно сухим местообитаниям, а также наибольшей представленностью сосновых древостоев в рекреационной зоне Центральных Столбов (рис. 5).

На втором и третьем месте по повреждению стоят площади (15 и 12 %) с преобладанием в составе древостоев вторичных мелколиственных пород (береза и осина соответственно), под пологом которых успешно развивалась в последние десятилетия пихта сибирская (*Abies sibirica* Ledeb.). Наименее подвержены пожарным повреждениям ельники по причине приуроченности их к пойменным участкам. За всю историю пирологических наблюдений ни разу не фиксировалось повреждение огнем сосны сибирской (кедровой), в основном в силу своей слабой представленности (менее 2 %) для всей территории, а также особенности произрастания вида в более влажных местообитаниях менее подверженной возгораниям заповедной зоны ООПТ.

На основании ретроспективного анализа и карт фактической горимости лесов НП был рассчитан среднестатистический показатель числа возникающих пожаров в наиболее горимой части ООПТ (рекреационной) и в ее охранной зоне, который составил 2.4 события в год, с учетом, что для данной территории характерно

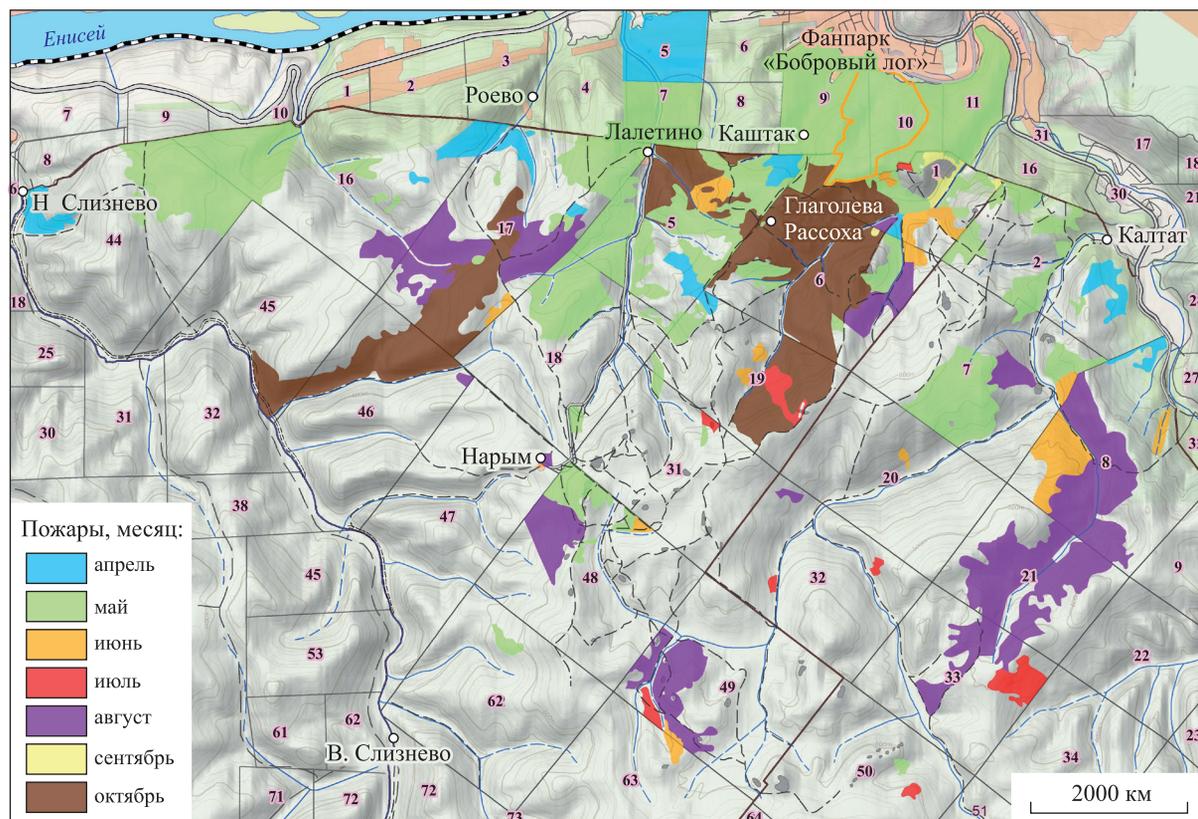


Рис. 4. Фрагмент карты распределения пожаров на территории национального парка «Красноярские Столбы» по месяцам.

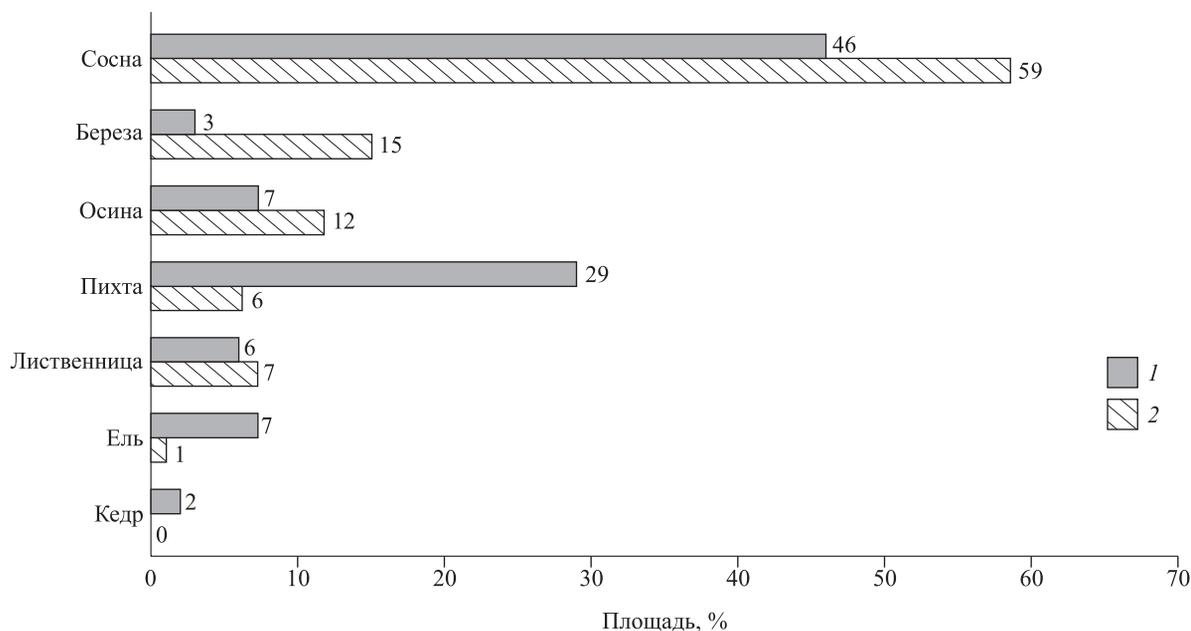


Рис. 5. Распределение площадей пожаров по преобладающей в древостое породе (1) в сравнении с общим количеством данной породы на всей территории ООПТ в соответствии с данными лесоустройств разных лет (2).

возникновение пожаров практически ежегодно. За весь исследуемый период (78 лет) лишь в 31 % случаев пожары имели 1–2-летний межпожарный интервал, при общей площади зафиксированных пожаров 1484.7 га, что составило 38 % от всей площади.

Наиболее ожидаемым видом пожаров на данной территории является низовой от слабой до средней интенсивности. Распределение пожаров по месяцам показало, что основная доля пожаров выпадает на весенне-летний период, а именно апрель – июнь, причем половина из них приходится на май. Относительно территориального возникновения пожаров можно с уверенностью сказать, что тенденция более частого их возникновения на территориях, используемых в целях рекреации, как на ООПТ, так и в его охранной зоне, останется неизменной.

Для заповедной зоны национального парка развитие пожарной ситуации совершенно иное. На основе ретроспективного анализа выявлено, что данная территория наиболее пожароопасна из-за сложности тушения удаленных участков, а также высокого межпожарного интервала, который составил 56 лет для крупных по площадям пожаров (>500 га) и 15 лет для мелких (<50 га). При этом площадь пожаров на данной территории составила 62 % (2372.2 га) от всех произошедших за анализируемый период. При общей площади заповедной зоны более 42 тыс. га 95 % ее ни разу не подвергалось воздействию пожаров за все существование ООПТ, в связи с чем возникает дополнительный фактор повышения пожароопасной ситуации из-за высокой степени накопления лесных горючих материалов. Также существенно усугубляет ситуацию массовое усыхание пихтовых древостоев, широко представленных именно в среднегорном поясе заповедной зоны вследствие инвазии короеда – полиграфа уссурийского (*Polygraphus proximus* Blandford) (Кнорре и др., 2015), приведшего к гибели пихты сибирской на большой площади всей ООПТ в последние 10 лет. Так, по данным дистанционного зондирования Земли, по состоянию на 2021 г. более 30 тыс. га древостоев считается поврежденными, из которых более 2 тыс. отмечены как вывалы. Значительные площади повреждения обусловлены не только массовым усыханием пихты, в большом количестве представленной как в древостоях с преобладанием данной породы (29 %), так и в других в качестве второстепенной породы. Также массовое усыхание хвойных обусловлено общей перестойностью лесов НП (IX–X класс возраста для

хвойной секции). Несмотря на то что в прошлом пихта не являлась породой, массово повреждаемой лесными пожарами, в настоящее время она может стать причиной возникновения верховых пожаров, ранее представленных на территории незначительно (рис. 5).

Последние 5 лет в НП ведется мониторинг пожарной опасности (ПО) в лесах по условиям погоды, с расчетом ежедневного комплексного показателя по метеорологическим данным, характеризующим конкретную территорию (м/с «Столбы») и оценкой класса (степени) пожарной опасности (Андреев, Брюханов, 2011). Общий период наблюдений охватывает сезон от массового схода снежного покрова и установления положительных температур воздуха до первых осенних заморозков и выпадения снега, который для НП составляет в среднем 190 дней. За 5 лет (2016–2020 гг.) распределение по сезону классов ПО выглядит следующим образом: I (отсутствует) – 47 % от общего количества дней в сезоне, II (малая) – 29 %, III (средняя) – 22 %, IV (высокая) – 2 % и V (чрезвычайная) – 0 %. Незначительная доля IV и отсутствие V классов ПО в национальном парке обусловлены общей лесорастительной и климатической характеристикой территории, большая часть которой относится к таежной зоне и имеет существенные различия в климате с соседней Красноярской лесостепью. Так, среднегодовая температура в НП (м/с «Столбы») по сравнению с Красноярском (м/с «Опытное поле») ниже на 2 °С, а среднегодовое количество осадков больше на ~ 200 мм, причем сход снежного покрова в НП происходит почти на месяц позже, чем в целом в лесостепных условиях. Это существенно снижает вероятность частого возникновения экстремальных пожароопасных сезонов по сравнению с иными территориями Средней Сибири.

С учетом классификации природной пожарной опасности (ППО) лесов (Приказ..., 2011) значительная часть территории национального парка в последние годы стала относиться к I классу (очень высокая ППО) вследствие появления больших площадей с сухостоем (> 70 % территории), наличием буреломов и ветровалов. Это существенно отличается от данных, приводимых ранее в проекте противопожарного обустройства заповедника «Столбы», выполненного ИЛ СО РАН (Проект..., 2007), где именно леса среднегорного пояса с преобладанием пихты в главной породе до 2011 г. были отнесены к незначительному (IV) классу ППО.

Прогноз поведения пожаров на основе ретроспективного анализа горимости территории на сегодняшний день в связи со значительными изменениями лесопатологического состояния лесов НП может носить лишь теоретический характер. И несмотря на то что классы ПО (по условиям погоды) от среднего и выше отменяются в менее чем 25 % случаев, общая климатическая ситуация, наблюдаемая в последние десятилетия, характеризующаяся более ранними сроками схода снежного покрова и положительной динамикой температур воздуха в весенний период (апрель, май), может провоцировать значительное увеличение неконтролируемых пожаров весеннего периода по всей территории.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ динамики пожаров на особо охраняемой природной территории федерального значения с длительной историей ее существования в статусе заповедника (с 1925 по 2019 г. государственный природный заповедник «Столбы»), но исторически имеющей не свойственную для данной категории ООПТ систему зонирования, выявил определенную специфику пожарной истории территории.

Создание геоинформационной базы данных по лесным пожарам позволило не только документировать собранную за 78 лет информацию о состоянии природных комплексов, но также провести ретроспективный анализ фактической горимости лесов за 1942–2020 гг. Получена цифровая модель истории пожаров территории современного национального парка «Красноярские Столбы». Она включает 176 случаев пожаров, 40 из которых повторные на ранее горимых участках. Наиболее масштабными по охвату территории были пожары с 1997 по 2006 г., когда возгорания охватили 1744 га территории, включая повторные пожары на одних и тех же участках в разные годы. Выявлено, что наибольшее число пожаров с повторными случаями возгораний на одних и тех же участках (до 10 %) приходится на рекреационную зону, однако самые крупные по площади лесные пожары зафиксированы в заповедной зоне в связи с ее труднодоступностью для своевременного обнаружения и быстрого тушения. Более половины возникающих пожаров приходится на май, а наиболее часто повреждаемыми в 59 случаях из 100 стали древостои с преобладанием сосны обыкновенной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреев Ю. А., Брюханов А. В. Профилактика, мониторинг и борьба с природными пожарами (на примере Алтае-Саянского экорегиона): Справ. пособ. / под ред. П. А. Цветкова. Красноярск. 2011. 272 с.
- Барталев С. А., Еришов Д. В., Коровин Г. Н., Котельников Р. В., Лупян Е. А., Щетинский В. Е. Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства РФ (состояние и перспективы развития) // Совр. пробл. дист. зонд. Земли из космоса. 2008. Т. II. Вып. 5. С. 419–429.
- Волокитина А. В., Софронова Т. М., Корец М. А. Региональные шкалы оценки пожарной опасности в лесу: усовершенствованная методика составления // Сиб. лесн. журн. 2017. № 2. С. 52–61.
- Гончарова Н. В., Кнорре А. А. Основные тенденции изменений климата в заповеднике «Столбы» по данным собственной метеостанции за непрерывный период наблюдений 1947–2016 // Научные исследования в заповедниках и национальных парках Южной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2018. Вып. 8. С. 15–19.
- Гостева А. А., Ильина А. П., Ерунова М. Г. Векторизация плана лесоустройства заповедника «Столбы» 1948 // Тр. гос. заповед. «Столбы». Красноярск, 2010. Вып. 19. С. 39–47.
- Гребенников К. А. Изучение биоразнообразия заповедников России в цифровой эпохе: опыт и перспективы // Nat. Conserv. Res. Заповед. наука. 2016. Т. 1. № 2. С. 1–10.
- Дельпер А. П. Элементы антропогенного воздействия на природный комплекс заповедника «Столбы» // Тр. гос. заповед. «Столбы». Красноярск, 1988. Вып. 15. С. 212–231.
- Ерунова М. Г., Гостева А. А., Якубайлик О. Э. Геоинформационное обеспечение задач экологического мониторинга особо охраняемых территорий // Журн. Сиб. фед. ун-та. Сер.: Техн. и технол. 2008. Т. 1. № 4. С. 366–376.
- Иванова Г. А. Зонально-экологические особенности лесных пожаров в сосняках Средней Сибири: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 06.03.03. Красноярск. 2005. 40 с.
- Кнорре А. А., Разнобарский В. Г., Вагнорюс П. А., Шайдуров Р. Л., Лесников Е. М., Астапенко С. А., Акулов Е. Н. Угроза исчезновения пихтовых древостоев в заповеднике «Столбы» в результате инвазии полиграфа уссурийского (*Polygraphus proximus* Blandf.) // Тр. гос. заповед. «Столбы». Красноярск, 2015. Вып. 20. С. 211–222.
- Коровин Г. Н., Исаев А. С. Охрана лесов от пожаров как важнейший элемент национальной безопасности России // Лесн. бюл. 1998. № 8–9. С. 91–95.
- Пономарев Е. И., Харук В. И., Якимов Н. Д. Результаты и перспективы спутникового мониторинга природных пожаров Сибири // Сиб. лесн. журн. 2017. № 5. С. 25–36.
- Приказ Рослесхоза от 05.07.2011 № 287 «Об утверждении классификации природной пожарной опасности лесов и классификации пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды». М.: Рослесхоз, 2011.

- Проект организации и ведения лесного хозяйства государственного учреждения заповедника «Столбы».* Красноярск, 2007. Т. 1. 335 с.
- Смагин В. Н., Назимова Д. И., Чередникова Ю. С.* Типы лесов гор Южной Сибири / под ред. В. Н. Смагина. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980. 334 с.
- Стьцценко Ф. В.* Разработка и применение методики и автоматизированной технологии оценки пирогенной гибели лесов на основе спутниковых данных: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 25.00.34. М.: ИКИ РАН, 2016. 25 с.
- Тимошкина О. А., Тимошкин В. Б.* Итоги мониторинга природных пожаров в ГПЗ «Столбы» // Тр. гос. заповед. «Столбы». Красноярск, 2010. Вып. 19. С. 100–104.
- Цветков П. А.* Устойчивость лиственницы Гмелина к пожарам в северной тайге Средней Сибири. Красноярск: СибГТУ, ИЛ СО РАН, 2007. 250 с.
- Abhineet J., Shirish A. R., Singh R. K., Das K. K., Roy P. S.* Forest fire risk modelling using remote sensing and geographic information system // *Current Sci.* 1996. V. 70. N. 10. P. 928–933.
- Bajjali W.* ArcGIS for environmental and water issues. Springer Cham, 2018. 353 p.
- Erunova M. G., Gosteva A. A., Sadovsky M. G.* GIS-aided simulation of spatially distributed environmental processes at «Stolby» state reservation // *Ecol. Model.* 2006. V. 195. Iss. 3–4. P. 296–306.
- Govender N., Mutanga O., Ntsala D.* Veld fire reporting and mapping techniques in the Kruger National Park, South Africa, from 1941 to 2011 // *Afr. J. Range & Forage Sci.* 2012. V. 29. Iss. 2. P. 63–73.
- Hann W. J., Bunnell D. L.* Fire and land management planning and implementation across multiple scales // *Int. J. Wildland Fire.* 2001. V. 10. Iss. 4. P. 389–403.
- Howard L. F., Cahalan G. D., Ehleben K., Amala B., El. M., Halza H., DeLeon S.* Fire history and dendroecology of Catoctin Mountain, Maryland, USA, with newspaper corroboration // *Fire Ecol.* 2021. V. 17. Article number: 8. 13 p.
- Malczewski J.* GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature // *Int. J. Geogr. Inf. Sci.* 2006. V. 20. Iss. 7. P. 703–726.
- Nieman W. A., Wilgen van B. W., Leslie A. J.* A reconstruction of the recent fire regimes of Majete Wildlife Reserve, Malawi, using remote sensing // *Fire Ecol.* 2021. V. 17. Article number: 4. 13 p.
- Pleniou M., Xystrakis F., Dimopoulos P., Koutsias N.* Maps of fire occurrence – spatially explicit reconstruction of recent fire history using satellite remote sensing // *J. Maps.* 2012. V. 8. Iss. 4. P. 499–506.
- Strydom T., Midzi S. A.* Evolving fire management strategies and their impact on the occurrence and spatial extent of unplanned wildfires in a large African savanna park // *Territorium: Int. J. Riscs: Forest Fires.* 2019. N. 26 (I). P. 19–27.
- Sunar F., Özkan C.* Forest fire analysis with remote sensing data // *Int. J. Rem. Sens.* 2001. V. 22. Iss. 12. P. 2265–2277.
- Wooster M. J., Roberts G., Smith A. M., Johnston J., Freeborn P., Amici S., Hudak A. T.* Thermal remote sensing of active vegetation fires and biomass burning events // *Thermal infrared remote sensing. Sensors, Methods, Applications / Claudia Kuenzer, Stefan Dech (Eds.).* Springer Dordrecht, 2013. P. 347–390.

THE WILD FIRES RETROSPECTIVE ANALYSIS IN THE NATIONAL PARK «KRASNOYARSK STOLBY»

M. G. Erunova^{1,2}, A. A. Knorre^{2,3}

¹ *Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center», Russian Academy of Sciences, Siberian Branch Akademgorodok, 50, Krasnoyarsk, 660036 Russian Federation*

² *National Park «Krasnoyarsk Stolby»
Kar'ernaya str., 26A, Krasnoyarsk, 660006 Russian Federation*

³ *Siberian Federal University
Prospekt Svobodny, 79, Krasnoyarsk, 660041 Russian Federation*

E-mail: marina@icm.krasn.ru, nau-stolby@yandex.ru

Here we analyzed the data on the burning of the territory of the national park «Krasnoyarsk Stolby» annually recorded in the protected area and the buffer zone as part of long-term observations of natural processes. Information on fires was summarized starting from 1942 onwards and converted into the ArcGis database. A digital model of the fire history in the national park has been obtained, which includes 176 fire sites (610 tax. divisions), 40 (58 tax. divisions) of which are known by repeated fires. A retrospective analysis of the actual burning of forests in this territory for the period from 1942 to 2020 was carried out. The frequency of fires and burnout areas differ significantly for different functional zones of the national park, depending on the protection regime. The most frequently combustible (2.4 events per year) are sites with a recreational use regime, where the interval between fires not exceeding 2 years. The largest burned sites were in the strict strictly protected zone in 1956 and 2002. Ground fires of low and medium intensity became predominant over the entire period. In terms of area coverage, the most extensive fires occurred in the period from 1997 to 2006 with 1744 hectares covered by fires, including repeated fires in the same areas in different years. The joint analysis of the maps of the burning of the territory and the data on forest types showed that most fires for all considered period took place in stands where the dominant species was Scots pine *Pinus sylvestris* L. (59 %). The strictly protected zone of the national park is the least protected from major fires in the future, due to the high class of natural fire hazard in recent years because of the massive drying up of conifer stands (mainly fir) and a high degree of accumulation of forest fuel due to the long absence of fires in the protected area as a whole.

Keywords: *burning of the territory, geoinformation systems, fire mapping, protected area, databases.*

How to cite: *Erunova M. G., Knorre A. A. The wild fires retrospective analysis in the national park «Krasnoyarsk Stolby» // Sibirskij Lesnoj Zurnal (Sib. J. For. Sci.). 2022. N. 5. P. 22–33 (in Russian with English abstract and references).*