

Геоэкология

Научная статья
УДК 528.88:630*43
DOI 10.18101/2587-7143-2023-1-51-62

ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЛЕСНОГО ПОКРОВА ПРИБАЙКАЛЬСКОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ БУРЯТИЯ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

© **Цыдыпов Баир Зугдырович**

кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
Байкальский институт природопользования СО РАН
Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6
bz61@binm.ru

© **Монгуш Айзана Чамбаловна**

мастер леса,
Государственное казенное учреждение Республики Тыва «Тес-Хемское лесничество»
Россия, 668360, Республика Тыва, Тес-Хемский район, с. Самагалтай, ул. Мугур, 4
aizanamongush@mail.ru

© **Аюржанаев Александр Андреевич**

кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
Байкальский институт природопользования СО РАН
Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6
aaayurzhanayev@yandex.ru

© **Содномов Батор Валерьевич**

младший научный сотрудник,
Байкальский институт природопользования СО РАН
Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6
sodnomov@binm.ru

Аннотация. С развитием геоинформационных технологий возрастает роль спутниковых снимков и программных средств для создания современных методов мониторинга глобальных изменений лесного покрова. Данные среднего пространственного разрешения линейки спутников Landsat применяются для решения вопросов мониторинга и моделирования изменений лесного покрова. В статье приводятся результаты анализа пространственно-временной изменчивости лесного покрова Прибайкальского района Республики Бурятия за период с 2003 по 2017 г., полученные из трех независимых источников информации: 1) архивные данные Республиканского агентства лесного хозяйства Республики Бурятия; 2) нормированные индексы гарей NBR на исследуемую территорию; 3) данные онлайн-платформы Global Forest Watch. Проанализированы динамика и факторы изменения индекса гари NBR. Получено сравнение результатов выделения горелых участков по индексам гарей NBR, РАЛХ

Республики Бурятия и интернет-сервиса Global Forest Watch. Исследования показали высокую применимость спутниковых данных Landsat и современных программных геоинформационных комплексов для проведения дистанционного мониторинга земель лесного фонда.

Ключевые слова: геоинформационная система, дистанционное зондирование, Landsat, лесной пожар, индекс гари, классификация, пространственный анализ.

Благодарности

Работа выполнена в рамках Государственного задания Байкальского института природопользования СО РАН (АААА-А21-121011990023-1).

Для цитирования

Оценка пространственно-временной изменчивости лесного покрова Прибайкальского района Республики Бурятия по данным дистанционного зондирования земли / Б. З. Цыдыпов, А. Ч. Монгуш, А. А. Аюржанаев, Б. В. Содномов // Вестник Бурятского государственного университета. Биология, география. 2023. № 1. С. 51–62.

Введение

Лесные пожары являются частью природного репродуктивного цикла, способствуя обновлению растительного покрова и высвобождению питательных веществ из почвы. Однако внезапно возникающие и быстро распространяющиеся лесные пожары представляют угрозу для населения, промышленных объектов и животного мира. Исследование причин и масштабов лесных нарушений на глобальном и региональном уровнях является важным направлением при устойчивом управлении лесными ресурсами.

Лес составляет большую часть биомассы Земли, он обеспечивает большой спектр функций — от средообразующих и климаторегулирующих до рекреационных и сырьевых. В результате оценки изменения лесного покрова Земли в рамках проекта продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН выявлено уменьшение площади лесов на 3% с 1990 по 2015 г. [13]. Для территории Российской Федерации выявлено снижение лесных площадей, характерное для высоких широт и Забайкалья; отмечен большой разброс оценок потерь площади леса [16].

Глобальное потепление климата оказывает негативное влияние на лесные земли республики. Бурятия характеризуется контрастностью природных процессов, где периодически повторяющиеся засухи и сопутствующие им лесные пожары чередуются с разрушительными кратковременными паводками, вызывающими катастрофические наводнения. По данным Росгидромета за последние 15 лет, число опасных гидрометеорологических явлений возросло в 2 раза. По одному из сценариев изменения климата, основанному на модели общей циркуляции атмосферы, длительность пожароопасного сезона в среднем широтном поясе России может увеличиться на 50–60 дней, т. е. на 30–40%. Увеличение длительности опасных сезонов приведет к росту общего числа пожаров на 30–41%¹.

¹ Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2018 год. Москва, 2019. 79 с.

Большая часть Бурятии покрыта лесами (около 85% площади), но, несмотря на лесистость, лесной фонд постоянно изменяется, причем основную роль в этих изменениях играют лесные пожары¹. В условиях экстремальной погоды (высокая температура воздуха, отсутствие осадков) они распространяются бесконтрольно и переходят в разряд крупных, когда дуют сильные штормовые ветры. Помимо пожаров на состояние лесов оказывает влияние целый ряд негативных антропогенных и природных факторов. Это, например, промышленные выбросы в атмосферу и, как следствие, ее загрязнение, вырубки, воздействие насекомых-вредителей, болезни деревьев и т. д., которые приводят к снижению продуктивности, нарушению устойчивости и уничтожению лесных массивов.

Преобладающими породами в регионе являются сосна обыкновенная, сосна сибирская (кедр) и лиственница сибирская, которые образуют легкогоримые светлохвойные леса, что вкупе с весенней засухой (как и засушливым климатом в целом) приводит к регулярным пожарам. Распространена коммерческая рубка леса, стимулируемая инвестициями из Китая. Возбудители болезней деревьев и вредители (сибирский коконопряд, пилильщик сосновый и др.) способствуют масштабному повреждению леса. Шквальные ветры приводят к образованию ветровалов на средневысотных горных хребтах в районах, где ведется интенсивная добыча кедрового ореха [11].

Проанализирована динамика лесных пожаров на землях Гослесфонда республики за период с 1936 по 2015 г. Количество и площади лесных пожаров в Бурятии подвержены резким колебаниям по годам, пожары приобретали катастрофический характер в 1943–1944, 1953–1954, 1996, 2003, 2008–2009 и 2014–2015 гг. С 1936 г. прослеживается цикл крупных пожаров раз в 10 лет, дальнейшая их динамика показывает, что периоды катастрофических пожаров сокращаются и составляют 5–6 лет. Отметим ничтожно малую площадь сгоревших территорий в период устойчивого развития СССР (1955–1990 гг.), характеризовавшегося надежной системой охраны лесов, включая, например, авиаотряды пожаротушения в каждом административном районе республики. В 2015 г. произошли самые масштабные пожары за весь период наблюдения, как по количеству (1573 ед.), так и по площади сгоревших лесов (890 тыс. га, это превышает «норму» в 15 раз) [10].

Глобальные, национальные, региональные и субрегиональные оценки необходимы для решения ряда задач, связанных с защитой леса, моделированием углеродного цикла, определением ресурсного потенциала, и требуют привлечения разнообразных методов и средств, но ключевым источником среди них являются методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Технологии ДЗЗ позволяют комплексно исследовать удаленные и часто недоступные территории. Лесные службы разных стран картографируют пожароопасные ситуации, очаги пожаров, площади гарей, оценивают ущерб от пожаров.

Современные подходы к изучению нарушенности лесного покрова в значительной степени основаны на долгосрочном мониторинге и пространственно-временном анализе динамики лесного покрова [1; 2; 6]. С развитием геоинформационных технологий возрастает роль спутниковых снимков и программных

¹ Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году». Москва, 2018. 888 с.

средств для создания современных методов мониторинга глобальных изменений лесного покрова [1–3]. Одним из наиболее распространенных направлений дистанционной оценки площадей гарей и степени повреждения растительного покрова после пожаров является использование различных вегетационных индексов, полученных на основе разновременных снимков спутников среднего и низкого пространственного разрешения Landsat и MODIS соответственно. Это объясняется наличием большой архивной базы данных снимков (начиная с 1970-х годов), мультиспектральных каналов в видимой и инфракрасной зонах электромагнитного спектра, приемлемым уровнем пространственного разрешения для проведения тематического картографирования. Многочисленными исследованиями была выявлена тесная корреляционная связь между показателями степени повреждения полога леса и значениями индексов вегетации. Нормированный разностный индекс растительности NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) часто используется исследователями при работе как с единовременными снимками, так и разновременными изображениями (до и после пожара) [2; 12]. В последние годы при оценках гарей широкое применение находят индекс гарей BAI (Burnt Area Index), композитный индекс гарей CBI (Composite Burn Index) и нормированный индекс гарей NBR (Normalized Burn Ratio) [14]. Оценка степени повреждения лесов пожарами по разновременным спутниковым снимкам MODIS на основе коротковолнового вегетационного индекса SWVI (Short-Wave Vegetation Index) предложена учеными Института космических исследований РАН [2; 8].

В основном пожары возникают по вине человека, большей частью из-за неосторожного обращения людей с огнем. Немаловажный фактор возникновения лесных пожаров — климатический. Глобальное потепление климата подтверждается многолетними данными станций сети Всемирной метеорологической организации и национальных сетей [5]. В России изменения в сторону повышения приземной температуры воздуха выражены сильнее, чем на земном шаре: за период с 1885 по 2012 г. среднегодовая температура на планете увеличилась на 0,85 °C [5], а в Забайкалье — на 2,0 °C [7]. Потепление неоднородно во времени, имели место и перерывы в росте температуры воздуха. Выделяются три интервала: 1) потепление — 1910–1945 гг.; слабое похолодание — 1946–1975 гг.; 3) наиболее интенсивное потепление — после середины 1970-х гг. [4]. Так, начиная с середины 1970-х гг. потепление в Улан-Удэ происходит с темпом 0,36 °C/10 лет [4]. С конца 90-х гг. XX в. до 2018 г. в бассейне оз. Байкал наблюдалась затяжная маловодная фаза, которая является рекордной по продолжительности за весь период инструментальных наблюдений [10].

Актуальность работы обосновывается тем, что существует реальная угроза безвозвратной потери части лесного покрова Бурятии из-за происходящих климатических изменений и все более усиливающегося антропогенного воздействия на леса в связи с крупными лесными пожарами в период 2003–2017 гг. Цель — оценка пространственно-временной изменчивости лесного покрова по данным ДЗЗ на примере Прибайкальского района Республики Бурятия за период с 2003 по 2017 г.

Территория исследования. Прибайкальский район расположен в центральной части Республики Бурятия с районным центром в с. Турунтаево (108°26' в.д., 52°44' с.ш.) на расстоянии 50 км от г. Улан-Удэ. Территория района имеет хоро-

шо развитую гидрографическую сеть, которая входит в Ангаро-Енисейский район бассейна оз. Байкал. Здесь протекает самая полноводная река Бурятии — Селенга. Есть множество рек поменьше: Турка, Ангир, Итанца, Пьяная, Иркилик, Таловка, Большой Уналей, Хаим, Ямбуй и др. На территории района также расположены озера Котокель, Малое и Большое Духовые, Колок и др. Прибайкальский район по почвенному районированию входит в Восточно-Сибирскую провинцию степей, межгорных впадин и горных пород [9]. Вся территория района находится в горном регионе среди хребтов Улан-Бургасы, Хамар-Дабан и Голондинский. Рельеф Прибайкальского района отличается значительными перепадами высот, приподнятостью над уровнем моря, глубокими межгорными впадинами и среднегорными четко выраженными хребтами. Восточная гряда гор района начинается на юге хребтом Хамар-Дабан (высшая точка — 2370 м), который на западе тянется в почти широтном направлении, а затем приобретает северо-восточное простирание. Продолжением Хамар-Дабана севернее долины р. Селенга служат сначала хребет Улан-Бургасы (2049 м), затем разделенные Баргузинской котловиной и круто обрывающиеся к ней Икатский (2573 м) и Баргузинский (2840 м) хребты. Большинство горных хребтов обладает пологими склонами и сравнительно низкими перевалами; их плоские массивы и отроги отделены друг от друга широкими паадьми.

В соответствии с данными Росреестра общая площадь лесных земель Прибайкальского района составляет 1 167 867 га, в том числе: а) земли, покрытые лесной растительностью — 1 115 720 га; б) земли, не покрытые лесной растительностью, — 340 016 га; в) дороги и просеки — 340 016 га; г) болота — 12 843 га; д) другие — 62 648 га. В районе 3 лесничества, площадь Байкальского лесничества составляет 611 151 га, Кикинского — 362 989 га, Прибайкальского — 248 281 га.

Материалы и методы

1. Для анализа потерь леса привлечены архивные данные Республиканского агентства лесного хозяйства (РАЛХ) Республики Бурятия.

2. Для оценки состояния лесов широко применяются снимки, полученные спектрорадиометрами TM и OLI спутников серии Landsat (Landsat-4-5 и Landsat-8 соответственно), находящиеся в свободном доступе. Пространственное разрешение данных изображений равно 30 м. Для оценки потери лесного покрова использована онлайн-веб-платформа Global Forest Watch (GFW, «Всемирный лесной дозор»), предоставляющая данные и инструменты для отслеживания состояния мировых лесов с помощью спутниковой съемки (<https://www.globalforestwatch.org>, дата обращения: 11.12.2022). Основной компонент данного проекта — интернет-ориентированное приложение для оценки пространственно-временной изменчивости древесного покрова земного шара за период с 2001 г. по настоящее время на основе снимков со спутников серии Landsat. Потери лесной растительности определены как снижение ее плотности или полное исчезновение вне зависимости от причин (пожары, вырубки, ветровалы и т.д.). GFW определяет лесную растительность как растительность высотой более 5 м вне зависимости от ее типа.

3. Из геопортала Геологической службы США с помощью поисковой системы GloVis (<http://glovis.usgs.gov>) загружено 12 безоблачных сцен платформы Landsat

периода вегетации растительности с 2003 по 2017 г., охватывающих территорию Прибайкальского района (табл. 1).

Для анализа нарушенности лесов получена маска границы лесов Прибайкальского района (замкнутый полигон лесной растительности) векторизацией контуров лесных массивов по 56 листам топографической карты М 1:50 000 1980 г. издания. Топокарты загружены из бесплатного интернет-сервиса «Карты всего мира» (<http://loadmap.net/ru>).

Таблица 1

Загруженные снимки Landsat на территорию исследования

Спутник, спектро радиометр	Дата съемки	Спутник, спектро радиометр	Дата съемки
Landsat-5, TM	28.08.2003	Landsat-8, OLI	15.08.2015
	03.08.2003		21.08.2015
	01.09.2003		15.07.2016
Landsat-5, TM	19.08.2011	Landsat-8, OLI	11.08.2017
	19.08.2011		29.08.2017
	11.09.2011		11.09.2017

Границы гарей для территории исследования определены на основе использования нормированного индекса гарей NBR, который представляет собой разность спектрального отражения в ближнем и коротковолновом инфракрасных каналах, нормированную на их сумму:

$$NBR = (TM4 - TM7)/(TM4 + TM7),$$

где $TM4$ и $TM7$ — спектральные значения ближнего и коротковолнового инфракрасных каналов спектро радиометра TM спутника Landsat-4-5. Для спектро радиометра OLI спутника Landsat-8 использован канал 5 вместо канала 4.

Использование разностного индекса гарей dNBR позволяет выделить границы свежих гарей:

$$dNBR = NBR_{prefire} - NBR_{postfire},$$

где $NBR_{prefire}$ — допожарный, $NBR_{postfire}$ — постпожарный периоды [15].

Пороговые значения dNBR приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения разностного индекса гарей dNBR

№ п/п	Значения dNBR	Характеристики индекса dNBR
1.	< -0,25	высокое постпожарное вегетативное возобновление / незатронутая огнем территория
2.	-0,25÷(-0,1)	низкое постпожарное вегетативное возобновление / незатронутая огнем территория
3.	-0,1÷0,1	незатронутая огнем территория
4.	0,1÷0,27	низкий уровень поврежденности пожаром
5.	0,27÷0,44	умеренно низкий уровень поврежденности пожарами
6.	0,44÷0,66	умеренно высокий уровень поврежденности пожарами
7.	> 0,66	высокий уровень поврежденности пожарами

Для автоматизированного построения производных изображений рельефа (например, карт высот и уклонов) наиболее эффективны цифровые модели, созданные по регулярной сетке исходных точек. В последнее время широкое распространение получила цифровая модель рельефа (ЦМР) SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Из геопортала Геологической службы США с помощью поисковой службы WIST (<https://wist.echo.nasa.gov>) загружен фрагмент ЦМР SRTM v. 4 на территорию исследования.

В работе использовано следующее программное обеспечение: комплекс по обработке и анализу аэрокосмической информации ENVI v. 4.8, геоинформационные системы ArcGIS v. 10.2 и Global Mapper v. 14, веб-приложение мониторинга потери леса Global Forest Watch.

Результаты и обсуждение

На основе использования индекса NBR получена карта распределения лесных гарей Прибайкальского района за 2003, 2011, 2015 и 2017 гг. (рис. 1) и рассчитаны их площади.

По результатам проведенных исследований установлено, что площадь гарей на лесных землях исследуемой территории в 2011 г. составила 41 735 га, в 2015 г. достигала 146 481 га, что на 92 076 га больше, чем в 2003 г.

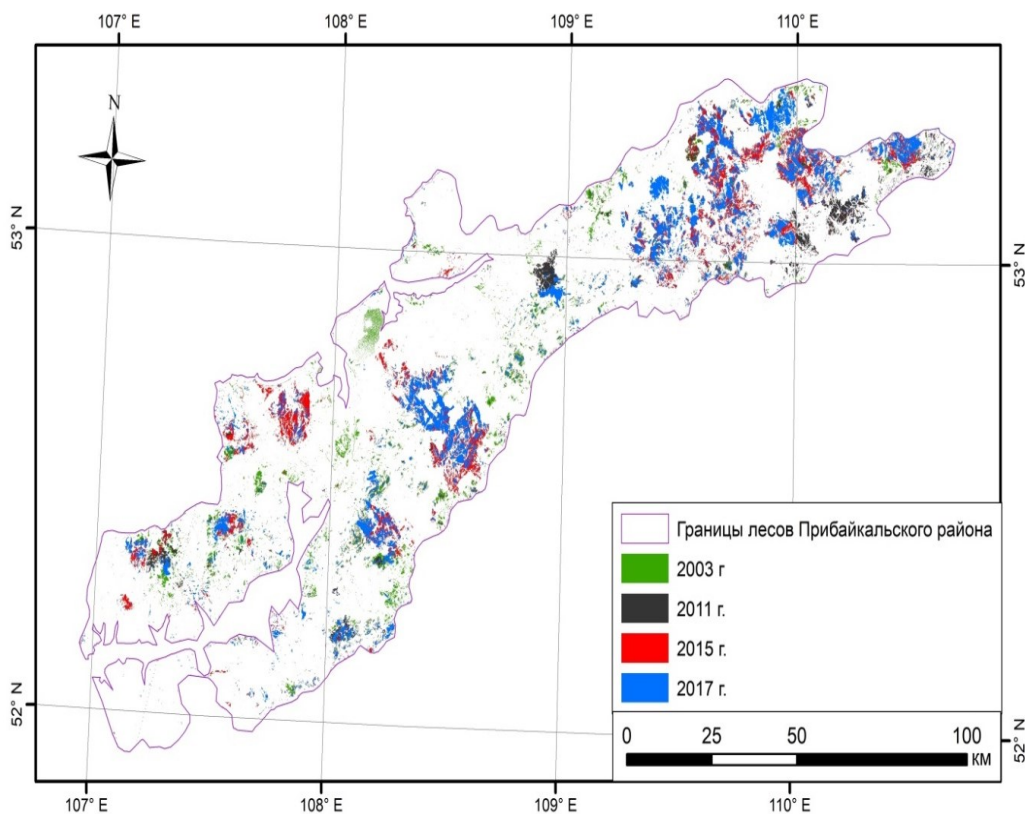


Рис. 1. Пространственное распределение площадей лесных гарей в Прибайкальском районе Республики Бурятия за 2003, 2011, 2015 и 2017 гг.

В результате классификации радиолокационного снимка SRTM (матрицы высот) установлено, что наибольшую площадь занимают участки местности с высотами 499–644 м, средние высоты рассматриваемой территории составляют 1 233–1 432 м, а наивысшие точки — 1 429–1 624 м. На исследуемой территории присутствуют в основном уклоны от 0 до 15°. Сильнее выражены уклоны в северо-восточной и южной частях территории (преобладают значения свыше 40°), где в основном и возникают лесные пожары. Наложение ареалов гарей на полученные карты высот и уклонов показывает, что лесные пожары возникают на высотах свыше 1 233 м при уклонах местности свыше 10°.

По данным РАЛХ и Гослесфонда Республики Бурятия, лесные пожары 2015 г. значительно затронули лесные земли Байкальского и Кикинского лесничеств.

Общая площадь лесных гарей 2015 г., полученная на основе индекса NBR, на 30 653 га ниже официальных данных РАЛХ Республики Бурятия и сопоставима с оценкой веб-приложения GFW (рис. 2).

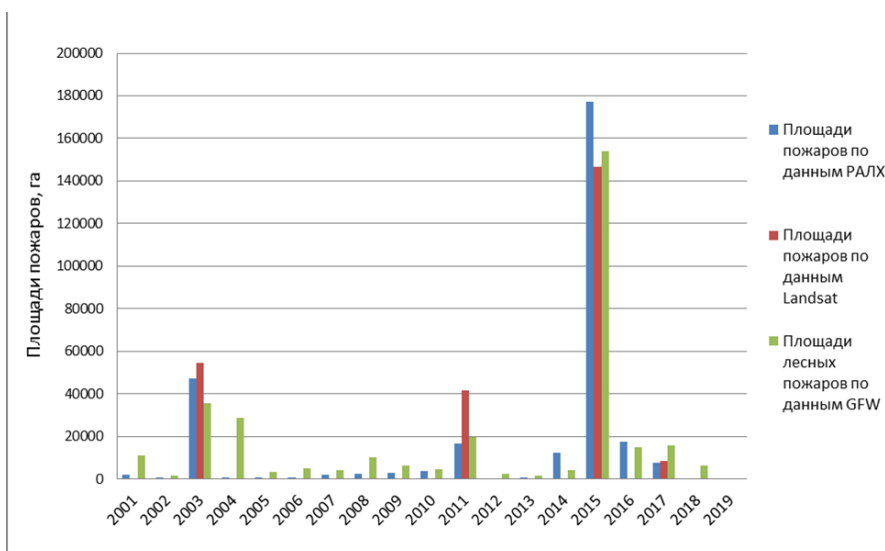


Рис. 2. Сравнительные характеристики площадей лесных пожаров на территории Прибайкальского района, полученные из трех разных источников

Это можно объяснить несколькими факторами:

1. Не все гари могли быть зафиксированы, т.к. разновременные композиты Landsat были созданы с использованием снимков только за июль-сентябрь по причине меньшей облачности в это время года. Не были учтены пожары в начале лета и поздней осенью, т.к. лесные пожары могут продолжаться и до октября.

2. Не все пожары можно зафиксировать, используя снимки Landsat. Так, низовые пожары, как правило, плохо выделяются на спутниковых изображениях.

Приведена оценка изменения лесного покрова с использованием разностного индекса гарей dNBR (табл. 3).

Таблица 3

Динамика разностного индекса гарей для Прибайкальского района, га

Класс	Характеристики индекса dNBR	2011–2015	2015–2017
1	высокое постпожарное вегетативное возобновление/незатронутая огнем территория	329 789	1 509
2	низкое постпожарное вегетативное возобновление/незатронутая огнем территория	390 746	12 153
3	незатронутая огнем территория	2 186 729	3 024 182
4	низкий уровень поврежденности пожаром	11 494	64 626
5	умеренно низкий уровень поврежденности пожаром	5 992	8 643
6	умеренно высокий уровень поврежденности пожаром	647	16 006

На большей части сгоревшей территории лесов Прибайкальского района сформировались гари с высокой степенью повреждения лесной растительности в период с 2015 по 2017 г. Наибольшую площадь занимают участки умеренной и низкой степени повреждения пожарами. Низкий уровень повреждения огнем обычно встречается на участках, расположенных по кромкам гарей, на которых происходило затухание интенсивных пожаров. Это также характерно для участков, на которых прошли низовые пожары.

Заключение

Полученные результаты пространственно-временной изменчивости лесного покрова территории Прибайкальского района Республики Бурятия за 2003–2017 гг. свидетельствуют о разнородной динамике лесных пожаров на исследуемой территории. При исследовании с использованием данных ДЗЗ и методов ГИС-технологий получены следующие результаты:

- рассчитаны нормированные индексы гарей NBR на исследуемую территорию;
- проанализированы динамика и факторы изменения индексов гарей NBR;
- получено сравнение результатов выделения горелых участков по индексам гарей NBR, по данным РАЛХ Республики Бурятия и интернет-сервиса Global Forest Watch.

Лесные пожары затронули большую часть северо-восточной половины исследуемой территории, наибольшая динамика изменений в лесном покрове наблюдается за 2015-2017 гг., в первую очередь в связи с аномально жарким летом 2015 г. Лесные пожары 2015 г. значительно затронули лесные земли Байкальского и Прибайкальского лесничеств. В основном лесные гари представлены большими площадями и отмечаются повторные пожары внутри сгоревших территорий.

Исследования показали высокую применимость спутниковых данных Landsat и современных программных геоинформационных комплексов для проведения дистанционного мониторинга земель лесного фонда.

Литература

1. Экспресс-картографирование повреждений лесов России пожарами по спутниковым данным Landsat / С. А. Барталев, Е. А. Лупян, Ф. В. Стыщенко [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11, № 1. С. 9–20. Текст: непосредственный.
2. Исследование возможностей оценки состояния поврежденных пожарами лесов по данным многоспектральных спутниковых измерений / С. А. Барталев, В. А. Егоров, А. М. Крылов [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7, № 3. С. 215–225. Текст: непосредственный.
3. Дистанционный мониторинг городских лесов / О. Н. Воробьев, Э. А. Курбанов, А. В. Губаев [и др.] // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер. Лес. Экология. Природопользование. 2015. № 1(25). С. 5–21. Текст: непосредственный.
4. Уровненный режим озера Байкал: ретроспектива и современное состояние / Е. Ж. Гармаев, Б. З. Цыдыпов, Д. Б. Дабаева [и др.] // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2017. № 2. С. 4–18. Текст: непосредственный.
5. Кокорин А. О. Изменение климата: обзор Пятого оценочного доклада МГЭИК. Москва, 2014. 80 с. Текст: непосредственный.
6. Четыре десятилетия исследований лесов по снимкам Landsat / Э. А. Курбанов, О. Н. Воробьев, А. В. Губаев [и др.] // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер. Лес. Экология. Природопользование. 2014. № 1(21). С. 18–32. Текст: непосредственный.
7. Обязов В. А. Региональный отклик приземной температуры воздуха на глобальные изменения (на примере Забайкалья) // Доклады Академии наук. 2015. Т. 461, № 4. С. 459–462. Текст: непосредственный.
8. Потери лесного покрова Республики Бурятия в XXI веке / Б. В. Содномов, А. А. Аюджанаев, В. Н. Черных, М. А. Жарникова // Успехи современного естествознания. 2020. № 10. С. 44–49. Текст: непосредственный.
9. Метод оценки степени повреждения лесов пожарами на основе спутниковых данных MODIS / Ф. В. Стыщенко, С. А. Барталев, В. А. Егоров, Е. А. Лупян // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10, № 3. С. 243–259. Текст: непосредственный.
10. Цыбжитов Ц. Х., Цыбжитов А. Ц. Почвы бассейна озера Байкал. Т. 3. Генезис, география и классификация таежных почв. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2000. 173 с. Текст: непосредственный.
11. Влияние изменения климата на экосистемные услуги лесных земель юга Восточной Сибири / Б. З. Цыдыпов, Е. Ж. Гармаев, Б. О. Гомбоев [и др.] // Известия РАН. Серия географическая. 2022. Т. 86, № 1. С. 82–97. Текст: непосредственный.
12. Добыча кедрового ореха как фактор деградации кедровников горно-таежных ландшафтов Забайкалья (на примере тайги хребта Цаган-Дабан) / В. Н. Черных, Д. В. Бондаренко, Д. М. Аюшеева, Б. Б. Раднаева // Вестник Бурятского государственного университета. Биология, география. 2019. № 3. С. 44–51. Текст: непосредственный.
13. Escuin S., Navarro R., Fernandez P. Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from Landsat TM/ETM images // International Journal of Remote Sensing. 2008. № 29. P. 1053–1073.
14. Global Forest Resources Assessment 2015. Desk Reference. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2015.
15. Kasischke E. S., Turetsky M. R., Ottmar R. D., French N. H. F., Hoy E. E., Kane E.S. Evaluation of the composite burn index for assessing fire severity in Alaskan black spruce forests // International Journal of Wildland Fire. 2008. Vol. 17. P. 515–526.

Б. З. Цыдыпов, А. Ч. Монгуш, А. А. Аюржанаев, Б. В. Содномов. Оценка пространственно-временной изменчивости лесного покрова Прибайкальского района Республики ...

16. Loboda T., O'Neal K. J., Csiszar I. Regionally adaptable dNBR-based algorithm for burned area mapping from MODIS data // *Remote Sensing of the Environment*. 2007. Vol. 109(4). P. 429–442.

17. Schepaschenko D. G., Shvidenko A. Z., Lesiv M. Y., Kraxner F., Ontikov P. V., Shchepashchenko M. V. Estimation of forest area and its dynamics in Russia based on synthesis of remote sensing products // *Contemporary Problems of Ecology*. 2015. Vol. 8(7). P. 811–817.

Статья поступила в редакцию 25.11.2022; одобрена после рецензирования 30.11.2022; принята к публикации 19.01.2023.

EVALUATION OF SPATIAL-TEMPORAL VARIABILITY OF THE FOREST COVER
OF PRIBAIKALSKY DISTRICT OF THE REPUBLIC OF BURYATIA
BASED ON EARTH REMOTE SENSING DATA

Bair Z. Tsydyпов

Cand. Sci. (Engineering), Senior Researcher,
Baikal Institute of Nature Management SB RAS
6 Sakhyanovoy St., Ulan-Ude 670047, Russia
bz61@binm.ru

Aizana Ch. Mongush

Forest Master,
State Institution of the Republic of Tyva "Tes-Khem Forestry"
4 Mugur St., Samagaltai 668360, Russia
aizanamongush@mail.ru

Aleksandr A. Ayurzhanayev

Cand. Sci. (Engineering), Senior Researcher,
Baikal Institute of Nature Management SB RAS
6 Sakhyanovoy St., Ulan-Ude 670047, Russia
aaayurzhanayev@yandex.ru

Bator V. Sodnomov

Junior Researcher,
Baikal Institute of Nature Management SB RAS
6 Sakhyanovoy St., Ulan-Ude 670047, Russia
sodnomov@binm.ru

Abstract. With the development of geoinformation technologies, the role of satellite images and software tools for creation of modern methods for monitoring global changes in forest cover is increasing. The data of medium spatial resolution of the Landsat satellites are used to solve the problems of monitoring and modeling changes in forest cover. The article presents the results of the analysis of spatial and temporal variability of the forest cover of Pribaikalsky district of the Republic of Buryatia for the period from 2003 to 2017, obtained from three independent sources of information: 1) archival data of the Republican Forestry Agency of the Republic of Buryatia; 2) the normalized burn ratio (NBR) for the study area; 3) data of the Global Forest Watch online platform.

We have analyzed the dynamics and factors of change in the normalized burn ratio, and presented a comparison of the results of identifying burnt areas according to the NBR, the Republican Forestry Agency of the Republic of Buryatia and the Global Forest Watch Internet

service. Studies have shown the high applicability of Landsat satellite data and modern software geoinformation systems for remote monitoring of forestry fund lands.

Keywords: geoinformation system, remote sensing, Landsat, forest fire, fire index, classification, spatial analysis.

Acknowledgements. The work was carried out within the framework of the state assignment of Baikal Institute of Nature Management SB RAS (AAAA-A21-121011990023-1).

For citation

Tsydypov B. Z., Mongush A. Ch., Ayurzhanayev A. A., Sodnomov B. V. Assessment of Spatial-Temporal Variability of the Forest Cover in Pribaikalsky District of the Republic of Buryatia Based on Remote Sensing Data. *Bulletin of Buryat State University. Biology. Geography.* 2023; 1: 51–62 (In Russ.).

The article was submitted 25.11.2022; approved after reviewing 30.11.2022; accepted for publication 19.01.2023.