

УДК 911.5

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ЛАНДШАФТНОГО ПОКРОВА СЕВЕРНЫХ РАЙОНОВ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ И ЕГО ИЗМЕНЕНИЙ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПОЖАРОВ

© 2024 г. И. Н. Биличенко^{а,*}, Е. А. Распутина^{а,**}^аИнститут географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, 664033, Россия

*E-mail: irinabilnik@mail.ru

**E-mail: elenaistoma@gmail.com

Поступила в редакцию 10.11.2023 г.

После доработки 20.12.2023 г.

Принята к публикации 24.05.2024 г.

Северные районы Иркутской области в последние десятилетия подвержены пожарам в результате развития нефтегазового комплекса, а также изменяющихся климатических условий. В работе проведено геоинформационное картографирование и анализ пространственной структуры ландшафтного покрова (land cover) двух ключевых участков, расположенных в районе пос. Вершина Ханды и села Токма за два временных среза 2013–2014 гг. и 2018–2019 гг. (до и после активных лесных пожаров преимущественно 2016 и 2017 гг.). Картографирование проводилось с применением инструмента обучаемой классификации Random Forest, космических снимков Landsat 8. В результате на территории было выделено 10 классов ландшафтного покрова. Показано, что на территориях в 2013–2014 гг. преобладали хвойные (светлохвойные – сосново-лиственничные, лиственнично-сосновые, реже темнохвойные – кедровые и еловые) леса, а также хвойно-лиственные и лиственные леса и болота. С 2013 до 2019 г. более 20% Токминского и более 5% Хандинского была пройдена пожарами. Горели преимущественно хвойные леса, а на Токминском участке также ерниковые болота.

Ключевые слова: вершина Ханды, Токма, ландшафтный покров, автоматизированная классификация космических снимков, Landsat 8, картографирование, растительность

DOI: 10.31857/S0869607124010023, EDN: OCWOUJ

ВВЕДЕНИЕ

Северные территории Иркутской области в последнее время сильно подвержены пожарам, причем происходит это в результате как антропогенного, так и природного факторов [5, 8, 9, 10, 12]. Эти районы сейчас становятся все более перспективными в плане промышленного освоения природных ресурсов. Вместе с тем, в последние десятилетия происходят глобальные климатические изменения, в высоких широтах они оказывают наибольшее влияние [19]. При этом пожары, происходящие здесь, в труднодоступных районах, остаются вне поля контроля и фактически не тушатся, если не угрожают населенным пунктам или объектам производственной инфраструктуры. В итоге под пирогенным воздействием оказываются большие площади северных территорий, на которых находятся общины коренных малочисленных народов Севера (КМНС). Общины в условиях промышленного освоения природных ресурсов выступают заинтересованной стороной, представляя не только соци-

ально-экономические интересы местного сообщества, но и, как правило, выступают за сохранение обширных территорий (своих оленеводческих и охотничье-рыболовных угодий), определяющих основу их культурной идентичности и самобытности их образа жизни. Такие территории представляют собой уникальные социально-экологические системы, в которых человек и природа тесно взаимосвязаны [6].

Современные исследования пространственной структуры и динамики ландшафтного покрова, в т. ч. его изменения под воздействием пожаров, проводятся с применением космических снимков и геоинформационных технологий. Для исследований в крупном и среднем масштабе в основном используются снимки Landsat и Sentinel-2, находящиеся в свободном доступе. Актуальны глобальные проекты картографирования ландшафтного покрова [13–16, 18, 21–22], изменений лесного покрова [23], динамики гарей [17].

Целью работы стало геоинформационное картографирование ландшафтного покрова территории с применением данных полевых исследований, космических снимков Landsat и облачной платформы Google Earth Engine, а также анализ пространственной структуры растительного покрова и ее изменений под воздействием пожаров в период с 2013 по 2019 гг.

Термин «ландшафтный покров» понимается в работе как аналог англоязычного термина «land use / land cover», который описывает то, что находится на поверхности земли и представляет собой комбинацию растительности, почв, пород, воды и структур, возведенных человеком и составляющую ландшафт [1]. Нет общепринятого перевода данного термина на русский язык, он переводится разными авторами как растительный покров, поверхностный покров, наземный покров, земельный покров и др.

ОБЪЕКТЫ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве территории исследования выбраны таежные участки у поселков Токма и Вершина Ханды в Иркутской области (рис. 1). Здесь проживают и ведут хозяйственную деятельность эвенки — представители коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока. Эти районы исследований характеризуются суровыми климатическими условиями, островной вечной мерзлотой. Здесь преобладает хвойная растительность, значительно подверженная лесным пожарам.

Ханда. Район исследования расположен в пределах Иркутской области, Усть-Кутского, Казачинско-Ленского и Жигаловского административных районов. Традиционно местные жители — эвенки занимались оленеводством, охотой, рыбалкой, сбором кедровых орехов, ягод и трав [11]. В 1975–1986 гг. вблизи деревни шло строительство Байкало-Амурской магистрали, что послужило толчком к промышленному развитию территории. Сейчас это район активной добычи углеводородного сырья и лесных ресурсов. Кроме того, здесь начат крупный проект по строительству трубопровода «Сила Сибири» В связи с этим предполагается дальнейшее развитие инфраструктуры, в том числе сети автомобильных дорог.

Данная территория относится к Кудинско-Хандинской остепненно-таежной подгорной, Лено-Киренгской таежно-подгорной, и Ангаро-Ленской таежно-плоскогорной провинциям, Байкало-Джугджурской горно-таежной области [7]. Это плоскогорный, с плоскими округлыми вершинами район в междуречье Лены и Киренги и переходной зоне от Лено-Ангарского плато (900–1000 м) к Предбайкальской впадине (300–500 м). Окрестности деревни Ханды находятся в Хандинской заболоченной депрессии. Абсолютные высоты ее днища составляют 700–750 м.

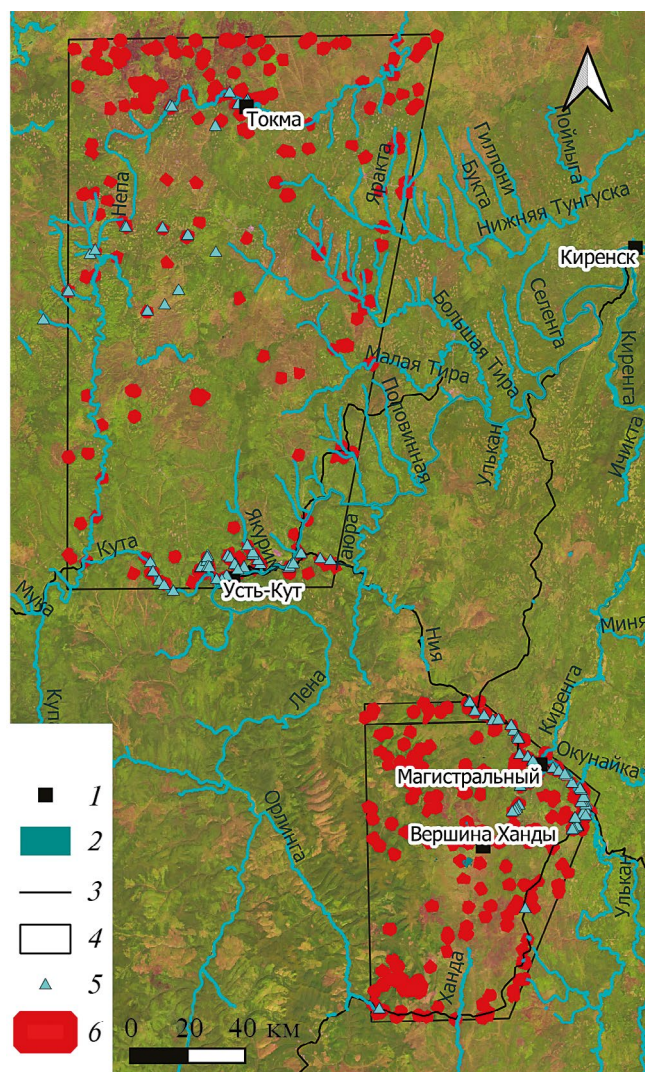


Рис. 1. Расположение ключевых участков и точек полевых обследований на космическом снимке Landsat 8: 1 – города, 2 – основные реки, 3 – основные автомагистрали, 4 – границы ключевых участков, 5 – точки полевых описаний, 6 – тестовые полигоны для обучения классификации.

Fig. 1. Location of key areas and field research points on the Landsat 8 satellite image: 1 – cities, 2 – main rivers, 3 – main highways, 4 – boundaries of key areas, 5 – field description points, 6 – test sites for classification training.

Здесь развит пойменно-террасовый комплекс, характерны пологие склоны и невысокие гряды высотой 100–300 м [10].

На исследуемом участке господствуют редкостойные лиственничные и елово-лиственничные с ерником моховые леса на торфянистых почвах и лиственнично-кедрово-еловые мелкотравно-зеленомошные леса плато на дерново-подзолистых почвах. С увеличением высот лиственница уступает место кедру, пихте и ели. Значительные площади вырубок и пожаров заняты восстановительными стадиями из березовых травяно-зеленомошных лесов. В северо-восточной части участка

доминируют редкостойные лиственничники, сочетающиеся с лугово-болотными участками, а в западной части горнотаежные темнохвойные природные комплексы. Подробные ландшафтные описания были проведены вдоль неформальной автомобильной дороги от дер. Вершина Ханды до пос. Магистрального [4].

Токма. Второй район исследования расположен в Усть-Кутском и Катангском административных районах. В первом проживают эвенки, на 2021 год их численность составила 16,9% от общего числа жителей района (из 3214 человек).

Это юго-восток Среднесибирского плоскогорья, Приленская плоская возвышенность. Рельеф участка параллельно-грядовый. Данная территория относится к Среднеангарской южно-таежной и Тунгусско-Пеледуйской среднетаежной провинциям, Среднесибирской таежно-плоскогорной области, и Ангаро-Ленской таежно-плоскогорной провинции Байкало-Джугджурской горно-таежной области [7].

Здесь распространены лиственничные кустарниково-зеленомошные среднетаежные природные комплексы на выположенных участках, пологих склонах и болотные с ерником, иногда залесенные сосной и лиственницей в долинах на дерново-карбонатных почвах. Террасам соответствуют северо-таежные лиственничные с примесью ели кустарниково-моховые с ерниковым подлеском, местами заболоченные природные комплексы на дерново-подзолистых почвах [19].

На обоих участках повсеместно распространены терригенно-карбонатные ордовикские отложения с красноцветными песчаниками на вершинных поверхностях и в верхних частях склонах. Климат изучаемых территорий исследования резкоконтинентальный с достаточно суровой зимой и коротким летом. Средняя температура января составляет -21 – -28°C , июля $+15$ – $+18^{\circ}\text{C}$, годовые суммы осадков на Хандинском участке 360–440 мм. Токминском – 400–500 мм. На лето-осень приходится около 75% от годовой суммы осадков [3]. Зима длится 5–6 месяцев, высота снежного покрова в среднем составляет 30–50 см.

Среди антропогенных объектов, на обоих ключевых участках есть населенные пункты, дороги разного статуса, линии электропередач, земли промышленного назначения (буровые скважины, трубопроводы, рабочие поселки, т. д.), вырубки.

Полевые работы на исследуемых участках были проведены с 2019 по 2021 годы. В общем было сделано около 300 геоботанических описаний. Так как территория труднодоступная, описания в основном проводились вблизи лесных, технологических дорог, геологических профилей (рис. 1). Подробно описывались древостой, подрост, подлесок, травяно-кустарничковый ярус. Также особое внимание уделялось нарушенным территориям: гарям, рубкам, участкам нефтегазового освоения.

Методика картографирования. Для картографирования и анализа ландшафтного покрова исследуемой территории были получены и проанализированы космические снимки Landsat 8 с использованием платформы Google Earth Engine (GEE) [19]. Для анализа было выбрано два временных периода: лето 2013–14 гг., период, наиболее близкий к году полевых исследований, когда площадь гарей была минимальна, а также лето 2018–19 гг. – период, в который хорошо можно отследить результаты большого количества пожаров 2016–17 гг. Были взяты композиты из нескольких изображений, доступные на даты от 1 июня до 15 сентября 2013 и 2014 гг. (94 изображения для Токминского и 61 – для Хандинского участка), а также 2018 и 2019 гг. (83 изображения для Токминского и 63 – для Хандинского участка). Для вовлечения в процесс классификации большого количества безоблачных снимков, а также для учета различных состояний растительности в течении года для анализа использовались двухлетние композиты, состоящие из всех безоблачных пикселей снимков,

имеющихся в базе данных за указанные периоды времени. На их основе рассчитывались медианные значения для каналов В3–В7. Применялась стандартная маска облачности, основанная на параметрах качества пикселей снимков Landsat, доступных через платформу GEE. Применялся метод обучаемой классификации Random Forest (300 trees, 5 variables per split). Композиты были разделены на 10 классов ландшафтного покрова (land cover) (рис. 2).

Для обучения и оценки достоверности классификации было создано около 200 тестовых полигонов для каждого ключевого участка (см. рис. 1), около половины из которых были основаны на данных, собранных во время полевых экспедиций 2019–2021 гг., и около половины были получены из мозаики изображений Landsat 8 и Sentinel-2; а также изображений высокого разрешения, доступных в Google EarthTM, Yandex и ESRI. Для оценки точности классификации было использовано 20% созданных тестовых полигонов.

Для анализа пространственной структуры ландшафтного покрова были рассчитаны площади каждого типа ландшафтного покрова для каждого ключевого участка. При определении степени распространения лесных пожаров по разным ландшафтам, была рассчитана площадь выгоревших площадей за 2013–2019 гг. для каждого типа наземного покрова. Для определения относительных площадей пожаров для различных типов ландшафтного покрова в период с 2013–2014 по 2018–2019 гг., площади пожаров в пределах каждого типа были разделены на их соответствующие общие площади ареалов различных типов ландшафтного покрова в 2013–2014 гг.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате созданы карты ландшафтного покрова территорий исследования за 2013–2014 и 2018–2019 гг. (рис. 2). Масштаб карт соответствует пространственному разрешению снимков Landsat 30 м и составляет 1 : 100 000. Рассчитаны параметры точности классификации: матрица ошибок, общая точность классификации и точность по оценке Каппа. Точность классификации для различных ключевых участков и лет оставила 0,96–0,97, по оценке Каппа – 0,95–0,96, что говорит о высокой достоверности полученных карт. Анализ матриц ошибок показал, что наименее точно выделяемые типы – это классы 6 и 10 (см. легенду к рис. 2). Ошибки при выделении остальных типов ландшафтного покрова составляли менее 10%. Рассчитаны площади, занимаемые различными типами ландшафтного покрова на территориях исследования (рис. 4), а также площади сгоревших участков, разделенных по типам ландшафтного покрова для определения доли сгоревших площадей (таблица 1).

Анализ карт (рис. 2), а также значений площадей ареалов различных типов ландшафтного покрова (рис. 4) показал, что на Токминском и Хандинском участках исследования наибольшую площадь занимает светлохвойный (сосново-лиственничный, лиственнично-сосновый), реже темнохвойный (кедровый, еловый) лес (тип 4 и 5) (почти 50% на Хандинском и более 35% на Токминском участках в 2013–14 гг., и около 40% и 20% соответственно в 2018–2019 гг.). Также значительные территории занимает вторичный сосново-березовый и березовый лес (типы 6 и 7) (около 25% на Хандинском участке и 40% на Токминском участке в 2013–2014 гг.). Ареалы этих типов леса почти не изменились после сезона пожаров на Токминском участке, и сократились почти в 2 раза на Хандинском участке. На обоих участках распространены редкостойные лиственничные ерниковые и осоковые болота (типы 2–3) (10% на Хандинском и 17% на Токминском участке в 2013–2014 гг.). На Токминском участке значительная площадь болот подверглась пожарам. Площадь свежих гарей

Таблица 1. Изменение площадей ареалов различных типов ландшафтного покрова под воздействием пожаров с 2013 по 2019 г.

Table 1. Changes in the areas of habitats of various types of land cover for 2013 and 2019 and their changes under the influence of fires.

Тип	Ханда			Токма		
	было в 2013 году, км ²	сгорело с 2013 до 2019 года, км ²	доля сгоревших площадей (%)	было в 2013 году, км ²	сгорело с 2013 до 2019 года, км ²	доля сгоревших площадей (%)
1	297.0	39.5	13.3	133.1	1.7	1.3
2	3648.4	1515.7	41.5	616.3	44.4	7.2
3	63.6	11.3	17.7	70.0	0.1	0.2
4	7699.8	1864.7	24.2	2227.2	113.5	5.1
5	466.7	145.7	31.2	1169.6	113.1	9.7
6	5896.8	643.9	10.9	1582.9	30.3	1.9
7	2248.4	281.9	12.5	245.1	0.9	0.4
8	381.8	183.3	48.0	140.1	35.9	25.7
9	106.1	8.0	7.5	462.3	43.5	9.4
10	233.3	53.1	22.8	56.0	2.6	4.6
Итого		4747			386	

(тип 8) на обоих участках была незначительной и составляла около 2%, а после пожаров 2016–2017 гг. значительно увеличилась и составила около 6% на Хандинском участке и более 22,6% на Токминском участке.

Анализ таблицы показал, что на Токминском участке с 2013 до 2019 г. сгорели значительные площади лесов и болот (4747 км²), тогда как на Хандинском участке эта цифра составила лишь 386 км². В абсолютных показателях на Токминском участке гарям подверглись в основном хвойные леса и ерниковые болота. Гарям на болотах – существенной проблеме данной территории – была посвящена отдельная работа [21]. На Хандинском участке в основном горели хвойные леса.

Анализ площадей гарей по типам ландшафтного покрова, отнесенных к их долям площади до пожаров (см. табл., столбец 4 и 7) показал, что по Токминскому ключевому участку высокой горимостью отличались гари (48% гарей сгорело повторно), ерниковые болота (41,5%), темнохвойный лес (31,2%), а также антропогенные объекты (22,8%), а по Хандинскому ключевому участку – участки уже ранее горевшие (25,7%), зарастающие гари и вырубki (9,4%) и ерниковые болота (7,2%).

На обоих ключевых участках площадь ареалов относительно ненарушенных типов ландшафтного покрова (типы 1–6) (см. рис. 2, 3) составляла более 80 процентов территории в 2013 г. Однако, после пожаров, прошедших в период с 2013 до 2019 г., значительно пострадала территория Токминского ключевого участка, в результате чего площадь ареалов относительно ненарушенных природных комплексов сократилась здесь до 60%. На Хандинском ключевом участке в результате того, что площадь пожаров была намного меньше, площадь ареалов относительно ненарушенных природных комплексов почти не изменилась относительно 2013 г. и так и осталась выше 80%.

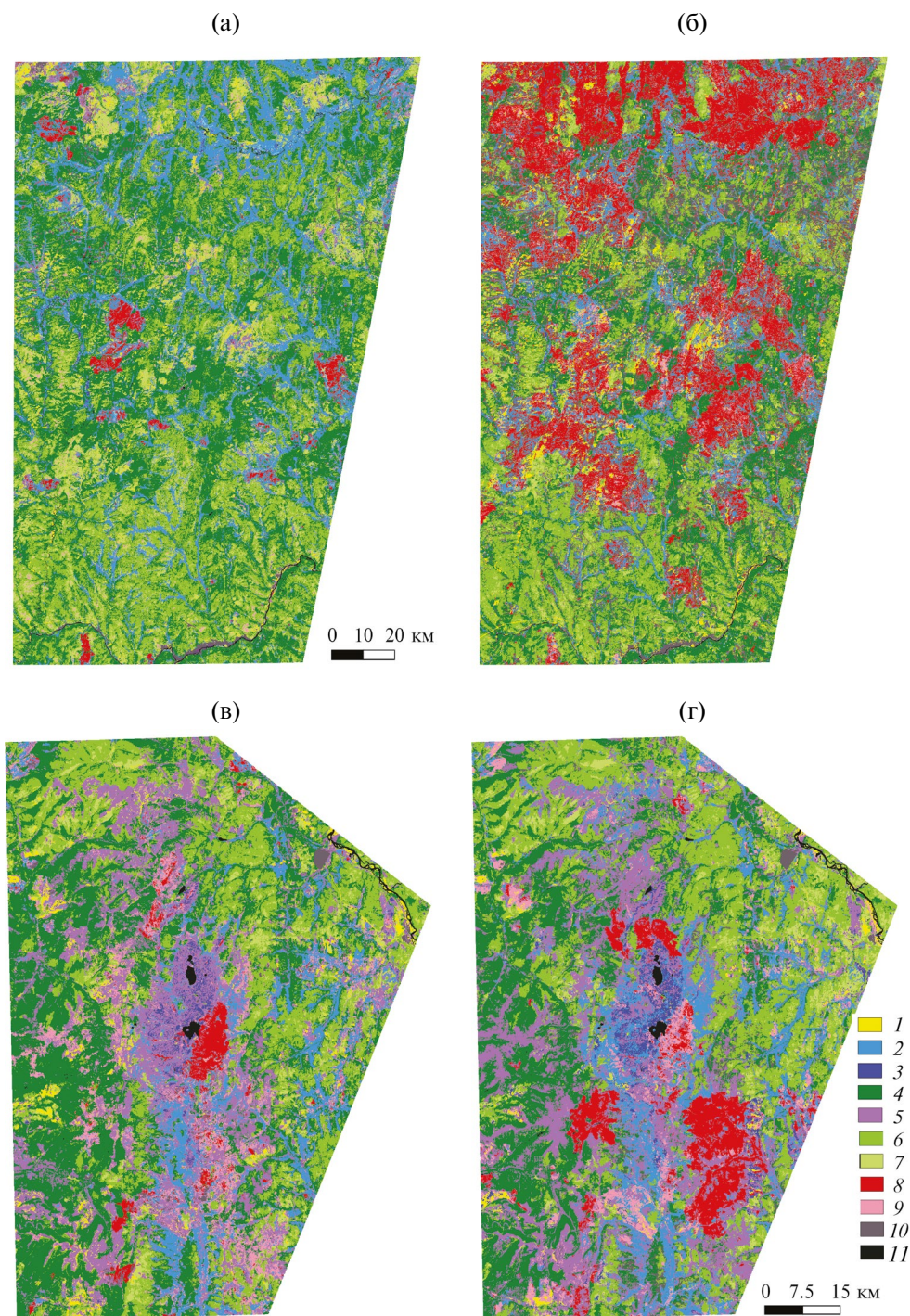


Рис. 2. Карты ландшафтного покрова территорий исследования: Токминский участок: а – 2013–2014 гг., б – 2018–2019 гг.; Хандинский участок: в – 2013–2014 гг., г – 2018–2019 гг.

Fig. 2. Maps of land cover of the study areas: Tokma site: (a) – 2013–2014, (б) – 2018–2019; Khanda site: (в) – 2013–2014, (г) – 2018–2019.



Рис. 3. Ландшафты исследуемых участков: а, б, в — см. в легенде к рис. 2, г — влияние дороги на придорожную полосу растительности.

Fig. 3. Landscapes of the study areas: (a), (б), (в) — see the legend to Fig. 2, (г) — the influence of the road on the roadside vegetation.

Типы ландшафтного покрова: *относительно ненарушенная и восстановленная растительность*: 1 — луговая травянистая растительность, местами с участием кустарников; 2 — ерниковые моховые болота с редкостойным древостоем из лиственницы и ели (рис. 3, а); 3 — осоковые болота с клюквой, багульником и куртинами ерника; 4 — светлехвойный (сосново-лиственничный, лиственнично-сосновый), реже темнехвойный (кедровый, еловый,) травяно-кустарничково-зеленомошный лес; 5 — разреженный елово-кедровый кустарничково-зеленомошный лес; 6 — сосново-березовый разнотравный лес (различные стадии восстановления светлехвойного, реже темнехвойного леса на гарях более 30-летней давности); *типы, относящиеся к преобразованным пожарами разных лет и антропогенно-нарушенные объекты*: 7 — березовый разнотравный лес и молодой смешанный (березово-сосновый травяно-кустарничковый) лес преимущественно на старых гарях и вырубках (рис. 3, б); 8 — свежие гары 1–2-летней давности почти без растительности; 9 — гары, вырубки и сельскохозяйственные угодья, заросшие травой, кустарниками и подростом мелколиственных пород (рис. 3, в); 10 — антропогенные объекты; 11 — водные объекты.

Types of land cover: *relatively undisturbed and restored vegetation*: 1 — meadow shrub herbaceous vegetation, 2 — ernik bogs with a sparse stand of larch and spruce (Fig. 3, (a)), 3 — sedge bogs with cranberries, wild rosemary and clumps of dwarf birch, 4 — light coniferous (pine-larch, larch-pine), less often dark coniferous (cedar, spruce) grass-shrub-green moss forest, 5 — sparse spruce-cedar shrub-green moss forest, 6 — mixed pine-birch forb forest (different stages of restoration on burnt areas more than 30 years old); *types related to the transformed by fires of different years and anthropogenically disturbed objects*: 7 — birch forb forest and young mixed forest mainly on old burnt areas and clearings (Fig. 3, (б)), 8 — fresh burnt areas 1–2 years ago with almost no vegetation, 9 — burnt areas, clearings and agricultural land overgrown grass, shrubs and undergrowth of small-leaved species (Fig. 3, (в)), 10 — anthropogenic objects (settlements, fresh clearings, power lines with almost no vegetation, agricultural lands), 11 — water bodies.

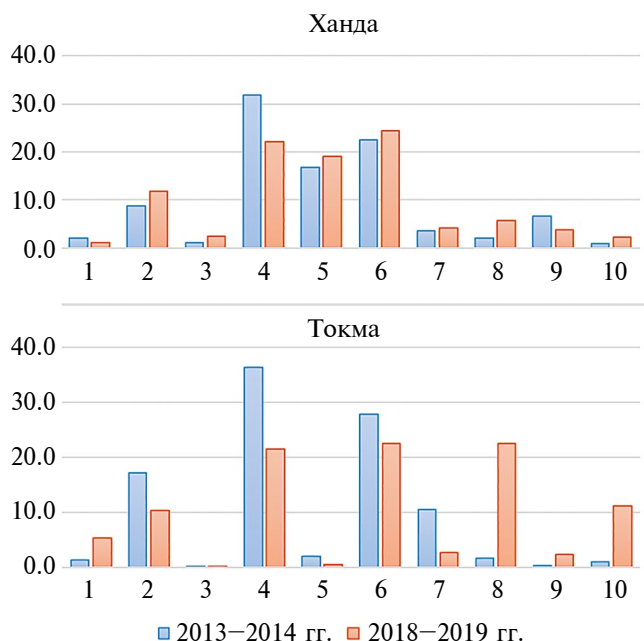


Рис. 4. Графики распределения площадей (в % от общей площади исследуемых участков) по типам ландшафтного покрова за 2013–2014 и 2018–2019 гг.

Fig. 4. Graphs of area distribution (in % of the total area of the study areas) by land cover types for 2013–2014 and 2018–2019.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследуемые малонаселенные участки северных районов Иркутской области в настоящее время подвержены активному нефтегазовому освоению. Созданные в результате этого процесса дороги позволяют другим пользователям (лесной промышленности, охотникам, рыбакам и т. д.) наращивать свою деятельность в регионе. Все это в совокупности с природными факторами приводит к активизации здесь пожаров.

Применение геоинформационных методов и космических снимков позволило провести детальный количественный анализ пространственной структуры ландшафтного покрова исследуемых участков и его изменения под воздействием пожаров.

Анализ пространственной структуры ландшафтного покрова исследуемых участков за 2013–2014 и 2018–2019 гг. показал, что на территориях в 2013–2014 гг. преобладали хвойные (светлохвойные – сосново-лиственничные, лиственнично-сосновые, реже темнохвойные – кедровые и еловые) леса, а также хвойно-лиственные и лиственные леса и болота. На этот момент времени площади ареалов относительно ненарушенных типов растительности составляли более 80%.

С 2013 до 2019 г. значительная площадь Токминского участка (4747 км²) была пройдена пожарами, на Хандинском участке эта цифра составила лишь 386 км². Горели на обеих исследуемых территориях в основном хвойные леса, а на Токминском участке также ерниковые болота. В результате пожаров, прошедших в период с 2013 до 2019 г. значительно пострадала территория Токминского ключевого участка

(площадь ареалов относительно ненарушенных типов растительности сократилась здесь до 60%). На Хандинском ключевом участке эта цифра осталась выше 80%.

Таким образом, площади пожаров с 2013 по 2019 г. увеличились. В основном это касается Токминского участка, и связано это прежде всего с недоступностью территории для тушения. Если принципы тушения пожаров в отдаленных районах севера Иркутской области не изменятся, значительные территории будут подвергаться огню и коренные природные комплексы, которых и так осталось немного будут меняться на производные.

Исследование выполнено за счет средств государственных заданий (№ госрегистрации АААА-А21-121012190059-5, АААА-А21-121012190056-4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеева Н.Н., Климанова О.А., Хазиева Е.С. Глобальные базы данных земельного покрова и перспективы их использования для картографирования современных ландшафтов // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2017. № 1. С. 110–123. <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2017-1-110-123>
2. Атлас Иркутской области: экологические условия развития. М. – Иркутск, 2004. 90 с.
3. Биличенко И.Н., Макаров С.А., Опекунова М.Ю., Власова Н.В. Эколога-географические исследования на Ярактинском нефтегазоконденсатном месторождении (иркутская область) // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2017. № 2. С. 33–37.
4. Биличенко И.Н., Кобылкин Д.В., Куклина В.В., Богданов В.Н. Развитие неформальной дорожной сети и ее влияние на трансформацию таежных геосистем на севере Иркутской области // География и природные ресурсы. 2021. Т. 42. № 2. С. 114–122. EDN: VNEOTC. <https://doi.org/10.15372/GIPR20210212>
5. Кайбичева Е.И., Кайбичев И.А. Индекс числа лесных пожаров в Российской Федерации за 2006–2010 гг. // Пожаровзрывобезопасность. 2013. Т. 22. № 5. С. 45–50.
6. Красноштанова Н.Е. Особенности административного управления в районах нового промышленного освоения Севера: проблемы и преимущества социально-экономического развития // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2022. № 2(76). С. 82–96. <https://doi.org/10.37614/2220-802X.2.2022.76.007>
7. Михеев В.С., Ряшин В.А. Ландшафты юга Восточной Сибири: карта. М-б 1:1 500 000. М.: ГУГК, 1977. 4 л.
8. Пономарев Е.И., Харук В.И., Якимов Н.Д. Результаты и перспективы спутникового мониторинга природных пожаров Сибири // Сибирский лесной журнал. 2017. № 5. С. 25–36.
9. Рунова Е.М., Доленко М.А. Лесные пожары в Иркутской области // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2006. Т. 1. С. 90–92.
10. Экологические аспекты освоения Ковыктинского газоконденсатного месторождения / под ред. А.Д. Абалакова, Э.С. Зиганшина, Ю.О. Медведева и др. Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2001. 195 с.
11. Экологическое ориентированное планирование землепользования в Байкальском регионе. Ковыктинское газоконденсатное месторождение / отв. ред. Е.Г. Суворов, С.А. Макаров. Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2004. 159 с.
12. Goldammer J.G., Sukhinin A., Csiszar I. Current fire situation in the Russian Federation: Implications for enhancing international and regional cooperation in the UN Framework and the global programs on fire monitoring and assessment // GFMC contribution to the International Workshop “New Approaches to Forest Protection and Fire Management at an Ecosystem Level”. Khabarovsk, 2003. P. 1–24.

13. *Brown C.F., Brumby S.P., Guzder-Williams B. et al.* Dynamic World, Near real-time global 10 m land use land cover mapping // *Sci Data*. 2022. № 9. 251 p. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01307-4>
14. *Chughtai A.H., Abbasi H., Karas I.R.* A review on change detection method and accuracy assessment for land use land cover // *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 2021. P. 13. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100482>
15. COPERNICUS Landcover 100m Proba-V C3 Global. Google Earth Engine. URL: https://developers.google.com/earthengine/datasets/catalog/COPERNICUS_Landcover_100m_Proba-V-C3_Global (дата обращения: 23.04.2023).
16. ESRI Land Cover global. URL: <https://livingatlas.arcgis.com/landcover/> (дата обращения: 23.04.2023).
17. *Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R., Hancher M., Turubanova S.A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S.V., Goetz S.J., Loveland T.R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C.O., Townshend J.R. G.* High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change // *Science*. 2013. V. 342. P. 850–853. <https://doi.org/10.1126/science.1244693>
18. *Karra, A., Kontgis, C.* Global land use/land cover with Sentinel-2 and deep learning // *IGARSS 2021–2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. IEEE, 2021. P. 2291. <https://doi.org/10.1109/IGARSS47720.2021.9553499>.
19. *Kharuk V.I., Ponomarev E.I., Ivanova G.A., Dvinskaya M.L., Coogan Sean C.P., Flannigan M.D.* Wildfires in the Siberian taiga // *Ambio*. 2021 Nov; 50(11):1953–1974. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01490-x>. Epub 2021 Jan 29. PMID: 33512668; PMCID: PMC8497666.
20. *Kuklina V., Sizov O., Rasputina E., Bilichenko I., Krasnoshtanova N., Bogdanov V., Petrov A.* Fires on Ice: Emerging Permafrost Peatlands Fire Regimes in Russia's Subarctic Taiga // *Land*. 2022. V. 11(3). № 322. P. 1–18. <https://doi.org/10.3390/land11030322>
21. *Phiri, D., Siwanda, S.* Sentinel-2 Data for Land Cover/Use Mapping: A Review // *Remote Sensing*. 2020. 12 (14). 2291. <https://doi.org/10.3390/rs12142291>
22. *Potapov P., Hansen M.C., Pickens A., Hernandez-Serna A., Tyukavina A., Turubanova S., Zalles V., Li X., Khan A., Stolle F., Harris N., Song X-P., Baggett A., Kommareddy I., Kommareddy A.* The global 2000–2020 land cover and land use change dataset derived from the Landsat archive: first results // *Frontiers in Remote Sensing*. 2022. V. 3. <https://doi.org/10.3389/frsen.2022.856903>
23. *Tyukavina A., Potapov P., Hansen M.C., Pickens A., Stehman S., Turubanova S., Parker D., Zalles V., Lima A., Kommareddy I., Song X-P., Wang L. and Harris N.* Global trends of forest loss due to fire from 2001–2019 // *Frontiers in Remote Sensing*. 2022. Vol 3. <https://doi.org/10.3389/frsen.2022.825190>

Geoinformation Analysis of the Vegetation Cover of the Northern Regions of the Irkutsk Region and its Changes Under the Impact of Fires

I. N. Bilichenko^{1, *}, E. A. Rasputina^{1, *}

¹*Sochava Institute of Geography SB RAS*

**E-mail: irinabilnik@mail.ru*

***E-mail: elenaistoma@gmail.com*

Abstract – The northern regions of the Irkutsk oblast have been prone to fires in recent decades as a result of oil and gas and infrastructure development, as well as changing climatic conditions. Geoinformation mapping and analysis of the spatial structure of the vegetation cover of two key areas located in the area of the Vershina Khandy village and the village of Tokma for two time slices: 2013–2014 and 2018–2019 (before and after active forest fires, mainly in 2016 and 2017) was carried out. Mapping was done using the Random Forest supervised classification method, Landsat 8 space images. As a result, 10 classes of vegetation cover were identified on the territory. It is shown that in the territories in 2013–2014 coniferous (light coniferous – pine-larch, larch-pine, less often dark coniferous – cedar and spruce) forests prevailed, as well as mixed coniferous-deciduous and deciduous forests and swamps. From 2013 to 2019, more than 20% of Tokma and more than 5% of Khanda key area was covered by fires. Mostly coniferous forests, as well as ernik bogs in the Tokma area were burning.

Keywords: vershina Khandy, Tokma, supervised classification of space images, Landsat 8, vegetation mapping

REFERENCES

1. Alekseeva N.N., Klimanova O.A., Haziyeva E.S. Global'nye bazy dannyh zemel'nogo pokrova i perspektivy ih ispol'zovaniya dlya kartografirovaniya sovremennyh landshaftov // *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Seriya geograficheskaya*. 2017. № 1. P. 110–123. <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2017-1-110-1232>.
2. Atlas Irkutskoj oblasti: ekologicheskie usloviya razvitiya. Moscow – Irkutsk, 2004. 90 p.
3. Bilichenko I.N., Makarov S.A., Opekunova M.YU., Vlasova N.V. Ekologo-geograficheskie issledovaniya na YAraktinskom neftegazokondensatnom mestorozhdenii (irkutskaya oblast') // *Zashchita okruzhayushchej sredy v neftegazovom komplekse*. 2017. № 2. P. 33–37.
4. Kajbicheva E.I., Kajbichev I.A. Indeks chisla lesnyh pozharov v Rossijskoj Federacii za 2006–2010 gg. // *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2013. V. 22. № 5. P. 45–50.
5. Krasnoshtanova N.E. Osobennosti administrativnogo upravleniya v rajonah novogo promyshlennogo osvoeniya Severa: problemy i preimushchestva social'no-ekonomicheskogo razvitiya // *Sever i rynek: formirovanie ekonomicheskogo poryadka*. 2022. № 2(76). P. 82–96. <https://doi.org/10.37614/2220-802X.2.2022.76.007>.
6. Miheev V.S., Ryashin V.A. Landshafty yuga Vostochnoj Sibiri: Karta. M-b 1:1 500 000. M.: GUGK, 1977. 4 l.
7. Ponomarev E.I., Haruk V.I., Yakimov N.D. Rezul'taty i perspektivy sputnikovogo monitoringa prirodnih pozharov Sibiri // *Sibirskij lesnoj zhurnal*. 2017. № 5. P. 25–36.
8. Runova E.M., Dolenko M.A. Lesnye pozhary v Irkutskoj oblasti // *Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye i inzhenernye nauki*. 2006. V. 1. P. 90–92.
9. Ekologicheskie aspekty osvoeniya Kovyktinskogo gazokondensatnogo mestorozhdeniya / pod red. A.D. Abalakov, E.S. Ziganshin, YU.O. Medvedev i dr. Irkutsk: Izd-vo In-ta geografii SO RAN, 2001. 195 p.

10. Ekologicheskoe orientirovannoe planirovanie zemlepol'zovaniya v Bajkal'skom regione. Kovyktinskoe gazokondensatnoe mestorozhdenie / otv. red. E.G. Suvorov, S.A. Makarov. Irkutsk: Izd-vo In-ta geografii SO RAN, 2004. 159 p.
11. Goldammer J.G., Sukhinin A., Csiszar I. Current fire situation in the Russian Federation: Implications for enhancing international and regional cooperation in the UN Framework and the global programs on fire monitoring and assessment // GFMC contribution to the International Workshop "New Approaches to Forest Protection and Fire Management at an Ecosystem Level", Khabarovsk, 2003. P. 1–24.
12. Brown C.F., Brumby S.P., Guzder-Williams B. et al. Dynamic World, Near real-time global 10 m land use land cover mapping // *Sci Data*. 2022. 9. 251 p. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01307-4>
13. Chughtai A.H., Abbasi H., Karas I.R. A review on change detection method and accuracy assessment for land use land cover // *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 2021. P. 13. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100482>
14. COPERNICUS Landcover 100m Proba-V C3 Global. Google Earth Engine. URL: https://developers.google.com/earthengine/datasets/catalog/COPERNICUS_Landcover_100m_Proba-V-C3_Global (accessed April 23, 2023).
15. ESRI Land Cover global. URL: <https://livingatlas.arcgis.com/landcover/> (accessed April 23, 2023).
16. Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R., Hancher M., Turubanova S.A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S.V., Goetz S.J., Loveland T.R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C.O., Townshend J.R. G. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change // *Science*. 2013. V. 342. P. 850–853. <https://doi.org/10.1126/science.1244693>
17. Karra, A., Kontgis, C. Global land use/land cover with Sentinel-2 and deep learning // *IGARSS 2021–2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. IEEE, 2021. P. 2291. <https://doi.org/10.1109/IGARSS47720.2021.9553499>
18. Kharuk V.I., Ponomarev E.I., Ivanova G.A., Dvinskaya M.L., Coogan Sean C.P., Flannigan M.D. Wildfires in the Siberian taiga // *Ambio*. 2021 Nov; 50(11):1953–1974. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01490-x>. Epub 2021 Jan 29. PMID: 33512668; PMCID: PMC8497666.
19. Kuklina V., Sizov O., Rasputina E., Bilichenko I., Krasnoshtanova N., Bogdanov V., Petrov A. Fires on Ice: Emerging Permafrost Peatlands Fire Regimes in Russia's Subarctic Taiga // *Land*. 2022. V. 11(3). № 322. P. 1–18. <https://doi.org/10.3390/land11030322>
20. Phiri, D., Siwanda, S. Sentinel-2 Data for Land Cover/Use Mapping: A Review // *Remote Sensing*. 2020. № 12 (14). P. 2291. <https://doi.org/10.3390/rs12142291>
21. Potapov P., Hansen M.C., Pickens A., Hernandez-Serna A., Tyukavina A., Turubanova S., Zalles V., Li X., Khan A., Stolle F., Harris N., Song X-P, Baggett A., Kommareddy I., Kommareddy A. The global 2000–2020 land cover and land use change dataset derived from the Landsat archive: first results // *Frontiers in Remote Sensing*. 2022. V. 3. <https://doi.org/10.3389/frsen.2022.856903>
22. Tyukavina A., Potapov P., Hansen M.C., Pickens A., Stehman S., Turubanova S., Parker D., Zalles V., Lima A., Kommareddy I., Song X-P., Wang L. and Harris N. Global trends of forest loss due to fire from 2001–2019 // *Frontiers in Remote Sensing*. 2022. V. 3. <https://doi.org/10.3389/frsen.2022.825190>