

Оценка опасности возникновения лесных пожаров с использованием спутниковой информации и ГИС

Г. П. Стручкова¹✉, Т. Г. Крупнова², С. А. Тихонова¹, Т. А. Капитонова¹, О. В. Ракова²

¹Якутский научный центр СО РАН, Институт физико-технических проблем Севера
им. В. П. Ларионова СО РАН, Российская Федерация
(677980, г. Якутск, ул. Октябрьская, 1)

²Южно-Уральский государственный университет, Российская Федерация
(454080, г. Челябинск, проспект им. В.И. Ленина, 76)

Аннотация: Цель – оценка и картирование зон опасности лесных пожаров (ЛП) с использованием комплексного анализа исторических данных по лесным пожарам, географической информации региона, данных космической съемки (ДЗЗ) и ГИС.

Материалы и методы. На основе исторических данных по лесным пожарам на территории Якутии за 2017-2021 годы, космических снимков со спутников Landsat за май, июнь, июль, август 2017-2021 годы, ASTERGDEM 2013 года после выполнения радиометрической и атмосферной коррекции, вычислены значения спектральных индексов и параметров рельефа.

Результаты и обсуждение. В результате анализа исторических данных по лесным пожарам для исследования динамики состояния растительных сообществ были выбраны участки исследования.

Выполнена обработка и анализ наборов геопространственных данных; созданы карты потенциальной пожароопасности для конкретного участка; построены, используя алгебру карт, тематические изображения вегетационных индексов (NDVI, NDWI и PSRI), высот, уклонов и инсоляции с использованием программного комплекса ArcGIS.

Заключение. Своевременная, адекватная оценка опасности лесного пожара и картирование зон потенциальной пожароопасности важны и необходимы для определения объема превентивных противопожарных мероприятий и эффективных действий по тушению пожаров.

Ключевые слова: космическая съемка, лесные пожары, Landsat, ASTERGDEM, расчетные спектральные индексы, уклоны, высоты, инсоляция, картирование.

Для цитирования: Стручкова Г. П., Крупнова Т. Г., Тихонова С. А., Капитонова Т. А., Ракова О. В. Оценка опасности возникновения лесных пожаров с использованием спутниковой информации и ГИС // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2023, № 4, с. 34-44. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/4/34-44>

ВВЕДЕНИЕ

Лесные пожары (ЛП) являются сложными многофакторными процессами, опасность которых заключается в стремительном и плохо предсказуемом поведении, а последствия – в огромном экологическом, экономическом и материальном ущербе и длительном восстановлении лесной флоры и фауны. В настоящее время возможность прогнозирования природных пожаров и их последствий активно исследуются как российскими учеными [1-11], так и во всем мире [12-20]. Природные пожары приводят не только к уничтожению растительного покрова, в

атмосферу выбрасывается большое количество продуктов горения, что приводит к загрязнению воздушной среды и оказывает влияние на климат, приводит к возрастанию интенсивности лесных пожаров, и, как следствие, усилению негативного воздействия на здоровье человека, деградацию мерзлоты.

В настоящее время наиболее эффективным и удобным инструментом выбора, анализа и визуализации значимых факторов, влияющих на лесные пожары, являются геоинформационные системы и мультиспектральные спутниковые снимки. В данной работе мы попытались определить методику

© Стручкова Г. П., Крупнова Т. Г., Тихонова С. А., Капитонова Т. А., Ракова О. В., 2023

✉ Стручкова Галина Прокопьевна, e-mail: pandoramy8@list.ru



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

создания карт пожарной опасности, учитывающую интегрированную информацию, определяемую историческими данными о пожарах, географическими факторами, временными тенденциями изменения состояния растительности, влажности поверхности, старения и отмирания растительности, определяемыми значениями индексов NDVI, NDWI и PSRI соответственно, для выявления критических областей, требующих превентивных мер. То есть, сначала были сформированы карты прогнозирования опасности возникновения лесных пожаров, используя комплексную информацию, основанную на дистанционном зондировании территории до возникновения пожара, а затем, с целью проверки, карты были сопоставлены с фактическими случаями пожара.

Особенность климата и природные условия Якутии определяют чрезвычайно высокую горимость лесов, которая почти в 2 раза выше средней горимости лесного фонда России. По данным Департамента лесного хозяйства Республики Саха (Якутия) площадь невосстановившихся после пожаров гарей составляет 15 млн. га при площади лесной растительности около 131 млн. га [8]. В регионах распространения многолетнемерзлых грунтов, в условиях слабого разложения растительного опада накопление горючего материала происходит в размерах, достаточных для возникновения лесных пожаров в засушливые периоды года. В условиях Якутии, особенно в малонаселенных и труднодоступных районах предотвратить возникновение и распространение лесных пожаров на значительные площади практически невозможно. На восстановление растительного покрова после пожара необходимо 50 лет, а уровень многолетней мерзлоты стабилизируется еще медленнее [8].

Из анализа исторических данных за более чем полувековой период следует, что наиболее распространенные причины возникновения пожаров являются «сухие грозы» в июле-августе (более 60%), и антропогенный фактор (около 40%) в основном от сельскохозяйственных палов.

Исследователями разных стран разработаны различные методы, формулы и показатели, в которых пожарная опасность оценивается, используя метеорологические данные, определяющие готовность к пожару лесных горючих материалов через потерю влажности. В России широко используется комплексный показатель пожарной опасности В.Г. Нестерова, предложенный в 1940-е годы [7]

и его модификации, учитывающие параметры атмосферы, объем выпавших осадков и скорость ветра. В зарубежных странах используется модифицированный показатель В.Г. Нестерова с учетом суточных поправок на осадки и скорость ветра – индекс PORT, а также такие индексы пожарной опасности, как FFDM в Австралии, ICONA в Испании, IMPI в Италии, полученные по модели Мак Артура и учитывающие температуру, влажность воздуха, скорость ветра и уклон местности [12], индексы, которые отражают ежедневное изменение влагосодержания почв и лесного материала – канадский FWI [19], финский FMI [14].

Тенденция потепления климата может повысить угрозу засух и разрушительных природных пожаров в Сибири [2]. Согласно статистическим данным Федеральной службы государственной статистики субъектов Дальневосточного федерального округа, крупные лесные массивы Республики Саха (Якутия) составляют 2,5% мировых и около 11% запасов лесных ресурсов России. Общая территория, занятая лесом в Якутии, равна 51%, при этом хвойные леса занимают 84,4% [4].

Область исследования

В работе были использованы данные метеорологических спутников NOAA (США), полученные на приемной станции СКАНОР в Институте космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН¹.

Произведена обработка и систематизация данных мониторинга, разработка и заполнение базы данных лесных пожаров на территории Республики Саха Якутия за 2017-2021 годы, выполнен анализ исторических данных по пожарам за указанный период и выбор районов исследования (рис. 1).

На основании анализа распределения очагов природных пожаров для более детального исследования были выбраны два улуса – Верхоянский, с максимальным количеством пожаров и Чурапчинский – один из благополучных в пожарном отношении улус.

Верхоянский район расположен на севере Якутии, относится к Яно-Колымской лесопожарной области, Верхоянско-Черскому северотаежному округу, с резко континентальным климатом, горным рельефом, с низкой плотностью населения 0,1 человек/км². Средние зимние температура -38 °С...-48 °С, летние +15 °С...+17 °С. Количество осадков в год составляет от 150 мм до 300 мм. Леса составляют 25%, заболоченность – 40% [8].

¹URL: https://ikfia.ysn.ru/new/phoroom/files/lgi/files/hotspots_overview_map.html

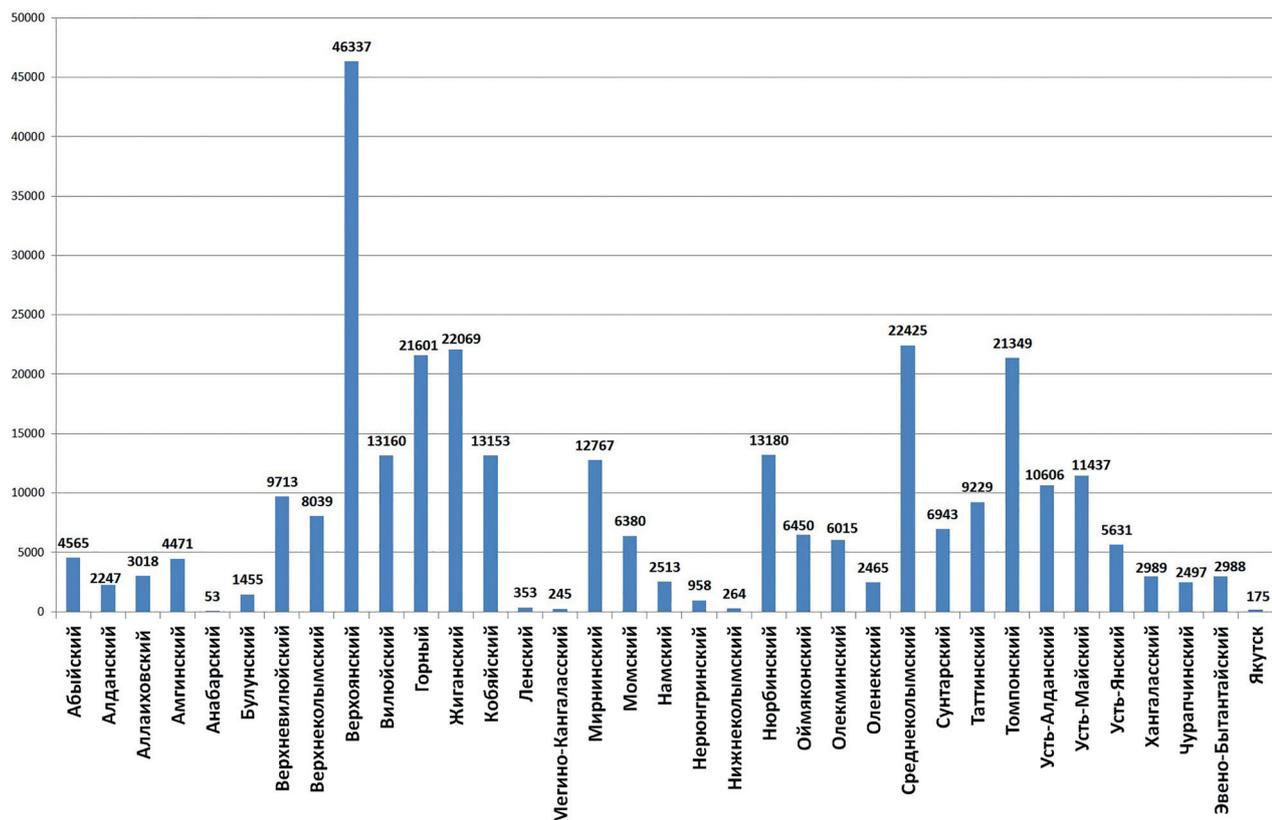


Рис. 1. Результаты космического мониторинга количества природных пожаров на территории Якутии за период 2017-2021 годов с разделением по улусам

[Fig. 1. Results of space monitoring of the number of wildfires on the territory of Yakutia for the period 2017-2021, divided by uluses]

Чурапчинский район по климатическим условиям также относится к резко-континентальным, что характеризуется большими годовыми колебаниями температуры (перепад температур около 100°C) и малым количеством осадков 250...300 мм/год. Леса представляют собой светлохвойную лиственничную тайгу аласового типа [10].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исходными материалами для обнаружения лесных пожаров и оценки пожароопасной ситуации послужили данные дистанционного зондирования, полученные из следующих открытых источников: Landsat8-OLI с сайта «earthexplorer.usgs.gov», снимки ASTERGDEM².

На основании данных космического мониторинга исследованы особенности крупных природных пожаров, произошедших на территории Якутии в период с 2017 по 2021 годы. Использовались спутниковые изображения Landsat8-OLI за летние месяцы июнь, июль, август 2017-2021 годы, снимки ASTERGDEM 2013 года для создания рельефа.

Последующая обработка данных в ГИС позволяет провести пространственный анализ обнаруженных пожаров и создать базу данных лесных пожаров, произошедших на территории Якутии. Лесные пожары в основном происходили в мае, июне, июле, августе, сентябре. Предварительная обработка данных была выполнена вручную для исключения аномальных точек и индексации точек возникновения пожаров. Для этого по архивным метеоданным определялись направление и сила ветра в районе на дату пожара. Новая точка пожара отделялась от уже продолжающихся, учитывая влияние ветра, предполагая, что каждый ЛП со времени последнего наблюдения может переместиться не далее заданной дистанции (2км) от последнего наблюдения.

Дешифрирование космоснимков - это процесс распознавания и изучения поверхности Земли, объектов и процессов на ней, основанный измерении и анализе зависимостей энергетических и поляризационных свойств дешифрируемых объектов в различных диапазонах электромагнитного спектра. Методы дешифрирования космоснимков

² URL: https://gdemdl.aster.jspacesystems.or.jp/index_en.html

основываются на измерении отраженного или собственного электромагнитного излучения поверхности Земли с помощью различных датчиков и съемочных систем. Изображение формируется благодаря различной яркости элементов исследуемых объектов, вследствие чего между ними проявляются яркостные контрасты. Различия в спектральных характеристиках объектов является основой применения многозональной съемки для распознавания различных объектов.

Мониторинг пожарной опасности на основе дистанционного зондирования – это определение возникновения условий опасности лесного пожара. Для этого выполняются следующие этапы: поиск данных ДЗЗ на требуемую дату и территорию исследования; предварительная обработка данных ДЗЗ; анализ архивных данных лесных пожаров; дешифрирование и классификация данных ДЗЗ; расчет спектральных индексов по снимкам и создание тематических изображений; создание карты зон опасности; анализ и проверка точности картирования зон опасности, используя фактические точки пожаров.

Топография играет важную роль, поскольку она может контролировать распределение растительности и скорость ветра, а также играет важную роль в скорости выпадения осадков и влажности почвы. Интерполируя карту кривых уровня, мы получили карту высот. С помощью специальных модулей ArcGIS 10.4, определены карты уклона и инсоляции. Районы с высоким уклоном не имеют более высокого риска возникновения пожара, но в случае возгорания пламя может быстро распространиться, что является дополнительным фактором риска.

Информация о растительном покрове широко признана в качестве показателя топлива, в данном случае речь идет о том, что спектральные индексы, характеризующие состояние зеленой биомассы и наличие отмершей древесины и не покрытой лесом площади, можно использовать для оценки потенциальной опасности возникновения лесного пожара. В этом исследовании спутниковые изображения Landsat8-OLI (Operational Land Imager), охватывающие исследуемый район, были получены с сайта «earthexplorer.usgs.gov», используемого для извлечения информации о растительном покрове. Расчёты производились на программном комплексе ArcMap 10.6.1.

Сначала мы применили радиометрические и атмосферные поправки для обоих изображений с использованием программного обеспечения ArcGIS 10.4. Выполнен расчет спектральных индексов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что основными факторами, влияющими на пожароопасность леса, являются количество и влажность накопленного лесного топлива. Для исследования динамики состояния растительных сообществ за 2017-2021 годы были выбраны 7 участков в Верхоянском улусе и 5 участков в Чурапчинском, которые в разные периоды 2017 и 2021 годов пострадали от пожаров. В Верхоянском улусе наибольшее количество пожаров за все года, а Чурапчинский один из благополучных в пожарном отношении улусов с небольшим количеством ЛП. В качестве контроля для сравнения состояния растительности были подобраны точки на не горевших за период 2017-2021 годов участках.

В Верхоянском улусе 2 участка нетронутые огнем (5 и 6 участки), 5 участков, где происходили пожары (1, 2, 3, 4 и 7 участки). Для них были рассчитаны три индекса: NDVI, NDWI и PSRI. В Чурапчинском улусе 2 участка нетронутые огнем (1 и 2 участки) и 3 участка, где происходили пожары (3, 4 и 5 участки). На рис. 6, 7 и 8 представлены динамика изменения индексов NDVI, NDWI, PSRI (среднего за май, июнь, июль) по годам.

NDVI (Нормализованный разностный вегетационный индекс)

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\rho_{NIR} + \rho_{red}} \quad (1),$$

где ρ_{NIR} , ρ_{red} – коэффициенты отражения в ближнем инфракрасном и красном областях спектра.

Универсальный индикатор состояния растительности. Индекс может принимать значения от –1 до 1. Характерны значения индекса для растительности обычно от 0,2 до 0,8. NDVI меняется в интервале (от 0,17 до 0,32 для А) и (от 0,25 до 0,33 для В). Точки на графиках показывают год пожара. Все линии с точками пожаров имеют понижение значения NDVI до точки пожара. То есть за несколько лет до пожара состояние растительности на этих участках уже претерпевает ухудшение, возможно, это поражение какими-то болезнями, паразитами или насекомыми, то есть уже образуется запас топлива. Кривые NDVI не горевших участков выше, состояние растительности здоровое, она быстрее растет и более устойчива к пожарам. В целом значения NDVI для более благополучного в пожарном отношении улуса – Чурапчинского – немного выше, чем NDVI Верхоянского улуса (рис. 2).

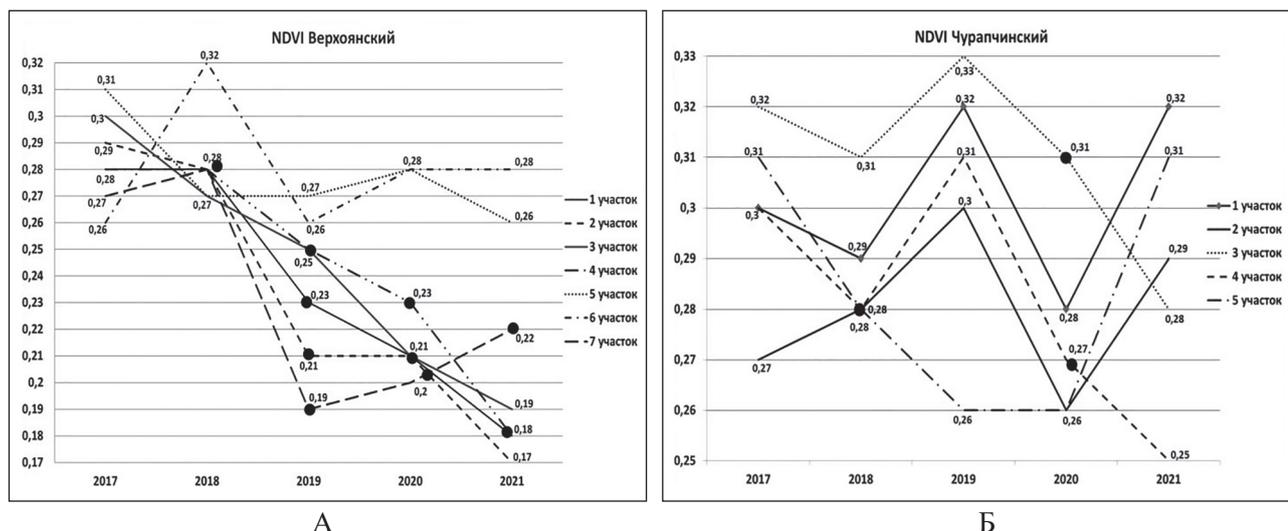


Рис.2. Сравнение динамики изменения кривых NDVI горевших и негоревших участков
 А) Верхоянского и Б) Чурапчинского улусов
 [Fig. 2. Comparison of dynamics of changes in NDVI curves of burned and not burned sections
 of A) Verkhoyansky and B) Churapchinsky uluses]

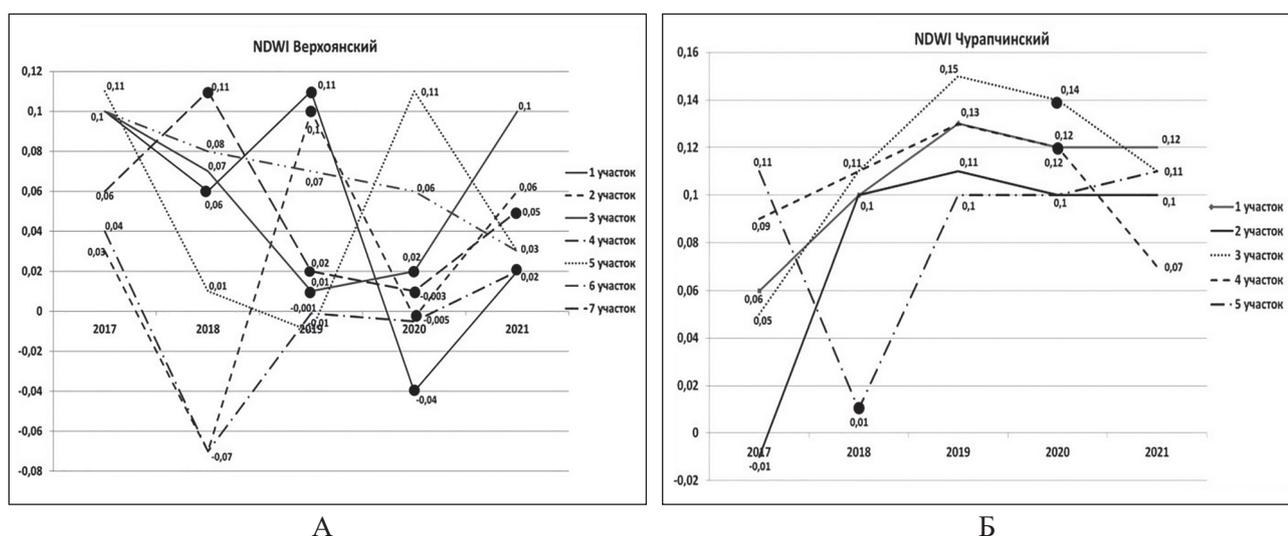


Рис. 3. Сравнение динамики изменения кривых NDWI горевших и не горевших участков
 А) Верхоянского и Б) Чурапчинского улусов
 [Fig. 3. Comparison of dynamics of changes in NDWI curves of burned and not burned sections
 of A) Verkhoyansk and B) Churapchinsky uluses]

**Нормализованный
 разностный водный индекс NDWI**

$$NDWI = \frac{\rho_{0,867} - \rho_{1,241}}{\rho_{0,867} + \rho_{1,241}} \quad (2),$$

где $\rho_{0,867}, \rho_{1,241}$ – коэффициенты отражения в используемой области спектра.

Данный индекс может использоваться для оценки увлажненности растительного покрова. Значения этого индекса изменяются в интервале от -1 до 1 , при этом диапазон для зеленой растительности составляет от $-0,1$ до $0,4$. Водные объекты определяются значениями от $0,2$ до 1 ; отри-

цательные значения соответствуют объектам, не содержащим влагу. В данной работе индекс использовался для оценки увлажненности лесных горючих материалов (рис. 3).

PSRI индекс содержания углерода в виде лигнина и целлюлозы используется для оценки общего количества «сухого» углерода в виде лигнина и целлюлозы.

$$PSRI = \frac{\rho_{0,680} - \rho_{0,500}}{\rho_{0,750}} \quad (3),$$

где $\rho_{0,680}, \rho_{0,500}, \rho_{0,750}$ – коэффициенты отражения в используемой области спектра.

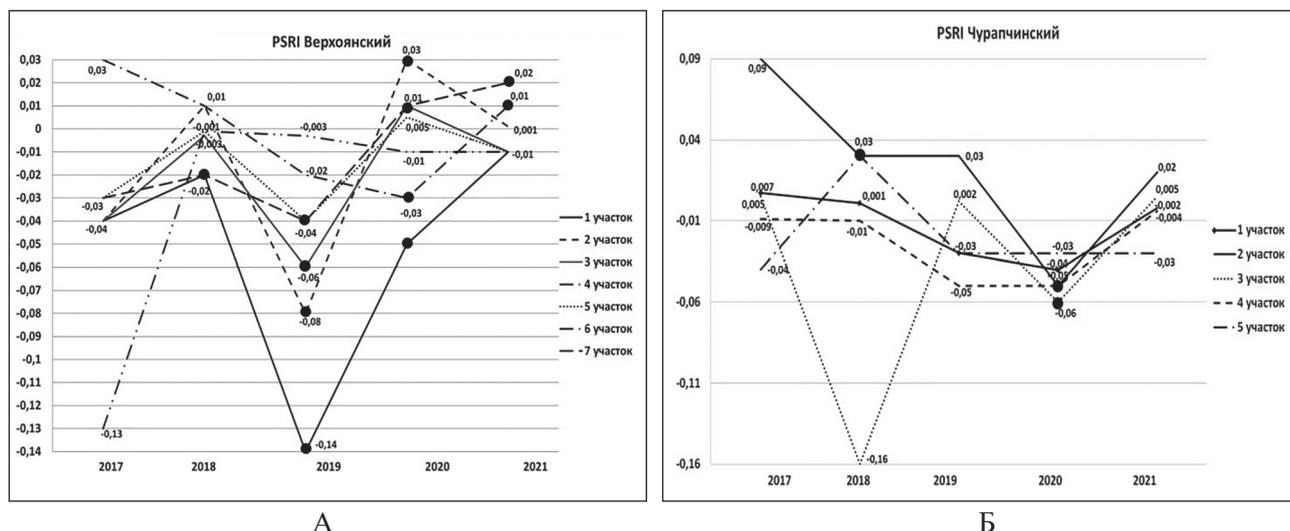


Рис. 4. Сравнение динамики изменения кривых PSRI горевших и не горевших участков
 А) Верхоянского улуса и Б) Чурапчинского улуса
 [Fig. 4. Comparison of dynamics of changes in PSRI curves of burned and not burned sections
 of A) Verkhoyansk and B) Churapchinsky uluses]

Количества «сухого» углерода отражает опосредовано «старение» и отмирание растений, поскольку его содержания в мертвых или сухих растительных тканях больше, чем в здоровых. Значения индекса меняются в интервале от -1 до 1 , при этом для зеленой растительности значения изменяются от $-0,1$ до $0,2$ (рис. 4).

Репрезентативные данные за 2017-2021 годы с интервалом значений от $-0,13$ до $0,03$ говорят о

наличии достаточного объема накопленного топлива и значительном возрасте основного лесного массива на территории.

Карта значений NDVI показала участки со слабой и большой растительностью, NDWI с временными тенденциями водного стресса растительности значением кривых PSRI позволила определить зоны старения и отмирания растительности. Потенциальное применение подхода

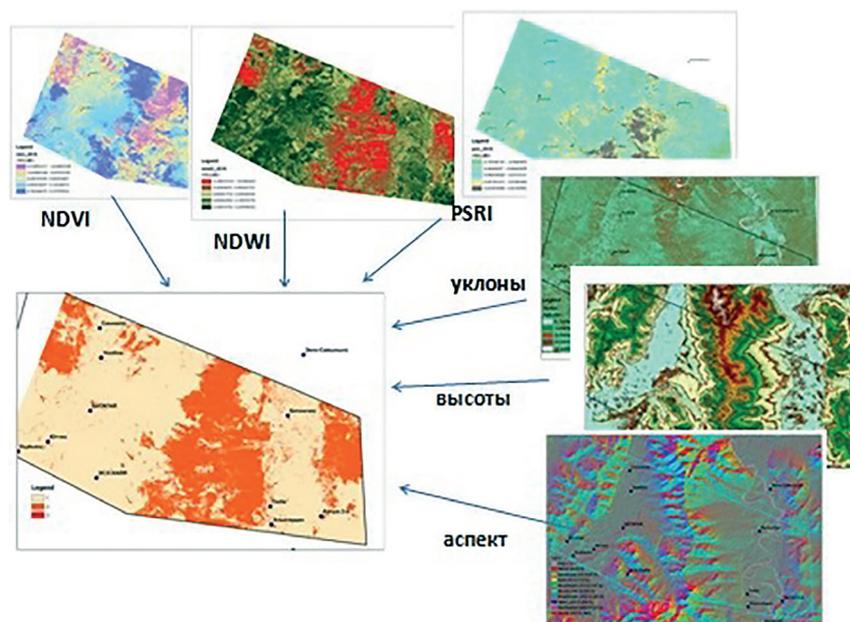
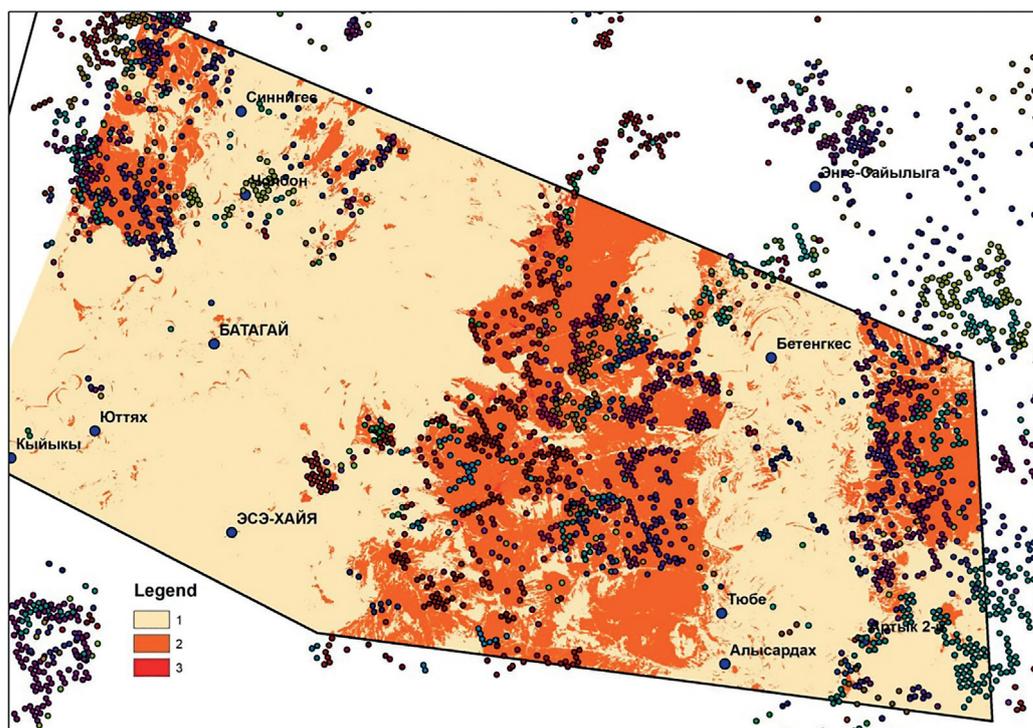
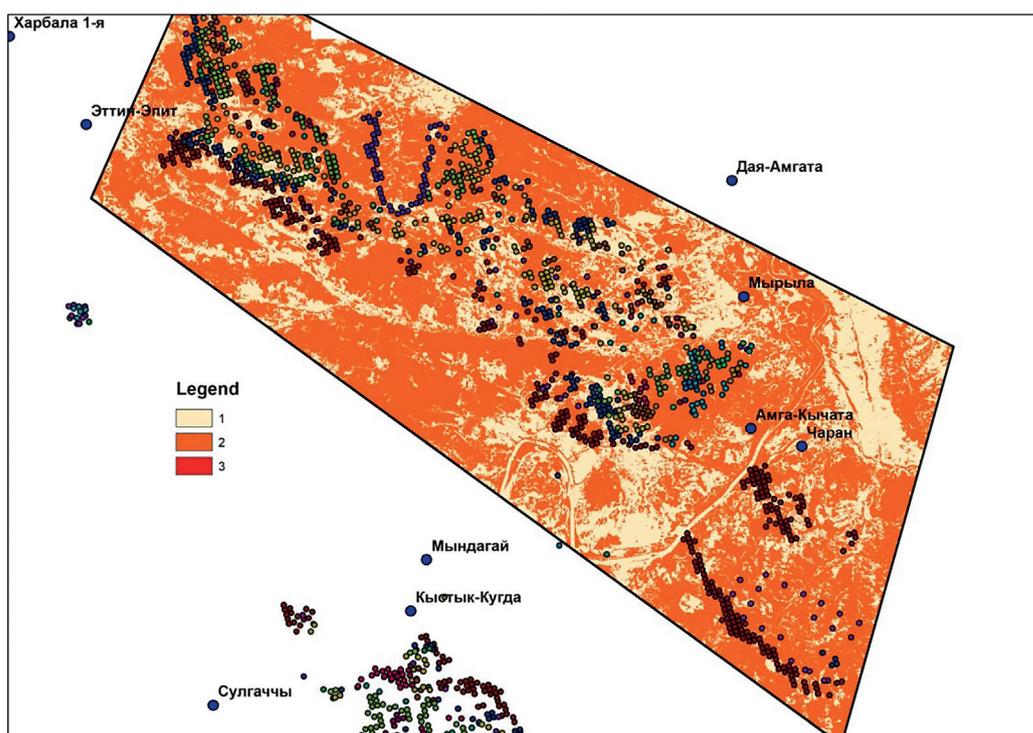


Рис. 5. Определение классов лесной пожарной опасности, выполненное на основе полученных тематических изображений значений спектральных вегетационных индексов, высот и уклонов.

Карты опасности лесных пожаров на участках Верхоянского улуса за 2019 год
 [Fig. 5. Determination of forest fire hazard classes based on the obtained thematic images
 of the values of spectral vegetation indices, heights and slopes.
 Maps of the forest fire hazard in the areas the Verkhoyansk ulus for 2019]



А) Верхоянский улус



Б) Чурапчинский улус

Рис. 6. Тематическое растровое изображение – карты опасности лесных пожаров на участках А) Верхоянского улуса за 2019 год и Б) Чурапчинского улуса за 2020 год, сопоставленные с точками фактических пожаров, 3 класс – «очень высокий уровень опасности ЛП»; 2 класс – «опасный уровень» и 1 класс – «низкий уровень опасности»
[Fig. 6. Thematic raster image – maps of the forest fires hazard in the areas of А) Verkhoyansky ulus for 2019 and В) Churapchinsky ulus for 2020, compared with the points of actual fires, Class 3 – "very high level of LP danger"; Class 2 – "dangerous level" and 1 class – "low level of danger"]

было проанализировано и протестировано в районах, с наложением точек пожаров [15]. Для классификации созданных растровых изображений спектральных индексов на 5 классов с использованием ГИС-технологий был использован инструмент кластерного анализа Isocluster [11].

На опасность возникновения лесных пожаров, кроме климатических и погодных условий, влияет интенсивность поступающей солнечной радиации. Восточные, южные и западные склоны получают больше солнечного света и тепла, чем северные, и пожароопасные условия образуются на этих участках быстрее, кроме того, также может быть выше скорость распространения пожара [4].

При формировании карты учитывались следующие переменные: состояния растительного покрова, увлажненность и наличие старой отмирающей растительности, влияние рельефа через тематические слои высот, уклонов и инсоляции. Определение классов лесной пожарной опасности выполняется на основе комбинации полученных значений спектральных вегетационных индексов, используя инструменты SpatialAnalyst, алгебру карт (рис. 5). Аналогично была построена карта для Чурапчинского улуса.

На картах пожарной опасности за период май-август 2019 года для участка Верхоянского улуса за май-август 2020 года для участка Чурапчинского улуса, сформированных путем объединения NDVI, NDWI и PSRI выделены три класса пожарной опасности: 3 класс – «очень высокий уровень опасности» ЛП; 2 класс – «опасный уровень» и 1 класс – «низкий уровень опасности» ЛП.

Сравнение полученных в результате расчета категорий пожарной опасности территорий с реальными данными о лесных пожарах показало, что в Верхоянском улусе 61 % фактических случаев ЛП произошли на территориях, отнесенных к категории «высокой и очень высокой опасности» и 40 % из фактических точек на территориях, отнесенных к категории «очень высокой опасности», а в Чурапчинском улусе эти соотношения представляют собой 73 % и 0 % соответственно (рис. 6).

ВЫВОДЫ

Анализ изменения индекса NDVI показал, что за несколько лет до пожара состояние растительности на этих участках уже претерпевает ухудшение, возможно, это поражение болезнями, паразитами или насекомыми, то есть уже образуется запас топлива.

Сравнение, полученных в результате ГИС анализа, категорий пожарной опасности территорий, с реальными данными о лесных пожарах показало приемлемую точность. В Верхоянском улусе 61 % фактических случаев ЛП произошли на территориях, отнесенных к категории «высокой и очень высокой опасности» и 40 % из фактических точек на территориях, отнесенных к категории «очень высокой опасности», а в Чурапчинском улусе эти соотношения представляют собой 73 % и 0 % соответственно. Своевременная, адекватная оценка опасности лесного пожара и картирование зон потенциальной пожароопасности важны и необходимы для определения объема превентивных противопожарных мероприятий и эффективных действий по тушению пожаров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Природные факторы возникновения лесных пожаров на территории Иркутской области / Е. П. Белоусова, И. В. Латышева, С. В. Латышев и др. // *Биосфера*, 2016, № 4-8, с. 390-400.
2. Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. *Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий*. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2009. 301 с.
3. Курганович К. А., Макаров В. П. Использование вегетационных индексов NDVI для оценки влияния пожаров на динамику растительности Цасучейского бора // *Вестник ЗабГУ*, 2015, № 2-117, с. 27-36.
4. Латышева И. В., Вологжина С. Ж., Лощенко К. А. Циркуляционные факторы возникновения лесных пожаров на территории Сибири и Дальнего Востока летом 2019 и 2021 гг. // *Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле»*, 2021, т. 38, с. 54-70.
5. Информационная система территориального управления рисками развития и безопасностью / В. В. Москвичёв, И. В. Бычков, В. П. Потапов и др. // *Вестник РАН*, 2017, № 8-87, с. 696-705.
6. Москвичёв В. В., Шокин Ю. И. Антропогенные и природные риски на территории Сибири // *Вестник Российской Академии наук*, 2012, № 2, т. 82, с. 131-140.
7. Нестеров В. Г., Грищенко М. В., Шабунина Т. А. Использование температуры точки росы при расчете показателя горимости леса // *Метеорология и гидрология*, 1968, № 9, с. 102-104.
8. Протопопова В. В., Габышева Л. П. Горимость лесов Верхоянского района (Северо-Восточная Якутия) // *Успехи современного естествознания*, 2017, № 5, с. 66-71.
9. Пушкин А. А., Сидельник Н. Я., Ковалевский С. В. Использование материалов космической съемки для оценки пожарной опасности в лесах // *Труды БГТУ*, 2015, № 1, с. 36-40.
10. Сальва А. М., Матвеева И. П. Природные и мерзлотные условия чурапчинского улуса Республики Саха (Якутия) // *ВекторГеоНаук/VectorofGeosciences*, 2019, № 2-4, с. 70-75.

11. Сидельник Н.Я., Пушкин А.А., Ковалевский С.В. Картирование поврежденных лесных насаждений и объектов лесохозяйственных мероприятий с использованием материалов космической съемки и ГИС-технологий // *Труды БГТУ*, 2018, № 1-1, с. 5-12.
12. Bovio G., Quaglino A., Nosenzo A. Individuazione di unindice di previsione per il pericolo // *Monti e Boschi*, 1984, no. 4, vol. 35, pp. 39-44.
13. David Peterson, Edward Hyer, Jun Wang. A short-term predictor of satellite-observed fire activity in the North American boreal forest: Toward improving the prediction of smoke emissions // *Atmospheric Environment*, 2013, no. 6. vol. 71, pp. 304-310.
14. Ehsan H. Chowdhury, Quazi K. Hassan. Operational perspective of remote sensing-based forest fire danger forecasting systems // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2015, no. 6, vol. 104, pp. 224-236.
15. Heikinheimo M. Renewing the system for forest fire risk assessment at the Finnish Meteorological Institute // *Internet Forest Fire News*, 1998, no. 18, pp. 65-67.
16. Application of remote sensing and machine learning algorithms for forest fire mapping in a Mediterranean area / Meriame Mohajane, Romulus Costache, Firoozeh Karimi, O. Phametal. // *Ecological Indicators*, 2021, no. 10, vol. 129, pp. 107869.
17. Peter Peinl. A retrospective on ASPires – An advanced system for the prevention and early detection of forest fires // *Internet of Things*, 28 August 2021, 100456.
18. Stocks B.J., Simard A.J. Forest fire management in Canada // *Joubal Disaster Management*, 1993, no. 5, vol. 1, pp. 21-27.
19. Forecasting fire risk with machine learning and dynamic information derived from satellite vegetation index time-series / Yaron Michael, David Helman, Oren Glickman, David Gabayetal // *Science of The Total Environment*, 2021, no.10, vol. 764, 142844.
20. Simulation of forest fire spread based on artificial intelligence / Zechuan Wu, Bin Wang, Mingze Li, Yuping Tian // *Ecological Indicators*, 2022, no. 3, vol. 136, 108653.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 11.03.2023

Принята к публикации 28.11.2023

UDC 630.43; 004.4+528.8

ISSN 1609-0683

DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/4/34-44>

Forest Fire Risk Assessment Using Satellite Information and GIS

G. P. Struchkova¹✉, T. G. Krupnova², S. A. Tikhonova¹, T. A. Kapitonova¹, O. V. Rakova²

¹*Yakutsk Scientific Center SB RAS, V.P. Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North SB RAS, Russian Federation (1, Oktyabrskaya Str., Yakutsk, 677980)*

²*South-Ural State University, Russian Federation (76, V.I. Lenin Ave., Chelyabinsk, 454080)*

Annotation: The purpose is to assess and map forest fire hazard zones using a comprehensive analysis of historical forest fire data, geographical information of the region, satellite imagery data and GIS.

Materials and methods. Based on historical data on forest fires in Yakutia for 2017-2021, satellite images from Landsat satellites for May, June, July, August 2017-2021, ASTER GDEM 2013, after performing radiometric and atmospheric correction, the values of spectral indices and terrain parameters were calculated.

Results and discussions. As a result of the analysis of historical data on forest fires, research sites were selected to study the dynamics of the state of plant communities. Geospatial data sets were processed and analyzed; the maps of potential fire hazard for a specific site were created; thematic images of vegetation indices (NDVI, NDWI and PSRI), heights, slopes and insolation using ArcGIS software package were constructed using map algebra.

Conclusion. Timely, adequate assessment of the danger of forest fire and mapping of areas of potential fire hazard are important and necessary to determine the scope of preventive fire-fighting measures and effective actions to extinguish fires.



Key words: satellite imagery, forest fires, Landsat, ASTERGDEM, calculated spectral indices, slopes, heights, insolation, mapping.

For citation: Struchkova G.P., Krupnova T.G., Tikhonova S.A., Kapitonova T.A., Rakova O.V. Forest Fire Risk Assessment Using Satellite Information and GIS. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*, 2023, no. 4, pp. 34-44. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/4/34-44>

REFERENCES

1. *Prirodnyye factory vozniknoveniya lesnykh pozharov na territorii Irkutskoy oblasti* [Natural factors for the occurrence of forest fires on the territory of the Irkutsk region] / Ye.P. Belousova, I.V. Latysheva, S.V. Latyshev, K.A. Loshchenko i dr. *Biosfera*, 2016, no. 4-8, pp. 390-400. (In Russ.)
2. Kuznetsov G.V., Baranovskiy N.V. *Prognoz vozniknoveniya lesnykh pozharov i ikh ekologicheskikh posledstviy* [Forecast of forest fires and their environmental consequences]. Novosibirsk: Izdatel'stvo SO RAN, 2009. 301 p. (In Russ.)
3. Kurganovich K.A., Makarov V.P. *Ispol'zovaniye vegetatsionnykh indeksov NDVI dlya otsenki vliyaniya pozharov na dinamiku rastitel'nosti Tsasucheynskogo bora* [The use of NDVI vegetation indices to assess the impact of fires on the dynamics of the vegetation of the Tsasuchey pine forest]. *Vestnik ZabGU*, 2015, no. 2-117, pp. 27-36. (In Russ.)
4. Latysheva I.V., Vologzhina S.Zh., Loshchenko K.A. *Tsirkulyatsionnyye factory vozniknoveniya lesnykh pozharov na territorii Sibiri i Dal'nego Vostoka letom 2019 i 2021 gg.* [Circulation factors of forest fires in Siberia and the Far East in the summer of 2019 and 2021]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Nauki o Zemle»*, 2021, vol. 38, pp. 54-70. (In Russ.)
5. *Informatsionnaya sistema territorial'nogo upravleniya riskami razvitiya i bezopasnost'yu* [Information system of territorial management of development risks and security] / V.V. Moskvichov, I.V. Bychkov, V.P. Potapovidr. *Vestnik RAN*, 2017, no. 87, pp. 696-705. (In Russ.)
6. Moskvichov V.V., Shokin Yu.I. *Antropogennyye i prirodnyye riski na territorii Sibiri* [Anthropogenic and natural risks in Siberia]. *Vestnik Rossiyskoy Akademii nauk*, 2012, vol. 82, no. 2, pp.131-140. (In Russ.)
7. Nesterov V.G., Gritsenko M.V., Shabunina T.A. *Ispol'zovaniye temperatury tochki rosy pri raschete pokazatelya gorimosti lesa* [The use of dew point temperature in the calculation of the forest fire index]. *Meteorologiya i gidrologiya*, 1968, no. 9, pp. 102-104. (In Russ.)
8. Protopopova V.V., Gabysheva L.P. *Gorimost' lesov Verkhoyanskogo rayona (Severo-Vostochnaya Yakutiya)* [Burning forests of the Verkhoyansk region (North-Eastern Yakutia)]. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya*, 2017, no. 5, pp. 66-71. (In Russ.)
9. Pushkin A.A., Sidel'nik N.Ya., Kovalevskiy S.V. *Ispol'zovaniye materialov kosmicheskoy s"yemki dlya otsenki pozharной opasnosti v lesakh* [The use of space imagery materials for assessing fire danger in forests]. *Trudy BGTU*, 2015, no. 1, pp. 36-40. (In Russ.)
10. Sal'va M., Matveyeva I.P. *Prirodnyye i merzlotnyye usloviya churapchinskogo ulusa Respubliki Sakha (Yakutii)* [Natural and permafrost conditions of the Churapchaulus of the Republic of Sakha (Yakutia)]. *VektorGeoNauk/Vector of Geosciences*, 2019, no. 2-4, pp. 70-75. (In Russ.)
11. Sidel'nik N.Ya., Pushkin A.A., Kovalevskiy S.V. *Kartirovaniye povrezhdennykh lesnykh nasazhdeniy ob"yektov lesokhozyaystvennykh meropriyatiy s ispol'zovaniyem materialov kosmicheskoy s"yemkii GIS-tekhnologiy* [Mapping of damaged forest plantations and objects of forestry activities using satellite imagery and GIS technologies]. *Trudy BGTU*, 2018, no. 1-1, pp. 5-12. (In Russ.)
12. Bovio G., Quaglino A., Nosenzo A. *Individuazione di unindice di previsione per ilpericolo*. Monti e Boschi, 1984, no. 4, vol. 35, pp. 39-44.
13. David Peterson, Edward Hyer, Jun Wang. A short-term predictor of satellite-observed fire activity in the North American boreal forest: Toward improving the prediction of smoke emissions. *Atmospheric Environment*, 2013, no. 6, vol. 71, pp. 304-310.
14. Ehsan H. Chowdhury, Quazi K. Hassan. Operational perspective of remote sensing-based forest fire danger forecasting systems. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2015, no. 6, vol. 104, pp. 224-236.
15. Heikinheimo M. Renewing the system for forest fire risk assessment at the Finnish Meteorological Institute. *Internet Forest Fire News*, 1998, no. 18, pp. 65-67.
16. Application of remote sensing and machine learning algorithms for forest fire mapping in a Mediterranean area / Meriam Mohajane, Romulus Costache, Firoozeh Karimi et al. *Ecological Indicators*, 2021, no. 10, vol. 129, 107869.
17. Peter Peinl. A retrospective on ASPires – An advanced system for the prevention and early detection of forest fires. *Internet of Things*, 28 August 2021, 100456.
18. Stocks B.J., Simard A.J. Forest fire management in Canada. *Joubal Disaster Management*, 1993, no. 5, vol. 1, pp. 21-27.
19. Forecasting fire risk with machine learning and dynamic information derived from satellite vegetation index time-series / Yaron Michael, David Helman, Oren Glickman, David Gabay et al. *Science of The Total Environment*, 2021, no. 10, vol. 764, 142844.
20. Simulation of forest fire spread based on artificial intelligence / Zechuan Wu, Bin Wang, Mingze Li, Yuping Tian. *Ecological Indicators*, 2022, no. 3, vol. 136, 108653.

Conflict of interests: The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 11.03.2023

Accepted: 28.11.2023

Стручкова Галина Прокопьевна

кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Института физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, Якутск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-5161-979X, e-mail: pandoramy8@list.ru

Крупнова Татьяна Георгиевна

кандидат химических наук, доцент кафедры экологии и химической технологии, Южно-Уральского государственного университета, Челябинск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-0862-710X, e-mail: krupnovatg@susu.ru.

Тихонова Сардана Алексеевна

ведущий инженер Института физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, Якутск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-8513-032X, e-mail: sardankobeleva@gmail.com

Капитонова Тамара Афанасьевна

кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, Якутск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-8513-032X, e-mail: kapitonova@iptpn.ysn.ru

Ракова Ольга Викторовна

кандидат химических наук, доцент кафедры экологии и химической технологии Южно-Уральского государственного университета, Челябинск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-5788-5933, e-mail: rakovaov@susu.ru

Galina P. Struchkova

Cand. Sci. (Technical), Leading researcher of the Larionov Institute of the Physical-Technical Problems of the North, SB RAS, Yakutsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-5161-979X, e-mail: pandoramy8@list.ru

Tatyana G. Krupnova

Cand. Sci. (Chemical), Associate Professor of the Department of Ecology and Chemical technology of the South-Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-0862-710X, e-mail: krupnovatg@susu.ru

Sardana A. Tikhonova

Leading engineer of the Larionov Institute of the Physical-Technical Problems of the North, SB RAS, 1, Oktyabrskaya, Yakutsk, 677980, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-8513-032X, e-mail: sardankobeleva@gmail.com

Tamara A. Kapitonova

Cand. Sci. (Phys. and Math.), Leading researcher of the Larionov Institute of the Physical-Technical Problems of the North SB RAS, Yakutsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-8513-032X, e-mail: kapitonova@iptpn.ysn.ru

Olga V. Rakova

Cand. Sci. (Chemic.), Assoc. Prof. of the Department of Ecology and Chemical technology of the South-Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-5788-5933, e-mail: rakovaov@susu.ru