

А.А. Мерекеев*, **С.М. Нурақынов**, **Н.К. Сыдык**,
Д.В. Чепашев, **К.Б. Зулпыхаров**

ДТОО «Институт ионосферы», Казахстан, г. Алматы

* e-mail: merekeev.aibek@gmail.com

ОЦЕНКА ПРИРОДНОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ КАЗАХСТАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДЗЗ

Казахстан занимает 9-ое место по площади территории в мире, однако большая часть территории находится в аридной зоне, что вызывает высокую подверженность риску возникновения пожаров. По данным МЧС, более 14 тысяч пожаров ежегодно поражают лесные, степные и сельские территории, что составляет практически 78% от всех пожаров по стране.

Данная работа направлена на оценку территории Казахстана по степени пожарной опасности с использованием методов и средств дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), что является актуальным на сегодняшний день.

Целью данной работы является создать карту прогноза пожароопасности, позволяющей определить степень пожароопасности территорий основанной на данных спутников дистанционного зондирования. Рассмотрены работы зарубежных исследователей, непосредственно имеющих опыт в исследованиях и оценке степени пожарной опасности, на основе использования спутниковой информации. Для определения вероятности риска возникновения пожаров, нами изучены природные условия и их влияние на возможное распространение пожара, и оценены 11 видов исходных данных на территории Карагандинской области. Исходя из опыта авторов, исходные данные скомпонованы на следующие группы: топливо, топографию, климат, и статистические данные по пожарам.

Экономическая эффективность, и значимость результатов данной работы, может служить для снижения социально-экономических потерь. Подобным образом, можно значительно ускорить оповещение местных пожарных служб, предварительно оценить возможную угрозу различных очагов пожаров и сократить время на их ликвидацию.

Ключевые слова: Дистанционное зондирование Земли, ГИС, космический мониторинг, карта пожароопасности.

A.A. Merekeyev*, S.M. Nurakynov, N.K. Sydyk,
D.V. Chepashev, K.B. Zulpykharov

«Institute of Ionosphere» SLLP, Kazakhstan, Almaty

* e-mail: merekeev.aibek@gmail.com

Assessment of wildfire hazard on the territory of Kazakhstan using remote sensing data

Kazakhstan ranks 9th in terms of land area in the world, however, most of the territory is in the arid zone, which causes a high exposure to the wildfire risk. According to the Ministry of Emergency Situations, more than 14 thousand fires annually affect forest, steppe and rural areas, which is almost 78% of all fires in the country.

This work is aimed at assessing the territory of Kazakhstan in terms of the degree of fire danger using methods and means of remote sensing, which is relevant today.

The purpose of this work is to create a fire hazard forecast map that allows you to determine the degree of fire hazard of territories based on remote sensing satellite data. The works of foreign researchers who have direct experience in research and assessment of the degree of fire danger, based on the use of satellite information, are considered. To determine the likelihood of a fire risk, we studied the natural conditions and their impact on the possible spread of a fire, and evaluated 11 types of initial data in the Karaganda region. Based on the experience of the authors, the input data are arranged into the following groups: fuel, topography, climate, and fire statistics.

Economic efficiency, and the significance of the results of this work, can serve to reduce socio-economic losses. Similarly, it is possible to significantly speed up the notification of local fire services, pre-evaluate the possible threat of various fires and reduce the time to eliminate them.

Key words: remote sensing, GIS, space monitoring, fire hazard map.

А.А. Мерекеев*, С.М. Нуракинов, Н.К. Сыдык, Д.В. Чепашев, К.Б. Зулпыхаров
«Ионосфера институты» ЕЖШС, Қазақстан, Алматы қ.
* e-mail: merekeev.aibek@gmail.com

ЖҚЗ деректерін пайдалана отырып, Қазақстан аумағындағы табиғи өрт қауіптілігін бағалау

Қазақстан жер көлемі бойынша дүние жүзінде 9-шы орынды иеленеді, алайда аумақтың көп бөлігі аридтік аймақта орналасқан, бұл дегеніміз өрттердің туындау қаупінің жоғары деңгейін тудырады. ТЖМ мәліметтері бойынша, жыл сайын 14 мыңнан астам өрт орман, дала және елді мекендерді зақымдайды, бұл елдегі барлық өрттің 78% – ын құрайды.

Бұл жұмыс бүгінгі күні өзекті болып табылатын Жерді қашықтықтан зондтау (ЖҚЗ) әдістері мен құралдарын пайдалана отырып, Қазақстан аумағын өрт қауіптілігі дәрежесі бойынша бағалауға бағытталған.

Бұл жұмыстың мақсаты аумақтардың өрт қауіптілігінің дәрежесін анықтауға мүмкіндік беретін қашықтықтан зондтау спутниктерінің деректеріне негізделген өрт қауіптілігін болжау картасын жасау болып табылады. Спутниктік ақпаратты пайдалану негізінде өрт қауіптілігі дәрежесін зерттеу және бағалауда тікелей тәжірибесі бар шетелдік зерттеушілердің жұмыстары қаралды.

Өрттердің туындау қаупін анықтау үшін біз табиғи жағдайларды және олардың өрттің ықтимал таралуына әсерін зерттедік және Қарағанды облысының аумағында өрттің шығуына бейім бастапқы деректердің 11 түрін бағаладық. Авторлардың тәжірибесіне сүйене отырып, бастапқы деректер келесі топтарға жинақталған: отын, топография, климат және өрт статистикасы.

Осы жұмыстың нәтижелерінің маңыздылығы мен экономикалық тиімділігі әлеуметтік-экономикалық шығындарды азайтуға қызмет етуі мүмкін. Осылайша, жергілікті өрт сөндіру қызметтерінің ескертуін едәуір жеделдетуге, әртүрлі өрт ошақтарының ықтимал қатерін алдын ала бағалауға және оларды жою уақытын қысқартуға болады.

Экономикалық тиімділік және осы жұмыс нәтижелерінің маңыздылығы әлеуметтік-экономикалық шығындарды азайтуға қызмет етуі мүмкін. Осылайша, жергілікті өрт сөндіру қызметтерінің ескертуін едәуір жеделдетуге, әртүрлі өрт ошақтарында өрттің болу ықтималдылық қатерінің алдын ала бағалауға және оларды жою уақытын қысқартуға болады.

Түйін сөздер: Жерді қашықтықтан зондтау, ГАЖ, ғарыштық мониторинг, өрт қауіптілігінің картасы.

Введение

Казахстан входит в десятку крупнейших государств мира по площади территории, (9-е место), и находясь в аридной зоне, практически вся территория республики подвержена риску возникновения пожаров. Ежегодно в Казахстане, по данным МЧС, происходит около 18 тысяч пожаров, из них более 14 тысяч (или 78%) приходится на сельскую местность (с учетом лесных и степных пожаров). Напряженные «сухие» годы, например, в 2018 году, на территории только лесного фонда произошло 613 пожаров на площади 5313 гектаров. Ущерб от лесных пожаров по республике тогда составил 531 миллион 600 тысяч тенге.

Для тестирования разработанной методики была выбрана территория Карагандинской области. Регион обладает природно-ресурсным потенциалом, способным обеспечивать жителей области многими видами сельскохозяйственного производства (продукцией растениеводства и животноводства). Но при этом есть серьезные

опасения в виде частых лесных и степных пожаров. Ситуация с пожарами будет усугублять жизнь местным населением и природе которое связано, в первую очередь, с аномальным изменением климата и увеличением площадей регулярного орошения и пастбищ. Также, данный регион отличается сухим и ветреным климатом что вызывает большую вероятность возникновения пожаров. Приведенные факторы указывают на необходимость проведения исследований по оценке степени пожарной опасности используя данные ДЗЗ и ГИС технологии для выработки рекомендации, предотвращения катастроф и смягчения их последствий.

Международный опыт показывает, что методы космического исследования являются наиболее эффективным способом обнаружения и предупреждения большинства природных и техногенных пожаров. Современные системы ДЗЗ дают возможность получать обзорную и детальную информацию о природных пожарах различного масштаба. В Казахстане с его большой территорией использование методов кос-

мического мониторинга пожаров является особенно актуальным, так как контролировать пожары, разбросанные на гигантской площади (более 2,7 миллионов квадратных километров), традиционными наземными методами сложно, дорого и трудозатратно.

Новизна данной работы заключается в том, что впервые для Карагандинской области создана карта прогноза пожароопасности с использованием новейших технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и ГИС для отслеживания состояния потенциально опасных участков и контролировать динамику их развития с целью выработки рекомендаций по их предотвращению.

Материалы и методы

С развитием технологий в области ДЗЗ и ГИС, наше понимание факторов, влияющих на степень опасности пожара, несомненно, изменилось, но относительная важность этих факторов остается неясной. Например, топография явно является влиятельным фактором, как и количество и состав живой растительности, и мертво-

го топлива (это топливо дикой природы, то есть, засохшее растение, содержание влаги в котором регулируется исключительно изменением погодных условий). В работах следующих авторов (Parks, 2014: 1827; Van, 2015: 62), утверждается что устойчивый климат является важным фактором, определяющим интенсивность пожаров. Однако, (Miller, 1999: 113; Pausas, 2007: 330; Krawchuk, 2009: e5102) предполагают, что климат, вероятно, имеет косвенное влияние на продуктивность и доминирующий тип растительности. Кроме того, меры по управлению растительностью и наличие архивных и статистических данных о предыдущих пожарах, также влияют на степень восприимчивости к пожару.

Для определения степени важности каждого из факторов и построения карты пожароопасных территории, нами было использовано 11 видов данных в модели (Parks, 2018: 044037) для территорий Карагандинской области, которые можно разделить на четыре группы, представляющие топливо, топографию, климат и статистические данные по пожарам (таблица 1).

Таблица 1 – Исходные данные, используемые при районировании пожароопасных территории

Группа	Имя переменной	Описание
Топливо	NDVI	Нормализованный разностный вегетационный индекс (Normalized differenced vegetation index). Рассчитано с использованием предпусковых снимков
	NDMI	Нормализованный разностный показатель влажности (Normalized differenced moisture index). Рассчитано с использованием предпусковых снимков
	EVI	Повышенный вегетационный индекс (Enhanced vegetation index). Рассчитано с использованием предпусковых снимков
Топография	DISS	Индекс рассечения с радиусом 450 метров. DISS – это мера топографической сложности
	DEM	Цифровая модель рельефа
	ASP	Пространственная ориентация элементарного склона холма, горы или горного хребта
	SRAD	Солнечное излучение, рассчитанное с использованием модели SOLPET6
	Slope	Угол наклона
Климат	ET	Эвапотранспирация
	T.sm	Средняя летняя температура

Топливая группа состоит из данных вычисленные по трем спектральным индексам растительности: NDVI, NDMI и EVI. Эти индексы были получены с использованием данных

со спутника Landsat 8, до пожара. NDVI – это индекс продуктивности и биомассы растительности (Schroeder, 2016a: 210). NDMI – показатель влажности растительности, который

играет ключевую роль в оценке потенциала и серьезности лесных пожаров (Robert, 2016: 1310). EVI – индекс продуктивности растительности которая показывает структурные изменения растительного покрова (например, индексу площади листа, типу растительного покрова, физиогномике растений и архитектуре растительного покрова) и лучше подходит для лесных территорий (Huete, 2002: 195). Эти индексы чувствительны к изменениям в количестве и распределении топлива с течением времени из-за роста растительности засухи.

Топографические данные представлены пятью переменными (разрешение = 30 м): цифровая модель рельефа (ЦМР), индекс расчленения (DISS), экспозиция склона (ASP), потенциальное солнечное излучение (SRAD) и уклон (SLOPE). Распространение пожара напрямую связана с этими конкретными топографическими переменными, однако, исходя из нашего опыта, топографические данные, представляют собой косвенные влияния пожарную опасность. Например, солнечная радиация (SRAD) может косвенно воздействовать на интенсивность пожара, влияя на производительность и влажность топлива.

Климатические данные представлены двумя переменными: эталонная эвапотранспирация – ET (Roche, 2018: e1978), и средняя летняя температура – T.sm (с июня по август). ET в целом представляет климатический водный баланс (климатический дефицит воды и фактическое эвапотранспирация, соответственно).

В качестве статистических данных были использованы интенсивность выявленных горячих точек по данным с сенсоров MODIS, VIIRS и выгоревших территории по Sentinel-2) на Карагандинской области за последние три года.

По результатам наших исследований было определено, что тип топлива является наиболее важным фактором возникновения пожара высокой степени тяжести (среднее относительное влияние = 53,1%), статистические данные вторым по значимости фактором (среднее относительное влияние = 22,9%). Климат (13,7%) и топография (10,3%) оказали меньшее влияние. Данные прогноза пожароопасности представлены в табличном виде (таблица 2) и в виде карты на рисунке 1.

Таблица 2 – Данные прогноза пожароопасности

Параметр Величина	Наклон (градус)	Экспозиц. (румба)	ЦМР (м)	Солнеч. Радиация (в/м ²)	Темп. (°C)	Рассеч. (м)	NDVI	NDMI	EVI	EVA
Экстремальный	0-4	S	200-500	166000-175000	28-34	0,4-0,6	0,2-0,3	-0,11 – -0,035	1078 – 1862	1-34
Высокий	4-6	SE/SW	500-700	162000-166000	24-28	0,2-0,4	0,3-0,6	-0,16 – -0,11	1862 – 3431	34-75
Умеренно высокий	6-9	E/W	700-1000	154000-162000	20-24	0,6-1	0,1-0,2	-1 – -0,16	500 – 1078	75-117
Умеренно низкий	9-13.2	NE/NW	52-200	59737-154000	17-20	0-0,2	0,6-1	0,035 – 0,082	3431 – 11078	117-175
Низкий	13.2-55	N	1000+	175000-192985	14-17		-1-0,1	0,082 – 0,25	11078 – 25000	175-250

В вышеуказанной таблице были разделены параметры использованных данных по степени восприимчивости к пожару. Например, экстремальный уровень опасности приходит на южные

склоны исследуемой территорий, при температуре 28-34°C, испарения 1-34%, а минимальная вероятность пожара приходит на северный склон, при температуре 14-17°C, испарения 175-250%.

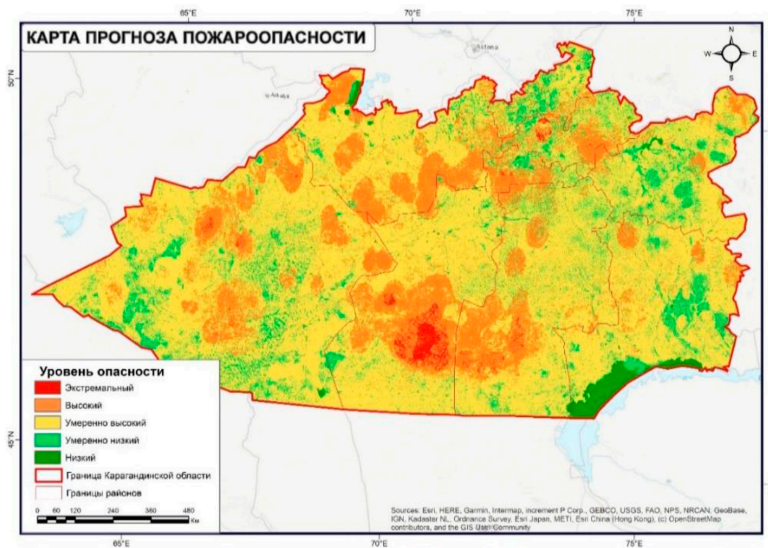


Рисунок 1 – Карта прогноза пожароопасности Казахстана на примере Карагандинской области

Согласно рисунку 1 самые восприимчивые к пожару территории Карагандинской области расположены в Жанааркинском и Шетском районах. Данные территории выделяются сухим и жарким климатом. Растительный покров травяной. Также, отсутствуют какие-либо природные и техногенные барьеры в виде рек, болот, дорог, противопожарных вспашек и др. Эти и другие факторы влияют на возникновение и распространение пожаров.

Результаты и обсуждение

В среднем, в Казахстане количество природных пожаров за последние 10 лет составляет порядка от 20 000 до 100 000 случаев (рисунки 2-5).

В Карагандинской, Костанайской, Актыубинской и Западно-Казахстанской и Северно-Казахстанской областях произошло наибольшее количество пожаров. Это объясняется тем, что данные области имеют сравнительно травянистый покров, характеризуются отсутствием песчаных пустынь. А также относительно равнинный рельеф, без высокой горной местности и речных систем, который может служить естественным барьером для пожаров.

Максимальный показатель по количеству пожаров и выгоревшим территориям имеет Карагандинская область – 110 тыс. случаев, также в некоторые годы, были лесные и степные пожары, которые длились несколько дней и достигли сотен км², как, например, случай в 2019 году (рисунки 2).

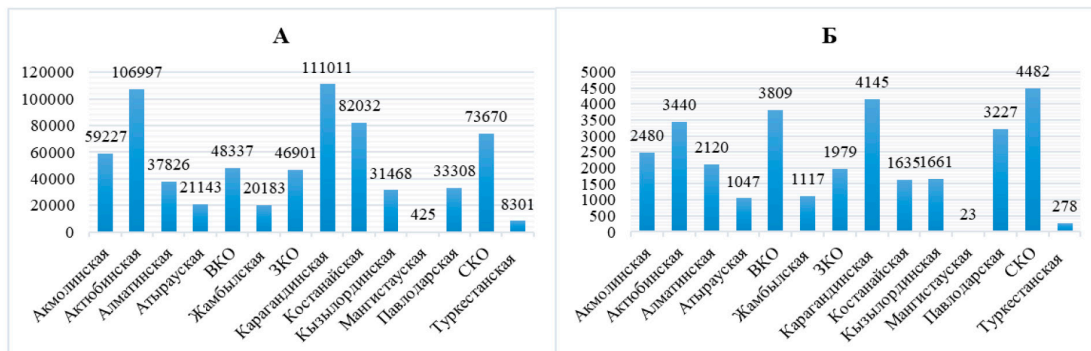


Рисунок 2 – Количество очагов пожаров в разрезе областей
А – за период 2010-2020; Б – за период Январь 2020-Сентябрь 2020

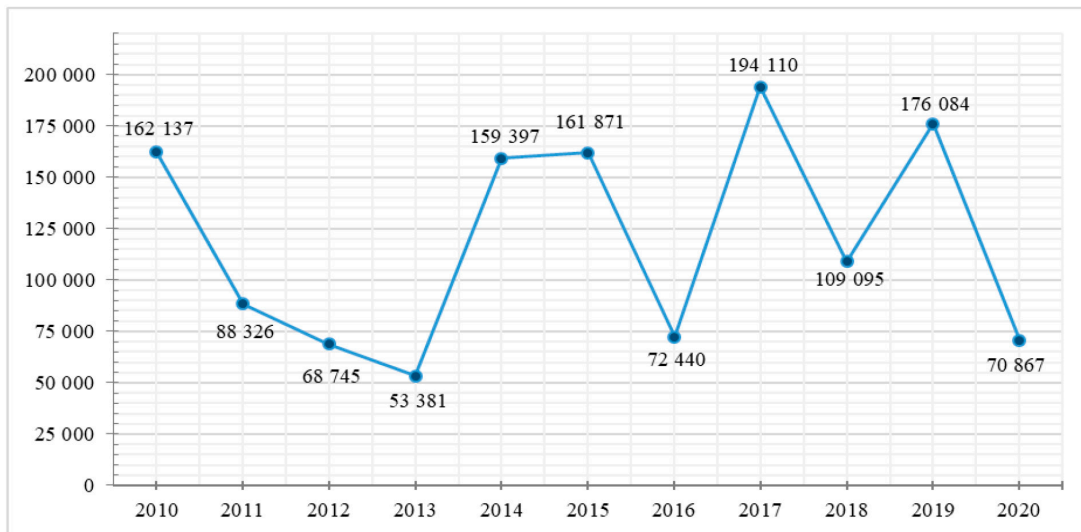


Рисунок 3 – Динамика очагов пожаров по годам за период 2010-2020 гг.

Пик обнаруженных очагов пожаров в разрезе республики было в 2017 году в количестве более 194 тыс. Если взять отдельно Карагандинскую область, в летний период 2017 года в регионе температура воздуха

днем повышалась местами до 48С°, по Цельсию (inbusiness.kz 2017) что в 1,8 раза больше среднего показателя 2016 года (26,5С°), а количество осадков было в 3 раза ниже.

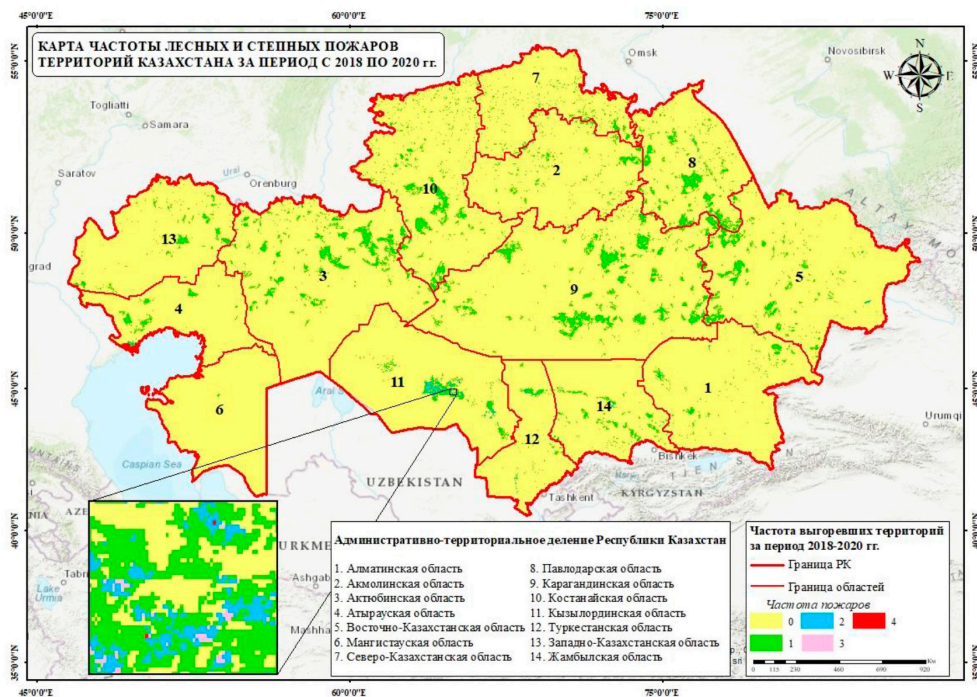


Рисунок 4 – Карта частоты пожаров за период 2018-2020 гг.

На данной карте можно увидеть информацию о частоте обнаруженных пожаров по пятибалльной шкале за трехлетний период. Чаще всего выявлено на территории Кызылординской области вдоль реки Сырдарья. В

основном, это связано с намеренным поджогом местного населения камышей. Также стоит отметить, что хоть и количество красной зоны несущественно, разрешение одного пикселя равно 1 км.

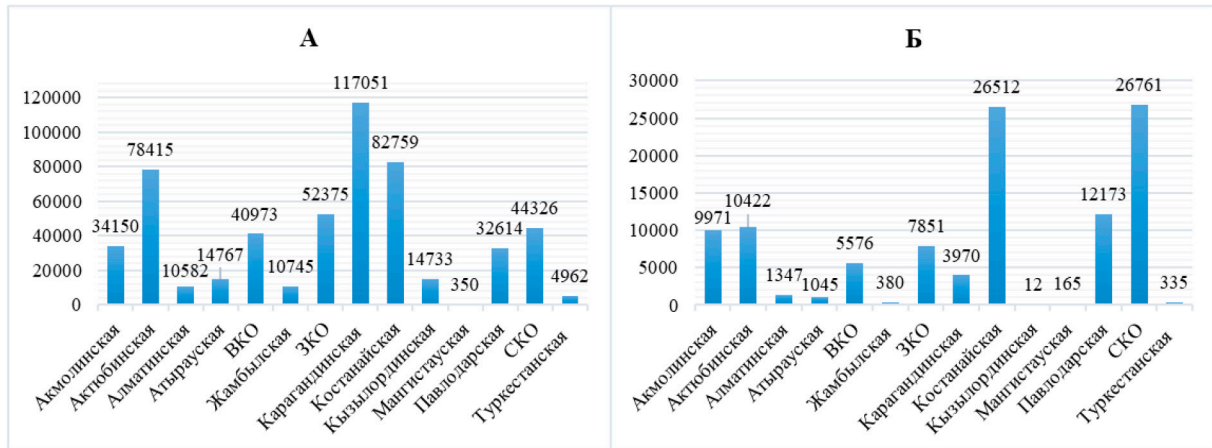


Рисунок 5 – Площади выгоревших территории (км²) в разрезе областей А – за период 2015-2020 гг.; Б – за период Январь 2020г.-Сентябрь 2020г.

Больше всего выгоревших территории было выявлено в Карагандинской области – 117 тыс. км² за период 2015-2020 гг. А самая большая выгоревшая территория за период январь-сентябрь 2020 года приходит на Северо-Казахстанскую область – 26 тыс. км². Что является самым высоким показателем среди областей.

Заключение

В целом, результаты данной работы могут быть использованы для прогноза возникновения риска пожароопасности, и контроля динамики их развития с целью выработки рекомендаций по их предотвращению.

Для оценки риска пожарной опасности разработаны статистические модели на всю территорию РК. Результаты имеют хорошую корреляцию с картой частоты лесных и степных

пожаров на территории Карагандинской области за период с 2010 по 2020 гг.

По статистическим данным можно отметить что в Мангистауской области минимальные показатели количества очагов пожара и низкий уровень опасности соответственно. А в Карагандинской, Костанайской, Актюбинской, Западно-Казахстанской и Северо-Казахстанской областях экстремальный уровень опасности, что подтверждает количество выявленных термальных аномалий и площадей выгоревших территорий.

Все результаты, разработанные авторами в данной исследовательской работе, являются научно обоснованными. Исходя из полученных результатов следует отметить, что территория страны имеет повышенную пожароопасность, наблюдается значительные колебания от года к году в количестве и площади пожаров в зависимости от сезонных условий вегетаций и климатического режима территории.

Литература

- Birch, D. S., Morgan, P., Kolden, C. A., Abatzoglou, J. T., Dillon, G. K., Hudak, A. T., Smith, A. M. "Vegetation, topography and daily weather influenced burn severity in central Idaho and western Montana forests." *Ecosphere* 6, no. 1 (2015): 1-23.
- Fang, L., Yang, J., Zu, J., Li, G., Zhang, J. "Quantifying influences and relative importance of fire weather, topography, and vegetation on fire size and fire severity in a Chinese boreal forest landscape." *Forest Ecology and Management* 356, (2015): 2-12.

- Gusev, Oleg. The official website of the information portal "inbusiness.kz". September 7, 2017. <https://inbusiness.kz/ru/news/49-gektarov-stepi-goreli-v-karagandinskoj-oblasti>. (Accessed 21.11.2021).
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., Ferreira, L. G. "Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices." *Remote sensing of environment* 83, no. 1-2 (2002): 195-213.
- Keyser A., Westerling A.L. "Climate drives inter-annual variability in probability of high severity fire occurrence in the western United States." *Environmental Research Letters* 12, no. 6 (2017): 065003.
- Krawchuk, M. A., Moritz, M. A., Parisien, M. A., Van Dorn, J., Hayhoe, K. "Global pyrogeography: the current and future distribution of wildfire." *PloS one* 4, no. 4 (2009): e5102.
- Lydersen, J. M., Collins, B. M., Brooks, M. L., Matchett, J. R., Shive, K. L., Povak, N. A., Kane V.R., Smith, D. F. "Evidence of fuels management and fire weather influencing fire severity in an extreme fire event." *Ecological Applications* 27, no.7 (2017): 2013-2030.
- Miller C., Urban D.L., "A model of surface fire, climate and forest pattern in the Sierra Nevada, California." *Ecological Modelling* 114, no. 2-3 (1999): 113-135.
- Parks S.A., Dillon G.K., and Miller C. "A new metric for quantifying burn severity: the relativized burn ratio." *Remote Sensing* 6, no. 3 (2014): 1827-1844.
- Parks, S. A., Holsinger, L. M., Panunto, M. H., Jolly, W. M., Dobrowski, S. Z., Dillon, G. K. «High-severity fire: evaluating its key drivers and mapping its probability across western US forests. » *Environmental research letters* 13, no. 4, (2018): 044037.
- Pausas J.G., Bradstock R.A. "Fire persistence traits of plants along a productivity and disturbance gradient in mediterranean shrublands of south-east Australia." *Global Ecology and Biogeography* 16, no. 3 (2007): 330-340.
- Prell, Adam. Official website of "RedZone". December 19, 2016. <https://www.redzone.co/2016/12/19/wildfire-101-dead-fuel-moisture>. (Accessed 25.11.2021).
- Robert S.A., Joshua M.J., Gregory C., Sion J. "Airborne optical and thermal remote sensing for wildfire detection and monitoring." *Sensors* 16, no. 8 (2016): 1310.
- Roche, J. W., Goulden, M. L., Bales, R. C. «Estimating evapotranspiration change due to forest treatment and fire at the basin scale in the Sierra Nevada California. » *Ecohydrology* 11, no. 7, (2018): e1978.
- Roteta, E., Bastarrika, A., Padilla, M., Storm, T., Chuvieco, E. "Development of a Sentinel-2 burned area algorithm: Generation of a small fire database for sub-Saharan Africa." *Remote sensing of environment* 222, (2019): 1-17.
- Schroeder W., Oliva P., Giglio L., Quayle B., Lorenz E., Morelli F. "Active fire detection using Landsat-8/OLI data." *Remote sensing of environment*, no. 185 (2016): 210-220.
- Van R. Kane C. Alina Canslera Nicholas A. Povakb Jonathan T. Kanea Robert J. Mc Gaugheyc James A. Lutzd Derek J. Churchilla Malcolm P. Northe. "Mixed severity fire effects within the Rim fire: relative importance of local climate, fire weather, topography, and forest structure." *Forest Ecology and Management* 358, (2015): 62-79.