



Ғылыми мақала

## ҚОСТАНАЙ ОБЛЫСЫ ОРМАНДАРЫНЫҢ ӨРТ ҚАУІПТІЛІГІНІҢ ТАБИҒИ ФАКТОРЛАРЫ ЖӘНЕ ОЛАРДЫ БАҒАЛАУ

Жанар О. Озгелдинова, PhD 

Л. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан; ozgeldinova@mail.ru (ЖОО)

\* Автор корреспондент: Жанар О. Озгелдинова, ozgeldinova@mail.ru

### ТҮЙІН СӨЗДЕР

орман өрттері, орман, табиғи өрт қауіптілігі, жерді қашықтан зондтау (ЖҚЗ), географиялық ақпараттық жүйелер (ГАЖ), Қостанай облысы

### АБСТРАКТ

Орман өрттері климаттық өзгерістер жағдайында жиілігі мен қарқындылығы артып келе жатқан қауіпті табиғи құбылыстардың бірі болып табылады. Қазақстан аумағында табиғи өрт қауіптілігін кеңістіктік тұрғыдан кешенді бағалау жеткіліксіз зерттелген. Осы зерттеуде Қостанай облысы аумағының табиғи өрт қауіптілігін бағалау үшін Жерді қашықтан зондтау (ЖҚЗ) деректері мен геоақпараттық технологияларға негізделген көпфакторлы интегралды модель ұсынылды. Модель құрамына өсімдік жамылғысының спектралдық индекстері (NDVI, NDMI, EVI), жер бедері параметрлері және метеорологиялық көрсеткіштер енгізілді. Барлық факторлар нормализацияланып, олардың салмақтық коэффициенттері сараптамалық бағалау әдісі арқылы анықталды. Кеңістіктік талдау ArcGIS бағдарламалық ортасында жүргізілді. Зерттеу нәтижесінде Қостанай облысы аумағы табиғи өрт қауіптілігі деңгейі бойынша аймақтандырылып, аумақтың едәуір бөлігі орташа жоғары және жоғары қауіптілік аймақтарына жататыны анықталды. Өрттердің ең жоғары шоғырлануы аллювиальды жазықтарда және қарағайлы ормандар таралған аумақтарда байқалды. Верификация нәтижелері тіркелген өрттердің 80 %-дан астамы жоғары және өте жоғары қауіптілік аймақтарында шоғырланғанын көрсетті. Алынған нәтижелер табиғи өрт қауіптілігін бағалау, қауіпті аумақтарды айқындау, сондай-ақ орман өрттерін мониторингтеу мен басқару жүйелерін жетілдіру үшін қолданылуы мүмкін.

### 1. КІРІСПЕ

Орман өрттері орман экожүйелерінің қызметіне, биоалуантүрлілікке және табиғи ландшафттардың тұрақтылығына елеулі әсер ететін маңызды табиғи факторлардың бірі болып табылады. Олар өсімдік жамылғысының құрылымының өзгеруіне, биогеохимиялық циклдердің бұзылуына және топырақ жамылғысының деградациясына әкеліп соғады, сондай-ақ экожүйелердің көміртегік теңгеріміне және жалпы климаттық жүйеге айтарлықтай ықпал етеді [1, 3].

Соңғы онжылдықтарда әлемнің көптеген аймақтарында орман өрттерінің жиілігі, қамтитын аумағы және қарқындылығының артуы үрдісі байқалуда. Бұл жағдай климаттық өзгерістермен, сондай-ақ өрт қауіптілігінің қалыптасуына әсер ететін табиғи және антропогендік факторлардың өзгеруімен байланыстырылады [4, 7].

Қазіргі ғылыми зерттеулер климаттық өзгерістердің орман өрттерінің динамикасына айтарлықтай ықпал ететінін көрсетеді. Ауа температурасының жоғарылауы, құрғақ кезеңдердің ұзақтығының артуы және атмосфералық жауын-шашын режимінің өзгеруі өсімдік жамылғысының құрғауына және жанғыш материалдардың жиналуына әкеледі, бұл өз кезегінде өрттердің пайда болуы және таралуы ықтималдығын арттырады [4, 5, 7].

### Мақала жайында:

Жіберілді: 11.03.2026

Қайта қаралды: 10.05.2026

Қабылданды: 02.06.2026

Жарияланды: 01.07.2026

Климаттық факторлармен қатар, өрт қауіптілігінің қалыптасуында өсімдік жамылғысының құрылымы мен жанғыш материалдардың жиналуы маңызды рөл атқарады [8]. Осыған байланысты өсімдік жамылғысының сипаттамаларын зерттеу ерекше маңызға ие, бұл қазіргі заманғы Жерді қашықтан зондтау (ЖҚЗ) әдістерін пайдалану арқылы жүзеге асырылуы мүмкін [9].

#### Дәйексөз үшін:

Озгелдинова Ж., Қостанай облысы ормандарының өрт қауіптілігінің табиғи факторлары және оларды бағалау//Гидрометеорология және экология, 122 (2), 2026, 137-154.

Соңғы жылдары Қазақстан аумағында орман және дала өрттерінің жиілігі мен ауқымының арту үрдісі байқалуда. Сонымен қатар, климаттың құрғақтануы мен температураның жоғарылауы Солтүстік Қазақстан аймақтарында өрт қауіптілігінің артуына ықпал етуде [7, 10].

Қазақстан және Орталық Азия аумағында өрттердің кеңістіктік таралуы мен динамикасын бағалауға бағытталған бірқатар зерттеулер жүргізілген. Қазақстан аумағында өрт қауіптілігін бағалау үшін ЖҚЗ деректері мен машиналық оқыту әдістерін қолдануға бағытталған зерттеулер ұсынылған [10, 11]. Спутниктік деректер негізінде күйген аумақтардың уақыт бойынша өзгерісі мен олардың климаттық факторлармен байланысы анықталған, бұл Орталық Азия өңірінде өрттердің кең таралғанын көрсетеді [12].

Өрттердің салдарын бағалауға арналған зерттеулерде ірі орман өрттерінен кейінгі экожүйелік өзгерістер мен қалпына келу үдерістері қарастырылған [13]. Сонымен қатар, Қазақстан аумағындағы өрттердің көпжылдық динамикасы мен олардың климаттық факторлармен байланысы бұрынғы зерттеулерде көрсетілген [12, 14]. Бұл өңірде өрттердің жиілігі мен ауқымының жоғары өзгергіштігін және жекелеген жылдары олардың кең аумақтарды қамтитынын көрсетеді [12, 14].

Соған қарамастан, Қазақстан аумағында табиғи өрт қауіптілігін кешенді бағалауға арналған зерттеулер жеткіліксіз деңгейде дамыған. Қолданыстағы зерттеулерде ЖҚЗ деректерін пайдалану мүмкіндіктері қарастырылғанымен, олардың көпшілігі жекелеген факторларды талдаумен шектеледі және кеңістіктік интегралды модельдер жеткіліксіз қолданылған [10, 12, 15].

Осылайша, табиғи өрт қауіптілігін бағалаудың кешенді әдістерінің жеткіліксіздігі, сондай-ақ Қазақстан аумағы үшін аймақтық деңгейде кеңістіктік талдаудың шектеулі болуы зерттеудің негізгі ғылыми проблемасын айқындайды.

Осыған байланысты зерттеудің мақсаты – Жерді қашықтан зондтау деректері мен географиялық ақпараттық технологияларды пайдалана отырып Қостанай облысы аумағында орман өрттерінің пайда болуына әсер ететін табиғи факторларға алғаш рет кешенді баға беру және аумақты табиғи өрт қауіптілігі деңгейі бойынша аймақтандыру.

## 2. МӘЛІМЕТТЕР МЕН ӘДІСТЕР

Қостанай облысы аумағында орман өрттерінің пайда болуына әсер ететін табиғи факторларды бағалау үшін Жерді қашықтан зондтау (ЖҚЗ) деректері, метеорологиялық бақылау материалдары және геоақпараттық кеңістіктік талдау әдістері пайдаланылды. Зерттеудің дереккөздік негізін Landsat 9 спутниктік суреттері, сондай-ақ 2013...2023 жылдар аралығындағы «Қазгидромет» РМК ұсынған статистикалық және метеорологиялық мәліметтер құрады. Кеңістіктік деректерді өңдеу мен талдау ArcGIS 10.8 бағдарламалық ортасында Spatial Analyst модулін пайдалану арқылы жүзеге асырылды.

Зерттеуде Landsat 8 және Landsat 9 спутниктерінің 30 м кеңістіктік ажыратымдылықтағы көпспектрлі суреттері пайдаланылды. Зерттеу үшін өрт қауіпті кезеңге (сәуір–қыркүйек) сәйкес келетін 2018...2023 жылдар аралығындағы бұлттылығы 10 %-дан аспайтын 24 спутниктік көрініс (scene) іріктелді. Суреттер USGS Earth Explorer платформасынан алынды [16, 17].

Зерттеу барысында орман өрттерінің пайда болуы мен таралуына әсер ететін негізгі табиғи факторлар анықталып, жүйелендірілді. Бұл факторлар үш негізгі топқа бөлінді: отындық, геоморфологиялық және метеорологиялық факторлар. Аталған факторлардың

басым бөлігі кумулятивтік әсерге ие, себебі өрттердің пайда болуы көбінесе бірнеше табиғи жағдайлардың қоршаған ортаға бірлескен ықпалының нәтижесінде қалыптасады. Зерттеу әдістемесі бірнеше кезеңнен тұрды: бастапқы деректерді жинау және алдын ала өңдеу, спутниктік суреттер негізінде өсімдік жамылғысының спектралдық индекстерін есептеу, жер бедері параметрлерін талдау, метеорологиялық көрсеткіштерді өңдеу, сондай-ақ аумақтың табиғи өрт қауіптілігін интегралды бағалау.

Спутниктік деректер алдын ала өңдеуден өтті: атмосфералық түзету (DOS1 әдісі), бұлттарды маскалау (QA band негізінде), геометриялық түзету және барлық қабаттарды бір координаттық жүйеге келтіру (WGS 84 / UTM zone 42N).

Табиғи факторларды кешенді бағалаудың негізгі кезеңдері 1-суретте көрсетілген. Зерттеу барысында табиғи өрт қауіптілігіне әсер ететін факторлар жинақталып, жүйелендірілді (1-кесте).



Сурет 1. Табиғи өрт қауіптілігін интегралды бағалаудың негізгі кезеңдері

Табиғи өрт қауіптілігін интегралды бағалау үшін салмақтық коэффициенттер әдісіне негізделген көпфакторлы модель қолданылды (формула 1):

$$F = \sum_{i=1}^n w_i x_i \tag{1}$$

мұндағы:

F – табиғи өрт қауіптілігінің интегралды көрсеткіші;

w<sub>i</sub> – i-фактордың салмақтық коэффициенті;

x<sub>i</sub> – фактордың нормаланған мәні.

Барлық факторлар 0...1 аралығында нормализацияланды [18]. Салмақтық коэффициенттер сараптамалық бағалау әдісі негізінде анықталды [19].

Салмақтық коэффициенттер сараптамалық бағалау әдісі негізінде анықталды. Бағалау орман шаруашылығы және геоэкология саласындағы 5 сарапшының қатысуымен жүргізілді. Әр фактордың маңыздылығы 1-ден 10-ға дейінгі шкала бойынша бағаланып, кейін орташа мәні алынды.

Бұл әртүрлі өлшем бірліктеріндегі көрсеткіштерді бір модельде біріктіруге мүмкіндік берді.

Отындық фактор орман өрттерінің пайда болуы мен таралу ықтималдығын айқындайтын негізгі табиғи факторлардың бірі болып табылады. Бұл факторды бағалау өсімдік жамылғысының үш спектралдық индексі негізінде жүргізілді: NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). NDVI, NDMI және EVI спектралдық индекстері қашықтан зондтау деректерін талдауда кеңінен қолданылатын әдістемелерге сәйкес келесі формулалар 2, 3, 4 бойынша есептелді [20, 22].

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \tag{2}$$

$$NDMI = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)} \tag{3}$$

$$EVI = \frac{2.5 * (NIR - Red)}{(NIR + 6 * Red - 7.5 * Blue + 1)} \tag{4}$$

NDVI индексі өсімдік жамылғысының өнімділік деңгейін және биомасса көлемін сипаттайды [11, 12].

NDVI мәндерінің артуы, әдетте, өсімдік биомассасының көбеюін көрсетеді. Орман екпелерінің жасы ұлғайған сайын өсімдік материалдарының жинақталуы байқалады, бұл жанғыш материалдардың мөлшерінің артуына алып келеді. Осыған байланысты NDVI мәндері мен тіркелген өрттер саны арасында оң корреляциялық байланыс байқалады, бұл жетілген орман алқаптарында өрттердің пайда болу қаупінің жоғары екенін көрсетеді.

NDMI индексі өсімдік жамылғысы мен топырақтың ылғалдылық деңгейін бағалау үшін қолданылады және табиғи өрт қауіптілігін анықтауда маңызды көрсеткіштердің бірі болып табылады [22, 23].

Өсімдіктер мен топырақтағы ылғалдың болуы табиғи өрттердің пайда болу ықтималдығын төмендетеді, сондай-ақ өрт туындаған жағдайда жану қарқындылығын азайтады. Бұл ретте ылғал деңгейіне топырақтың ылғал сақтау қабілеті, булану қарқындылығы және атмосфералық жауын-шашын мөлшері сияқты факторлар елеулі әсер етеді.

EVI индексі өсімдік жамылғысының өнімділігі мен құрылымдық ерекшеліктерін сипаттайды. Ол жапырақ бетінің индексі, өсімдік типі және өсімдік қауымдастықтарының кеңістіктік құрылымы сияқты көрсеткіштерді қамтиды [22, 24].

Бұл индекс орман аумақтарын талдауда ерекше тиімді болып табылады. Өсімдік жамылғысының өсуіне және құрғақшылық жағдайларына байланысты жанғыш материалдардың мөлшері мен кеңістіктік таралуындағы өзгерістер аталған индекстің мәндеріне айтарлықтай ықпал етеді.

**Кесте 1**

*Табиғи өрт қауіптілігі факторларын бағалау шкаласы*

Көрсеткіш	Көрсеткіштің салмақтық коэффициенті	Табиғи өрт қауіптілігі деңгейі				
		Экстремалды	Жоғары	Орташа жоғары	Орташа төмен	Төмен
		Отындық факторлар				
NDVI	10	0,6 ... 0,5	0,5 ... 0,4	0,4 ... 0,3	0,3 ... 0,2	0,2 ... 0,1
EVI	10	0,6 ... 0,5	0,5 ... 0,4	0,4 ... 0,3	0,3 ... 0,2	0,2 ... 0,1
NDMI	10	-0,3 ... 0,2	-0,2 ... 0,0	0,0 ... 0,2	0,2 ... 0,4	0,4 ... 0,6
Орманды формациялар	10	Ашыққыл қанды ормандар	Жапырақты ормандар	Сирек жапырақты ормандар	Бұталы	Сирек Бұталы ормандар
		Геоморфологиялық факторлар				
Жер бедерінің сандық моделі (ЖБСМ), м	8	200 ... 500	500 ... 700	700 ... 1000	< 200	> 1000
Жер бедерінің тілімденуі, м	8	0,6 ... 0,4	0,4 ... 0,2	0,6 ... 1	0 ... 0,2	...
Беткей экспозициясы, румб	7	Оңтүстік, Батыс	Оңтүстік-шығыс, оңтүстік-батыс	Шығыс	Солтүстік-шығыс, солтүстік-батыс	Солтүстік
Еңістік, градус	8	0 ... 4	4 ... 6	6 ... 9	9 ... 13	13 ... 40
		Метеорологиялық факторлар				
Өрт қауіпті кезеңіндегі (сәуір–қыркүйек) тікелей	8	> 3,4	3,4 ... 3,2	3,2 ... 3,0	3,0 ... 2,8	< 2,8

күн радиациясының орташа тәуліктік мөлшері, кВт/м²/күн						
Өрт қауіпті кезеңіндегі (сәуір–қыркүйек) топырақ бетінен булану коэффициенті, мм	7	> 150	150... 140	140... 130	130... 120	< 120
Өрт қауіпті кезеңіндегі (сәуір–қыркүйек) орташа ауа температурасы, °C	8	> 21	21 ... 19	19 ... 17	17 ... 15	< 15
Өрт қауіпті кезеңіндегі (сәуір–қыркүйек) жауын-шашынның орташа мөлшері, мм	6	> 15	15... 20	20...25	25... 30	> 30
<b>Барлығы:</b>	<b>100</b>					

Жер бедерінің орман өрттерінің дамуы мен таралуына әсері тікелей де, жанама түрде де байқалады, өйткені ол жергілікті климаттық жағдайлардың қалыптасуына және өсімдік жамылғысының кеңістіктік таралуына ықпал етеді. Табиғи өрт қауіптілігін бағалау кезінде ескерілетін жер бедерінің негізгі параметрлеріне абсолюттік биіктік, беткейдің еңістігі, беткей экспозициясы және жер бедерінің тілімдену дәрежесі жатады. Бұл зерттеуде аталған көрсеткіштер кеңістіктік ажыратымдылығы 30 м болатын сандық жер бедері моделінің (СЖБМ) негізінде есептелді. Есептеулер ArcGIS 10.8 бағдарламалық кешенінің Spatial Analyst модулінің құралдарын пайдалану арқылы жүргізілді.

Жер бедерінің маңызды көрсеткіштерінің бірі – абсолюттік биіктік. Зерттелетін аумақта теңіз деңгейінен биіктік артқан сайын өрттердің санының азаю үрдісі байқалады. Бұл құбылыс биіктік өскен сайын ауа температурасының төмендеуімен және жанғыш биомасса көлемінің азаюымен түсіндіріледі. Таулы аймақтарда өрттер ауа ағындарының циркуляция ерекшеліктері мен жер бедерінің ықпалына байланысты салыстырмалы түрде жылдам таралуы мүмкін, ал жазық аумақтарда олардың таралу қарқыны әдетте баяу болады [25, 26].

Өрттердің биіктік белдеулер бойынша таралуын талдау нәтижесінде теңіз деңгейінен 200... 1000 м аралығында өрттердің жиілігі жоғары екендігі анықталды. Ең көп өрт жағдайлары 200... 500 м биіктік аралығында тіркелген. Ал теңіз деңгейінен 200 м-ден төмен және 1000 м-ден жоғары орналасқан аумақтарда өрттердің саны айтарлықтай аз.

Беткейдің еңістігі де аумақтың өрт қауіптілігінің қалыптасуына елеулі әсер етеді. Еңістік ұлғайған сайын өрттердің саны, әдетте, азаяды, өйткені тік беткейлерде өсімдіктердің өсуіне қолайсыз жағдайлар қалыптасады және жанғыш материалдардың жиналуы төмендейді. Сонымен қатар, ауырлық күшінің әсерінен өсімдік қалдықтары беткейдің төменгі бөліктеріне қарай жылжиды. Ал жазық немесе аз еңісті аумақтарда биомассаның жиналуына қолайлы жағдай қалыптасады, бұл өрттердің тез таралуына ықпал етеді [27, 28].

Беткей экспозициясы микроклиматтық жағдайларға және өсімдік жамылғысының құрылымына айтарлықтай ықпал етеді. Өртүрлі бағыттағы беткейлерге түсетін күн радиациясының қарқындылығы әртүрлі температуралық және ылғалдық жағдайлардың қалыптасуына әкеледі. Бұл өз кезегінде жанғыш материалдардың ылғалдылығына және жергілікті жел режиміне әсер етеді. Оңтүстік және батыс бағыттағы беткейлер солтүстік және шығыс бағыттағы беткейлерге қарағанда күн радиациясын көбірек қабылдайды. Нәтижесінде бұл беткейлерде өсімдік жамылғысының дамуы қарқынды болып, биомасса көбірек жиналады және жанғыш материалдардың тез кебуі байқалады. Мұндай жағдайлар өрттердің пайда болу және таралу ықтималдығын арттырады [27].

2018...2022 жылдар аралығындағы орман өрттері бойынша статистикалық деректерді талдау негізінде беткей экспозициялары өрт қауіптілігінің бес класына жіктелді. Өрттердің ең көп саны оңтүстік және батыс бағыттағы беткейлерде тіркелген, одан кейін оңтүстік-батыс және оңтүстік-шығыс бағыттағы беткейлер орналасқан.

Шығыс, солтүстік-шығыс және солтүстік-батыс бағыттағы беткейлер өрт қауіптілігінің екінші және үшінші кластарына жатқызылды. Ал солтүстік бағыттағы беткейлерде өрттердің үлесі ең төмен болғандықтан, олар төмен өрт қауіптілігі санатына енгізілді.

Жер бедерінің тілімдену дәрежесі эрозиялық процестердің нәтижесінде қалыптасқан аумақтың сызықтық тілімдену қарқындылығын сипаттайды. Төбелі үстірттер бетінде өрттің таралуы жыралардың табанымен салыстырғанда жылдамырақ жүреді. Бұл орман жамылғысында жел жылдамдығының өзгеруімен және жер бедерін айналып өтуге байланысты аэродинамикалық әсерлермен түсіндіріледі. Жыралардан шыққан кезде өрттің таралуы жалын факелінің еңкею бұрышының ұлғаюына байланысты күшеюі мүмкін [27].

Геоморфологиялық факторлармен қатар табиғи өрт қауіптілігінің қалыптасуында метеорологиялық жағдайлар да маңызды рөл атқарады. Ауа температурасы, атмосфералық жауын-шашын мөлшері, салыстырмалы ауа ылғалдылығы және күн радиациясының деңгейі орман өрттерінің пайда болуы мен таралу қарқындылығына елеулі әсер етеді [30, 32].

Метеорологиялық факторларды талдау үшін «Қазгидромет» РМК метеостанцияларында жүргізілген бақылаулардың статистикалық деректері пайдаланылды [33]. Өрт қауіпті кезең ретінде сәуір–қыркүйек айлары қарастырылды. Негізгі көрсеткіштер ретінде ауа температурасы, жауын-шашын мөлшері және салыстырмалы ауа ылғалдылығының деректері алынды. Алынған мәліметтер ArcGIS 10.8 бағдарламалық ортасында Spatial Analyst модулінің көмегімен өңделіп, кеңістіктік интерполяция әдісі (Inverse Distance Weighting – IDW) арқылы талданды. Бұл әдіс жақын орналасқан нүктелердің әсері жоғары болатынын ескеруге мүмкіндік береді.

Ауа температурасы өрт қауіпті жағдайлардың қалыптасуына әсер ететін маңызды факторлардың бірі болып табылады. Температура жоғарылаған сайын өсімдік жамылғысы мен жанғыш материалдардың кебуі күшейеді, бұл өрттердің пайда болу ықтималдығын арттырады. Сонымен қатар орташа ауа температурасы мен вегетациялық кезеңнің ұзақтығы арасында тығыз байланыс байқалады. Көптеген өңірлерде өрт қауіпті кезең вегетациялық кезеңмен сәйкес келеді [5, 34].

Күн радиациясы орман төсенішінен ылғалдың булану процесінде маңызды рөл атқарады. Булану қарқындылығы сіңірілген күн энергиясының мөлшеріне және өсімдік жамылғысының ылғалдылық деңгейіне байланысты болады. Күн радиациясының жоғарылауы жанғыш материалдардың тез кебуіне және олардың тұтану ықтималдығының артуына әкеледі [35, 36].

Атмосфералық жауын-шашын мөлшерінің артуы, керісінше, өрттердің пайда болуын тежейтін фактор болып табылады. Жауын-шашынның көбеюі топырақ пен өсімдік жамылғысының ылғалдылығын арттырып, өрттің пайда болу ықтималдығын төмендетеді. Ал ауа температурасының жоғарылауы жағдайында жазғы жауын-шашын мөлшерінің азаюы ылғал тапшылығының күшеюіне және өрт қауіптілігінің артуына әкеледі [5, 37].

Ауа ылғалдылығының тапшылығы топырақ пен өсімдік жамылғысынан ылғалдың булануын күшейтеді, бұл жанғыш материалдардың тұтанғыштығын арттырады. Зерттеулер көрсеткендей, салыстырмалы ауа ылғалдылығы орман аймақтарының көпшілігінде мамыр айында (45...50 %) және қыркүйекте ең төмен мәндерге жетеді, бұл көктемгі және күзгі кезеңдерде өрттердің пайда болуына қолайлы жағдай туғызады.

Өрт қауіпті кезеңде топырақ бетінен булануды бағалау үшін физикалық-географиялық жағдайларды ескере отырып Н. Н. Иванов [38]. ұсынған жеткіліксіз ылғалдану жағдайындағы жиынтық булануды есептеу әдісі қолданылды. Бұл формула булану қарқындылығын температура мен ауа ылғалдылығы негізінде бағалауға мүмкіндік береді.

$$E_0 = 0,0018 \times (100 - f) \times (25 + t)^2 \times 0,8, \tag{5}$$

мұндағы:

$E_0$  – айлық буланғыштық мөлшері, мм;

$f$  – өрт қауіпті кезеңдегі ауаның орташа айлық салыстырмалы ылғалдылығы, %;

$t$  – өрт қауіпті кезеңдегі ауаның орташа айлық температурасы, °C.

Модель нәтижелері 2018...2022 жылдар аралығында тіркелген нақты өрт ошақтарының деректерімен салыстыру арқылы тексерілді. Верификация үшін жоғары және өте жоғары қауіптілік аймақтарына сәйкес келетін өрт ошақтарының үлесі есептелді.

Модельдің дәлдігі дәлдік коэффициенті (Accuracy) арқылы бағаланды [39]:

$$Accuracy = \frac{N_{correct}}{N_{total}}$$

мұндағы:

$N_{correct}$  – жоғары және өте жоғары қауіптілік аймақтарына сәйкес келген өрттер саны;

$N_{total}$  – талдауға алынған өрт ошақтарының жалпы саны.

Қостанай облысы аумағының табиғи өрт қауіптілігі деңгейін интегралды бағалау үшін 2-суретте көрсетілген алгоритм қолданылды.



**Сурет 2.** ArcGIS бағдарламалық қамтамасыз етуін қолдану арқылы табиғи өрт қауіптілігін интегралды бағалау алгоритмі

#### 4. НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Зерттелетін аумақтың өсімдік жамылғысы орман және дала өсімдік қауымдастықтарының үйлесуімен сипатталады. Негізгі орман түзуші түр – кәдімгі қарағай (*Pinus sylvestris*), ол таза қарағайлы ормандарды да, аралас ағашты екпелерді де қалыптастырады. Ілеспе ағаш және бұта түрлерінің ішінде қайың (*Betula*), көктерек (*Populus tremula*), талдың әртүрлі түрлері (*Salix*), үшқат (*Lonicera*), итмұрын (*Rosa*) және тобылғы (*Spiraea*) кең таралған. Өсімдік жамылғысының кеңістіктік таралуы жер бедері мен топырақ жамылғысының ерекшеліктерімен тығыз байланысты.

Қарағайлы ормандар негізінен ежелгі аллювиальды құмды шөгінділерде қалыптасып, ежелгі құмды дюналардың жоталарында және олардың беткейлерінің жоғарғы бөліктерінде орналасады. Қайың және көктерек екпелері көбінесе құмды жоталардың төменгі бөліктерінде таралған және жиі тұзды сор көлдердің жағалауларына жақын орналасады. Тал мен үшқаттан тұратын бұталы қауымдастықтар өзен аңғарлары мен көл жағалауларына тән. Итмұрын мен тобылғы көбінесе беткейлерде және жер бедерінің ойпаң учаскелерінде кездеседі. Ағаш кесілген аумақтар мен орман алаңқайларында селеу түрлері басым болатын дала фитоценоздары қалыптасады.

Аймақтың дала өсімдіктері қауырсынды селеу (*Stipa pennata*), Беккер бетегесі (*Festuca beckeri*), көгілдір тонконог (*Koeleria glauca*), сібірлік бидайық (*Agropyron sibiricum*) және жусанның (*Artemisia*) әртүрлі түрлерімен сипатталады. Аумақтың

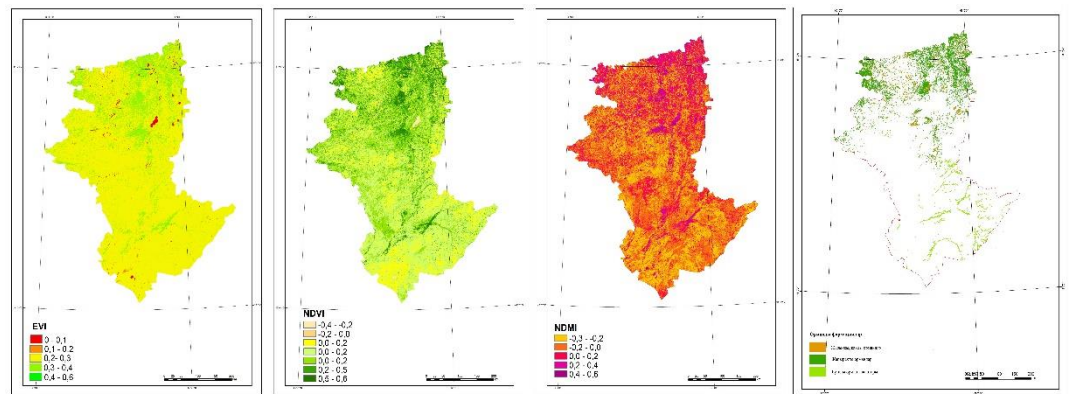
оңтүстік бөлігінде өсімдік жамылғысы негізінен астық тұқымдас–жусанды және жусанды–соранды қауымдастықтардан тұрады.

Зерттелетін аумақтың климаты ірі су айдындарынан алыс орналасуына байланысты шұғыл континенттік сипатқа ие. Аймаққа жазы ыстық әрі құрғақ, ал қысы суық және қар жамылғысы жұқа болатын климат тән. Жаз мезгіліндегі жоғары температура, ауаның төмен ылғалдылығы, құрғақ желдер мен шанды дауылдар ағаш-бұталы өсімдіктердің өсуі мен дамуына кері әсерін тигізеді. Сонымен қатар, аймақ күн радиациясының жоғары мөлшерімен және салыстырмалы түрде ұзақ аязсыз кезеңмен сипатталады, бұл қолайлы жылдары өсімдік жамылғысының дамуына мүмкіндік береді [40].

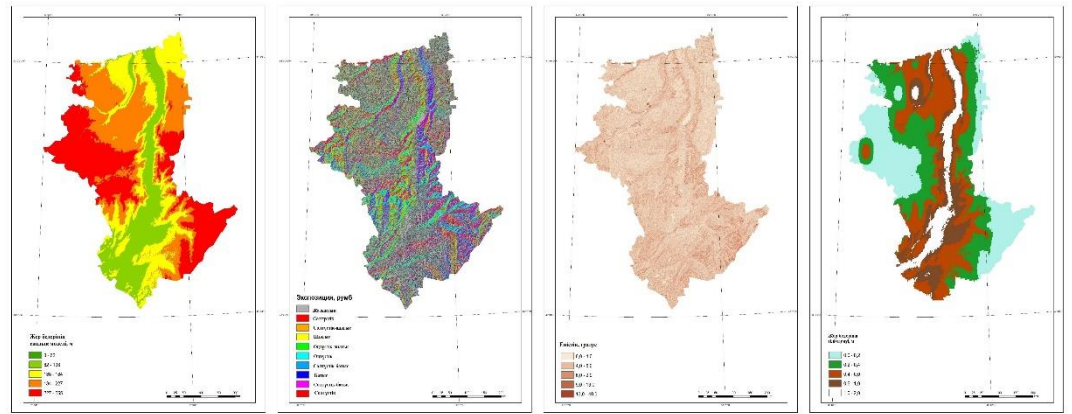
Қолайсыз климаттық факторларға құрғақшылық, күшті желдер, атмосфералық жауын-шашынның аз мөлшері, сондай-ақ көктемгі кеш және күзгі ерте үсіктер жатады. Ауа температурасының жоғары болуы, салыстырмалы ауа ылғалдылығының төмендігі және жел режимінің күшеюі атмосфералық құрғақшылықтың қалыптасуына және топырақтағы ылғал қорының азаюына әкеледі. Мұндай жағдайлар табиғи өрттердің пайда болу ықтималдығын едәуір арттырады. Ұқсас нәтижелер [5], [7], сондай-ақ [4] зерттеулерінде келтіріліп, температураның жоғарылауы мен құрғақшылықтың күшеюі өрт белсенділігінің артуының негізгі факторлары екендігі көрсетілген..

Зерттелетін аумақтың жер бедері аллювиальды және кейінгі эолдық процестердің әсерінен қалыптасқан. Оның құрылымында құмды жоталар, бұйратты көтерілімдер және олардың арасындағы ойпаң учаскелер кезектесіп орналасқан. Кейбір төмен орналасқан учаскелер көктем мезгілінде еріген қар суларының әсерінен уақытша су басатын шалғынды жазықтар сипатында болады. Мұндай жер бедері морфологиясы өсімдік жамылғысының таралуына және орман экожүйелерінің қалыптасу жағдайларына айтарлықтай әсер етеді.

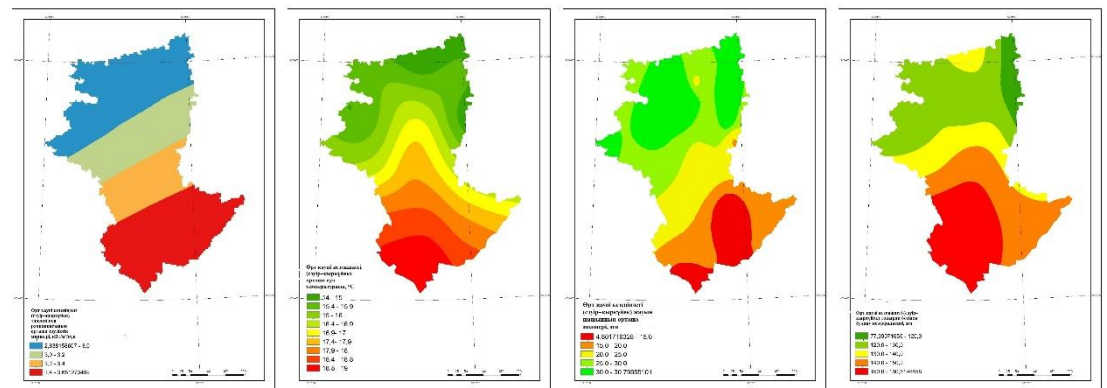
Спутниктік деректерді өңдеу және геоақпараттық талдау әдістерін қолдану негізінде Қостанай облысы аумағындағы табиғи өрт қауіптілігінің факторлық карталары жасалды (3-сурет). Негізгі факторлар ретінде аумақтың отындық, геоморфологиялық және метеорологиялық сипаттамалары қарастырылды.



Отындық факторлар



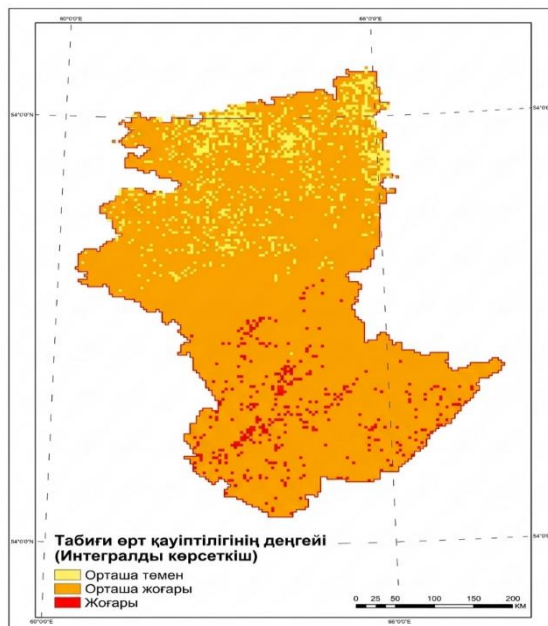
Геоморфологиялық факторлар



Метеорологиялық факторлар

Сурет 3. Қостанай облысының табиғи өрт қауіптілігінің факторлары

Аталған факторларды интегралды бағалау нәтижелері зерттелетін аумақтың едәуір бөлігі табиғи өрт қауіптілігінің орташа жоғары аймағына жататынын көрсетті (сурет 4).

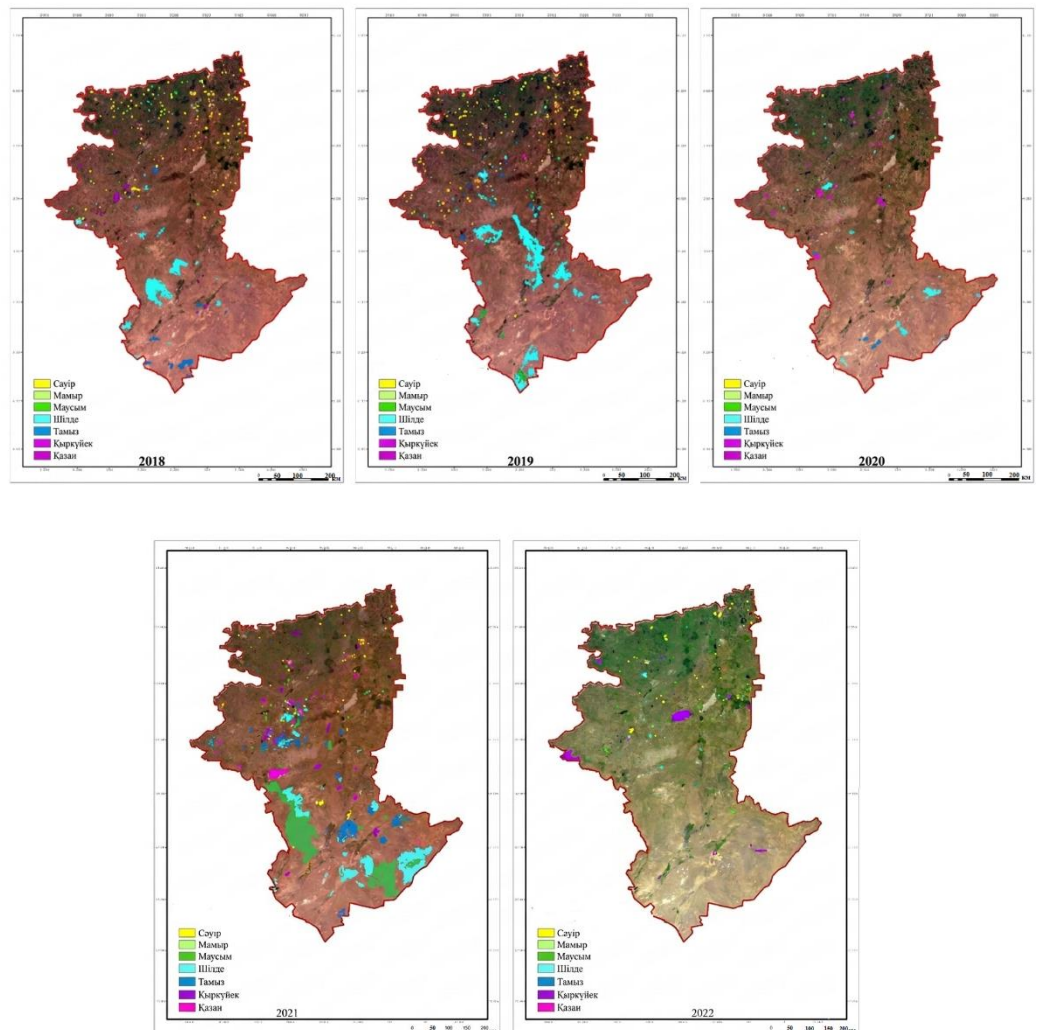


Сурет 4. Қостанай облысы аумағын табиғи өрт қауіптілігі деңгейі бойынша аймақтандыру

Өрт ошақтарының кеңістіктік таралуын талдау нәтижесінде өрттердің ең жоғары шоғырлануы ашық қылқанжапырақты және жапырақты орман формациялары таралған аумақтарда байқалатыны анықталды. Ал бұталы сирек ормандар салыстырмалы түрде төмен табиғи өрт қауіптілігімен сипатталады. Ұқсас заңдылықтар [8] жүргізген зерттеулерде де көрсетілген, онда өрт режимінің қалыптасуында өсімдік жамылғысының құрылымы мен жанғыш материалдардың жинақталуының шешуші рөл атқаратыны атап өтіледі.

Өрттердің пайда болу қаупінің ең жоғары деңгейі өзен аңғарларының аллювиальды жазықтарында және төменгі өзен террасаларында орналасқан орман алқаптарында байқалады. Бұл аумақтар құмды топырақтарда орналасқан аралдық қарағайлы ормандармен сипатталады. Аталған аумақтарға Торғай қолатының негізінен жазық рельефі тән, мұнда беткей еңістігі 0,5...5° аралығында өзгереді. Өрт қауіпті кезеңде тікелей күн радиациясының орташа тәуліктік мөлшері 3,23...3,65 кВт/м<sup>2</sup> құрайды, ал топырақ бетінен жиынтық булану мөлшері 118,8...160,6 мм-ге жетеді.

Статистикалық деректерді талдау соңғы жылдары орман өрттерінің жиілігі мен ауқымының арту үрдісін көрсетеді. Мәселен, 2018...2022 жылдар аралығында өңір аумағында жалпы ауданы 2 млн гектардан асатын өрттер тіркелген [41]. Өрттердің кеңістіктік таралуы 5-суретте көрсетілген.



Сурет 5. 2018...2022 жж. Қостанай облысы аумағында өрттердің таралуы

Нақты тіркелген өрттердің таралу картасын табиғи өрт қауіптілігі картасымен салыстыру нәтижелері өрт ошақтарының басым бөлігі орташа жоғары және жоғары тәуекел аймақтарының шегінде шоғырланғанын көрсетті.

Аймақтандыру нәтижелерін тексеру барысында тіркелген өрттердің 87 %-дан астамы дәл осы аймақтарға сәйкес келетіні анықталды, ал шамамен 13 %-ы өрт қауіптілігі салыстырмалы түрде төмен аумақтарға тиесілі. Бұл нәтижелер орман өрттерінің кеңістіктік таралуының қалыптасуында табиғи факторлардың маңызды рөл атқаратынын көрсетеді.

Аймақта 2022 жылы ірі орман өрттері тіркеліп, олардың ауқымы ондаған мың гектарды қамтыды. Бұл деректер NASA FIRMS спутниктік бақылау жүйесінің мәліметтерімен расталады [<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov>]. Өрттің кең ауқымда таралуына жаз мезгіліндегі ауа температурасының аномальды жоғары болуы және жауын-шашын мөлшерінің аздығы ықпал етті. Мұндай экстремалды құбылыстар қазіргі климаттық өзгерістер жағдайында жиілеп отырғаны [7], сондай-ақ [42] зерттеулерде де атап көрсетілген.

Далалық бақылаулар өрттен кейін қолайлы табиғи жағдайларда кәдімгі қарағайдың табиғи жаңару үрдісі байқалатынын көрсетті. 2023 жылдың жаз мезгілінің соңында мол жауын-шашыннан кейін кейбір учаскелерде жасы шамамен 20...30 күн болатын қарағай көшеттерінің жаппай пайда болуы тіркелді. Табиғи жаңарудың орташа тығыздығы 1 м<sup>2</sup> аумақта 1...2 көшетті құрайды. Бұл үрдіс әсіресе жер бедерінің ойпаң учаскелерінде және топырақ жамылғысы бұзылған аумақтарда анағұрлым қарқынды жүреді (сурет 6).



Сурет 6. Кәдімгі қарағайдың табиғи жаңаруы

Күйген топырақтарда, от орындарында және өртенген аумақтарда толқынды ризина саңырауқұлағы (*Rhizina undulata*) кездеседі. Ол 20...50 жастағы қылқанжапырақты ағаштардың тамырын зақымдап, көшеттер үшін қолайсыз фактор болып табылады. Негізінен қылқанжапырақты түрлер зардап шегеді, ал жапырақты ағаштардың тамырлары зақымданбайды (сурет 7).



**Сурет 7.** Толқынды ризина саңырауқұлағы (*Rhizina undulata*).

Алынған нәтижелер Жерді қашықтан зондтау деректерін пайдалану негізінде өрт қауіптілігін бағалауға арналған шетелдік зерттеулердің қорытындыларымен сәйкес келеді. Атап айтқанда, [9] мен [12] жұмыстарда жүргізген зерттеулерде өсімдік жамылғысының спектралдық индекстері мен климаттық көрсеткіштер табиғи өрт қауіптілігінің маңызды индикаторлары болып табылатыны көрсетілген. Сонымен қатар, қазіргі зерттеулерде спутниктік деректерді машиналық оқыту әдістерімен біріктіріп пайдалану орман өрттерінің пайда болуын болжауда жоғары тиімділік көрсететіні атап өтіледі [10...12].

Осылайша, жүргізілген зерттеу Жерді қашықтан зондтау деректері мен геоақпараттық технологияларды пайдалана отырып отындық, геоморфологиялық және метеорологиялық факторларды кешенді талдау табиғи өрт қауіптілігін тиімді бағалауға мүмкіндік беретінін көрсетті. Сонымен қатар, алынған нәтижелер орман өрттерінің пайда болу қаупі деңгейіне сәйкес аумақты аймақтандыруды жүзеге асыруға және өрт қауіпті аумақтарды анықтауға мүмкіндік береді.

#### **4. ҚОРЫТЫНДЫ**

Жүргізілген зерттеу нәтижесінде Жерді қашықтан зондтау (ЖКЗ) деректері мен геоақпараттық технологияларды пайдалану негізінде Қостанай облысының орман аумақтарының табиғи өрт қауіптілігін бағалау әдістемесі әзірленді. Зерттеу барысында орман өрттерінің пайда болуы мен таралуына әсер ететін негізгі табиғи факторлар анықталып, жүйелендірілді. Негізгі факторлар ретінде отындық, геоморфологиялық және метеорологиялық көрсеткіштер қарастырылды.

Өсімдік жамылғысының спектралдық индекстерін (NDVI, NDMI, EVI), жер бедері параметрлерін және климаттық көрсеткіштерді талдау негізінде табиғи факторларды бағалау шкаласы қалыптастырылып, олардың салыстырмалы маңыздылығын сипаттайтын салмақтық коэффициенттер анықталды. Зерттеу барысында өңір аумағында өрт қауіпті жағдайлардың қалыптасуына әсер ететін табиғи өрт қауіптілігінің 12 негізгі факторы анықталып, олардың кеңістіктік таралуы картографиялық түрде бейнеленді.

Жүргізілген интегралды бағалау Қостанай облысы аумағын табиғи өрт қауіптілігі деңгейі бойынша аймақтандыруға мүмкіндік берді. Нәтижелер зерттелетін аумақтың едәуір бөлігі табиғи өрт қауіптілігінің орташа жоғары аймағына жататынын көрсетті. Орман өрттерінің пайда болу қаупінің ең жоғары деңгейі өзен аңғарларының аллювиальды жазықтарында, төменгі өзен террасаларында және беткейлік-аңғарлық жер бедері формаларында орналасқан орман алқаптарына тән. Бұл аумақтар құмды топырақтарда қалыптасқан қарағайлы ормандармен сипатталады және жазық рельеф,

жоғары күн радиациясы, буланудың жоғары қарқындылығы мен жанғыш өсімдік биомассасының мол жиналуы сияқты табиғи жағдайлардың үйлесуімен ерекшеленеді.

Аймақтандыру нәтижелерін 2018...2022 жылдар аралығында тіркелген орман өрттері туралы нақты деректермен салыстыру әзірленген модельдің өрт ошақтарының нақты таралуымен жоғары деңгейде сәйкес келетінін көрсетті. Жүргізілген верификация нәтижесінде тіркелген өрттердің шамамен 87 %-ы табиғи өрт қауіптілігінің орташа жоғары және жоғары деңгейлі аймақтарында орын алғаны анықталды.

Сонымен қатар, зерттеу барысында орман өрттерінен кейін қарағайлы ормандардың табиғи жаңаруын шектейтін бірқатар факторлар анықталды. Оларға орман төсенішінің және топырақ жамылғысының терең жануы, өртенген аумақтарын игеру кезінде орман шаруашылығы техникасының механикалық әсері, сондай-ақ қылқанжапырақты ағаштардың тамыр жүйесін зақымдайтын *Rhizina undulata* саңырауқұлағының таралуы жатады.

Жалпы алғанда, алынған нәтижелер Қостанай облысы аумағы табиғи өрт қауіптілігінің жоғары деңгейімен сипатталатынын көрсетеді. Ұсынылған әдістемелік тәсіл орман экожүйелерін мониторингтеу, өрттердің пайда болу қаупін болжау және климаттық өзгерістер жағдайында орман өрттерінің алдын алу мен оларды басқарудың тиімді шараларын әзірлеу барысында қолданылуы мүмкін.

#### ДЕРЕКТЕРДІҢ ҚОЛ ЖЕТІМДІЛІГІ

Осы зерттеуде пайдаланылған деректерді автор ашық дереккөздерден алды.

#### ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Goldammer J.G. (ed.). *Vegetation Fires and Global Change: Challenges for Concerted International Action*. – Remagen-Oberwinter: Kessel Publishing House, 2013. – 398 p.
2. van der Werf G.R., Randerson J.T., Giglio L., Collatz G.J., Mu M., Kasibhatla P.S., Morton D.C., DeFries R.S., Jin Y., van Leeuwen T.T. Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires // *Atmospheric Chemistry and Physics*. – 2010. – Vol. 10. – P. 11707–11735. DOI: <https://doi.org/10.5194/acp-10-11707-2010>
3. Bowman D.M.J.S., Balch J.K., Artaxo P., Bond W.J., Carlson J.M., Cochrane M.A., D’Antonio C.M., DeFries R.S., Doyle J.C., Harrison S.P., Johnston F.H., Keeley J.E., Krawchuk M.A., Kull C.A., Marston J.B., Moritz M.A., Prentice I.C., Roos C.I., Scott A.C., Swetnam T.W., van der Werf G.R., Pyne S.J. Fire in the Earth system // *Science*. – 2009. – Vol. 324. – P. 481–484. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1163886>
4. Jolly W.M., Cochrane M.A., Freeborn P.H., Holden Z.A., Brown T.J., Williamson G.J., Bowman D.M.J.S. Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013 // *Nature Communications*. – 2015. – Vol. 6. – Article 7537. DOI: <https://doi.org/10.1038/ncomms8537>
5. Abatzoglou J.T., Williams A.P. Impact of anthropogenic climate change on wildfire across western US forests // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2016. – Vol. 113. – No. 42. – P. 11770–11775. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1607171113>
6. Morton D.C., DeFries R.S., Shimabukuro Y.E., Anderson L.O., Arai E., Espirito-Santo F.D.B., Freitas R., Morissette J. Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2006. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0606377103>
7. Jones M.W., Abatzoglou J.T., Veraverbeke S., Andela N., Lasslop G., Forkel M., Smith A.J.P., Burton C., Betts R.A., van der Werf G.R., Sitch S., Canadell J.G., Santín C., Kolden C., Doerr S.H., Le Quéré C. Global and regional trends and drivers of fire under climate change // *Reviews of Geophysics*. – 2022. – Vol. 60. – Article e2020RG000726. DOI: <https://doi.org/10.1029/2020RG000726>
8. Pausas J.G., Keeley J.E. Wildfires as an ecosystem service // *Frontiers in Ecology and the Environment*. – 2019. – Vol. 17. – No. 5. – P. 289–295. DOI: <https://doi.org/10.1002/fee.2044>
9. Chuvieco E., Salas J., Aguado I., Yebra M., Nieto H., Martín M.P., Vilar L., Martínez J., Martín S., Ibarra P., de la Riva J., Baeza J., Rodriguez F., Molina J.R., Herrera M.A., Zamora R. Towards an integrated approach to wildfire risk assessment // *Fire*. – 2023. – Vol. 6. – No. 5. – Article 215. DOI: <https://doi.org/10.3390/fire6050215>
10. Chepashev A. et al. Mapping fire hazard potential in Kazakhstan using remote sensing and machine learning // *International Journal of Wildland Fire*. – 2024. DOI: <https://doi.org/10.1071/WF24232>
11. Babu K.V.S. et al. Burned area mapping and wildfire analysis in Kazakhstan using satellite data // *Frontiers in Forests and Global Change*. – 2024. DOI: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2024.1296100>
12. Zhang Y., Xiao X., Jin C., Dong J., Zhou Y., Wagle P., Joiner J., Zhang Y., Qin Y., Wang J., Moore B. Spatiotemporal variation of burned area in Central Asia // *Remote Sensing*. – 2021. – Vol. 13. – No. 2. – Article 313. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13020313>

13. Шогелова Н., Сартин С.А. Оценка ущерба и восстановление экосистемы резервата «Семей орманы» после катастрофического пожара 2023 года на основе дистанционного зондирования // *Гидрометеорология и экология*. – 2025. DOI: <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2025-118-3-141-151>
14. Arkhipov V., Moukanov M., Khaidarov K., Goldammer J.G. Overview on forest fires in Kazakhstan // *International Forest Fire News*. – 2000. – No. 22. – P. 40–48. URL: [https://www.researchgate.net/publication/44159706\\_Overview\\_on\\_forest\\_fires\\_in\\_Kazakhstan](https://www.researchgate.net/publication/44159706_Overview_on_forest_fires_in_Kazakhstan)
15. Tussupova K., Berndtsson R., Sharapatova K., Aryngazin K., Zhanasova M. Assessment of wildfire hazard on the territory of Kazakhstan // *Bulletin of Geography. Physical Geography Series*. – 2015. – No. 8. – P. 55–66. URL: <https://bulletin-geography.kaznu.kz/index.php/1-geo/article/view/1140>
16. United States Geological Survey (USGS). Earth Explorer – Landsat Data Access System. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/>
17. Roy D.P., Wulder M.A., Loveland T.R., et al. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research // *Remote Sensing of Environment*. – 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.001>
18. Malczewski J. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature // *International Journal of Geographical Information Science*. – 2006. – Vol. 20. – No. 7. – P. 703–726. DOI: <https://doi.org/10.1080/13658810600661508>
19. Saaty T.L. Decision making with the analytic hierarchy process // *International Journal of Services Sciences*. – 2008. – Vol. 1. – No. 1. – P. 83–98. DOI: <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
20. Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS // NASA. – 1974. URL: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19740022614>
21. Gao B.C. NDWI – A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space // *Remote Sensing of Environment*. – 1996. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
22. 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*. – 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2)
23. Allison, R.S., Johnston, J.M., Craig, G., Jennings, S. Airborne optical and thermal remote sensing for wildfire detection and monitoring // *Sensors*. – 2016. – Vol. 16. – No. 8. – 1310. <https://doi.org/10.3390/s16081310>
24. Huete, A.R., Liu, H.Q., Batchily, K., van Leeuwen, W. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS // *Remote Sensing of Environment*. – 1997. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00112-5)
25. Dillon, G.K., Holden, Z.A., Morgan, P., Crimmins, M.A., Heyerdahl, E.K., Luce, C.H. Both topography and climate affected forest and woodland burn severity in two regions of the western US, 1984–2006 // *Ecosphere*. – 2011. – Vol. 2. – No. 12. – Article 130. DOI: <https://doi.org/10.1890/ES11-00271.1>
26. Holden Z.A., Morgan P., Evans J.S., Hudak A.T. A predictive model of burn severity based on 20-year satellite-inferred burn severity data in a large southwestern US wilderness area // *Forest Ecology and Management*. – 2009. – Vol. 258. – No. 11. – P. 2399–2406. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.08.017>
27. Постнов А.Д., Масленников Д.А., Катаева Л.Ю., Лошилов С.А. Влияние эффектов обтекания на динамику природного пожара в условиях неоднородности рельефа // *Современные проблемы науки и образования*. – 2013. – № 6. URL: <https://science-education.ru/article/view?id=10817>
28. Finney M.A. FARSITE: Fire Area Simulator – model development and evaluation // *Research Paper RMRS-RP-4*. – Ogden, UT: U.S. Forest Service, 1998. DOI: <https://doi.org/10.2737/RMRS-RP-4>
29. Yebra M., Dennison P.E., Chuvieco E., Riaño D., Zylstra P., Hunt E.R., Danson F.M., Qi Y., Jurdao S. A global review of remote sensing of live fuel moisture content for fire danger assessment: Moving towards operational products // *Remote Sensing of Environment*. – 2013. – Vol. 136. – P. 455–468. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.05.029>
30. Parks S.A., Dillon G.K., Miller C. A new metric for quantifying burn severity: the relativized burn ratio // *Remote Sensing*. – 2014. – Vol. 6. – No. 3. – P. 1827–1844. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs6031827>
31. 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*. – 2018. – Vol. 13. – Article 044037. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aab791>
32. Kane V.R., Cansler C.A., Povak N.A., Kane J.T., McGaughey R.J., Lutz J.A., Churchill D.J., North M.P. Mixed severity fire effects within the Rim Fire: relative importance of local climate, fire weather, topography and forest structure // *Forest Ecology and Management*. – 2015. – Vol. 358. – P. 62–71. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.09.001>
33. Официальный сайт РГП «Казгидромет». – URL: <https://www.kazhydromet.kz> (дата обращения: 20.11.2024).
34. Flannigan M.G., Stocks B.J., Wotton B.M. Climate change and forest fires // *Science of the Total Environment*. – 2000. – Vol. 262. – P. 221–229. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00524-6](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00524-6)
35. Flannigan M.D., Stocks B.J., Turetsky M.R., Wotton B.M. Impacts of climate change on fire activity and fire management in the circumboreal forest // *Global Change Biology*. – 2009. – Vol. 15. – No. 3. – P. 549–560. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01660.x>
36. Wotton M.D., Martell D.L. A lightning fire occurrence model for Ontario // *Canadian Journal of Forest Research*. – 2005. – Vol. 35. – P. 1389–1401. DOI: <https://doi.org/10.1139/x05-071>
37. Schoennagel T., Veblen T.T., Romme W.H. The interaction of fire, fuels, and climate across Rocky Mountain forests // *BioScience*. – 2004. – Vol. 54. – No. 7. – P. 661–676. DOI: [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0661:TIOFFA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0661:TIOFFA]2.0.CO;2)

38. Иванов Б.Г. «Испарение в естественных условиях». — Л.: Гидрометеиздат, 1954.
39. Stehman S.V. Selecting and interpreting measures of thematic classification accuracy // *Remote Sensing of Environment*. – 1997. – Vol. 62. – P. 77–89. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(97\)00083-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(97)00083-7)
40. Turyuzhanova A.T., Nurmagambetova A.M. Comprehensive socio-economic analysis of the Kostanay region // *Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University. Chemistry. Geography. Ecology Series*. – 2021. – № 3(136). – P. 63–72.
41. Fire Information for Resource Management System (FIRMS). – URL: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/> (дата обращения: 20.04.2024).
42. Veraverbeke S., Rogers B.M., Goulden M.L., Jandt R.R., Miller C.E., Wiggins E.B., Randerson J.T. Lightning as a major driver of recent large fire years in North American boreal forests // *Nature Climate Change*. – 2017. – Vol. 7. – P. 529–534. DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate3329>

## REFERENCES

1. Goldammer J.G. (ed.). (2013) *Vegetation Fires and Global Change: Challenges for Concerted International Action*. – Remagen-Oberwinter: Kessel Publishing House, 398 .
2. van der Werf G.R., Randerson J.T., Giglio L., Collatz G.J., Mu M., Kasibhatla P.S., Morton D.C., DeFries R.S., Jin Y., van Leeuwen T.T. (2010). Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 10. 11707–11735. DOI: <https://doi.org/10.5194/acp-10-11707-2010>
3. Bowman D.M.J.S., Balch J.K., Artaxo P., Bond W.J., Carlson J.M., Cochrane M.A., D’Antonio C.M., DeFries R.S., Doyle J.C., Harrison S.P., Johnston F.H., Keeley J.E., Krawchuk M.A., Kull C.A., Marston J.B., Moritz M.A., Prentice I.C., Roos C.I., Scott A.C., Swetnam T.W., van der Werf G.R., Pyne S.J. Fire in the Earth system (2009). *Science*. 324. 481–484. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1163886>
4. Jolly W.M., Cochrane M.A., Freeborn P.H., Holden Z.A., Brown T.J., Williamson G.J., Bowman D.M.J.S. (2015) Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013(2022). *Nature Communications*. 6. – Article 7537. DOI: <https://doi.org/10.1038/ncomms8537>
5. Abatzoglou J.T., Williams A.P. (2016) .Impact of anthropogenic climate change on wildfire across western US forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 113.42.11770–11775. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1607171113>
6. Morton D.C., DeFries R.S., Shimabukuro Y.E., Anderson L.O., Arai E., Espirito-Santo F.D.B., Freitas R., (2006). Morisette J. Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon . *Proceedings of the National Academy of Sciences*. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0606377103>
7. Jones M.W., Abatzoglou J.T., Veraverbeke S., Andela N., Lasslop G., Forkel M., Smith A.J.P., Burton C., Betts R.A., van der Werf G.R., Sitch S., Canadell J.G., Santin C., Kolden C., Doerr S.H., (2022). Le Quéré C. Global and regional trends and drivers of fire under climate change. *Reviews of Geophysics*. 60. Article e2020RG000726. DOI: <https://doi.org/10.1029/2020RG000726>
8. Pausas J.G., Keeley J.E. (2019). Wildfires as an ecosystem service. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 17 (5). 289–295. DOI: <https://doi.org/10.1002/fee.2044>
9. Chuvieco E., Salas J., Aguado I., Yebra M., Nieto H., Martín M.P., Vilar L., Martínez J., Martín S., Ibarra P., de la Riva J., Baeza J., Rodríguez F., Molina J.R., Herrera M.A., Zamora R. (2023). Towards an integrated approach to wildfire risk assessment. *Fire*. 6 (5). – Article 215. DOI: <https://doi.org/10.3390/fire6050215>
10. Chepashev A. et al. (2024) .Mapping fire hazard potential in Kazakhstan using remote sensing and machine learning. *International Journal of Wildland Fire*. DOI: <https://doi.org/10.1071/WF24232>
11. Babu K.V.S. et al. (2024). Burned area mapping and wildfire analysis in Kazakhstan using satellite data. *Frontiers in Forests and Global Change*. DOI: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2024.1296100>
12. Zhang Y., Xiao X., Jin C., Dong J., Zhou Y., Wagle P., Joiner J., Zhang Y., Qin Y., Wang J., Moore B. (2021). Spatiotemporal variation of burned area in Central Asia. *Remote Sensing*. 13(2). Article 313. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13020313>
13. Shogelova N., Sartin S.A. (2025) Otsenka ushcherba i vosstanovlenie ekosistemy rezervata «Semei ormany» posle katastroficheskogo pozhara 2023 goda na osnove distantsionnogo zondirovaniya. *Gidrometeorologiya i ekologiya*. DOI: <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2025-118-3-141-151>
14. Arkhipov, V., Moukanov, M., Khaidarov, K., & Goldammer, J. G. (2000). Overview on forest fires in Kazakhstan. *International Forest Fire News*, 22, 40–48. [https://www.researchgate.net/publication/44159706\\_Overview\\_on\\_forest\\_fires\\_in\\_Kazakhstan](https://www.researchgate.net/publication/44159706_Overview_on_forest_fires_in_Kazakhstan)
15. Tussupova, K., Berndtsson, R., Sharapatova, K., Aryngazin, K., & Zhanasova, M. (2015). Assessment of wildfire hazard on the territory of Kazakhstan. *Bulletin of Geography. Physical Geography Series*, 8, 55–66. <https://bulletin-geography.kaznu.kz/index.php/1-geo/article/view/1140>
16. United States Geological Survey (USGS). Earth Explorer – Landsat Data Access System. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/>
17. Roy, D. P., Wulder, M. A., Loveland, T. R., et al. (2014). Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sensing of Environment*, 145, 154–172. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.001>
18. Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: A survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(7), 703–726. <https://doi.org/10.1080/13658810600661508>

19. Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83–98. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
20. Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS*. NASA. <https://ntrs.nasa.gov/citations/19740022614>
21. Gao, B. C. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 257–266. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
22. Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83(1–2), 195–213. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2)
23. Allison, R. S., Johnston, J. M., Craig, G., & Jennings, S. (2016). Airborne optical and thermal remote sensing for wildfire detection and monitoring. *Sensors*, 16(8), Article 1310. <https://doi.org/10.3390/s16081310>
24. Huete, A. R., Liu, H. Q., Batchily, K., & van Leeuwen, W. (1997). A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 59(3), 440–451. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00112-5)
25. Dillon, G. K., Holden, Z. A., Morgan, P., Crimmins, M. A., Heyerdahl, E. K., & Luce, C. H. (2011). Both topography and climate affected forest and woodland burn severity in two regions of the western United States, 1984–2006. *Ecosphere*, 2(12), Article 130. <https://doi.org/10.1890/ES11-00271.1>
26. Holden, Z. A., Morgan, P., Evans, J. S., & Hudak, A. T. (2009). A predictive model of burn severity based on 20-year satellite-inferred burn severity data in a large southwestern United States wilderness area. *Forest Ecology and Management*, 258(11), 2399–2406. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.08.017>
27. Postnov, A. D., Maslennikov, D. A., Kataeva, L. Yu., & Loshchilov, S. A. (2013). Vliyaniye effektivov obtekaniya na dinamiku prirodnogo pozhara v usloviyakh neodnorodnosti rel'efa. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*, (6). <https://science-education.ru/article/view?id=10817>
28. Finney, M. A. (1998). *FARSITE: Fire area simulator—Model development and evaluation* (Research Paper RMRS-RP-4). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. <https://doi.org/10.2737/RMRS-RP-4>
29. Yebra, M., Dennison, P. E., Chuvieco, E., Riaño, D., Zylstra, P., Hunt, E. R., Danson, F. M., Qi, Y., & Jurdao, S. (2013). A global review of remote sensing of live fuel moisture content for fire danger assessment: Moving towards operational products. *Remote Sensing of Environment*, 136, 455–468. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.05.029>
30. Parks, S. A., Dillon, G. K., & Miller, C. (2014). A new metric for quantifying burn severity: The relativized burn ratio. *Remote Sensing*, 6(3), 1827–1844. <https://doi.org/10.3390/rs6031827>
31. Parks, S. A., Holsinger, L. M., Panunto, M. H., Jolly, W. M., Dobrowski, S. Z., & Dillon, G. K. (2018). High-severity fire: Evaluating its key drivers and mapping its probability across western U.S. forests. *Environmental Research Letters*, 13(4), Article 044037. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aab791>
32. Kane, V. R., Cansler, C. A., Povak, N. A., Kane, J. T., McGaughey, R. J., Lutz, J. A., Churchill, D. J., & North, M. P. (2015). Mixed severity fire effects within the Rim Fire: Relative importance of local climate, fire weather, topography and forest structure. *Forest Ecology and Management*, 358, 62–71. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.09.001>
33. Ofitsial'nyi sait RGP «Kazgidromet». – URL: <https://www.kazhydromet.kz> (data obrashcheniya: 20.11.2024).
34. Flannigan, M. G., Stocks, B. J., & Wotton, B. M. (2000). Climate change and forest fires. *Science of the Total Environment*, 262(3), 221–229. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00524-6](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00524-6)
35. Flannigan, M. D., Stocks, B. J., Turetsky, M. R., & Wotton, B. M. (2009). Impacts of climate change on fire activity and fire management in the circumboreal forest. *Global Change Biology*, 15(3), 549–560. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01660.x>
36. Wotton, M. D., & Martell, D. L. (2005). A lightning fire occurrence model for Ontario. *Canadian Journal of Forest Research*, 35(6), 1389–1401. <https://doi.org/10.1139/x05-071>
37. Schoennagel, T., Veblen, T. T., & Romme, W. H. (2004). The interaction of fire, fuels, and climate across Rocky Mountain forests. *BioScience*, 54(7), 661–676. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0661:TIOFFA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0661:TIOFFA]2.0.CO;2)
38. Ivanov, B. G. (1954). *Isparenie v estestvennykh usloviyakh* [Evaporation under natural conditions]. Gidrometeoizdat.
39. Stehman, S. V. (1997). Selecting and interpreting measures of thematic classification accuracy. *Remote Sensing of Environment*, 62(1), 77–89. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(97\)00083-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(97)00083-7)
40. Turyuzhanova, A. T., & Nurmagambetova, A. M. (2021). Comprehensive socio-economic analysis of the Kostanay region. *Bulletin of L. N. Gumilyov Eurasian National University. Chemistry. Geography. Ecology Series*, 136(3), 63–72.
41. Fire Information for Resource Management System (FIRMS). – URL: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/> (data obrashcheniya: 20.04.2024).
42. Veraverbeke, S., Rogers, B. M., Goulden, M. L., Jandt, R. R., Miller, C. E., Wiggins, E. B., & Randerson, J. T. (2017). Lightning as a major driver of recent large fire years in North American boreal forests. *Nature Climate Change*, 7(7), 529–534. <https://doi.org/10.1038/nclimate3329>

# ПРИРОДНЫЕ ФАКТОРЫ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ЛЕСОВ КОСТАНАЙСКОЙ ОБЛАСТИ И ИХ ОЦЕНКА

Жанар О. Озгелдинова\*, PhD

ЕНУ имени Л. Гумилева, Астана, Казахстан; [ozgeldinova@mail.ru](mailto:ozgeldinova@mail.ru) (ЖОО)

\*Автор корреспонденции: Жанар О. Озгелдинова, [ozgeldinova@mail.ru](mailto:ozgeldinova@mail.ru)

---

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

лесные пожары, лес, природная пожарная опасность, дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ), географические информационные системы (ГИС), Костанайская область

### По статье:

Получено: 11.03.2026

Пересмотрено: 10.05.2026

Принято: 02.06.2026

Опубликовано: 01.07.2026

---

## АБСТРАКТ

Лесные пожары являются одним из наиболее опасных природных явлений, частота и интенсивность которых увеличиваются в условиях климатических изменений. В Казахстане вопросы комплексной пространственной оценки природной пожарной опасности остаются недостаточно изученными.

В данном исследовании предложена многофакторная интегральная модель оценки природной пожарной опасности территории Костанайской области на основе данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и геоинформационных технологий. В модель включены спектральные индексы растительности (NDVI, NDMI, EVI), параметры рельефа и метеорологические показатели. Все факторы нормализованы, а их весовые коэффициенты определены методом экспертной оценки. Пространственный анализ выполнен в программной среде ArcGIS.

В результате территория Костанайской области зонирована по уровням природной пожарной опасности. Установлено, что значительная часть региона относится к зонам среднего высокого и высокого риска. Наибольшая концентрация пожаров наблюдается в аллювиальных равнинах и районах распространения сосновых лесов. Результаты верификации показали, что более 80 % зарегистрированных пожаров приходится на зоны высокого и очень высокого уровня опасности.

Полученные результаты могут быть использованы для оценки риска возникновения лесных пожаров, выявления наиболее опасных территорий, а также для совершенствования систем мониторинга и управления пожарами.

---

# NATURAL FACTORS OF FOREST FIRE HAZARD IN THE KOSTANAY REGION AND THEIR ASSESSMENT

Zhanar Ozgeldinova\*, PhD

L.N Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; [ozgeldinova@mail.ru](mailto:ozgeldinova@mail.ru)

\*Corresponding author: Zhanar Ozgeldinova, [ozgeldinova@mail.ru](mailto:ozgeldinova@mail.ru)

---

## KEY WORDS

Forest fires, forest, natural fire hazard, remote sensing (RS), geographic information systems (GIS), Kostanay region

### About article:

Received: 11.03.2026

Revised: 10.05.2026

Accepted: 02.06.2026

Published: 01.07.2026

---

## ABSTRACT

Forest fires are among the most hazardous natural phenomena, with their frequency and intensity increasing under current climate change conditions. In Kazakhstan, comprehensive spatial assessment of natural fire hazard remains insufficiently studied. This study proposes a multi-factor integrated model for assessing natural fire hazard in the Kostanay region based on remote sensing (RS) data and geographic information system (GIS) technologies. The model incorporates vegetation spectral indices (NDVI, NDMI, EVI), topographic parameters, and meteorological variables. All factors were normalized, and their weights were determined using an expert-based approach. Spatial analysis was performed in the ArcGIS environment.

The results allowed for zoning the territory of the Kostanay region according to levels of natural fire hazard. It was found that a significant portion of the area falls within moderate-high and high-risk zones. The highest concentration of fire occurrences was observed in alluvial plains and areas dominated by pine forests. Verification results

showed that more than 80 % of recorded fires are located within high and very high hazard zones.

The findings can be used for wildfire risk assessment, identification of high-risk areas, and improvement of fire monitoring and management systems.

---

**Баспагердің ескертпесі:** барлық жарияланымдардағы мәлімдемелер, пікірлер мен деректер «Гидрометеорология и экология» журналына және/немесе редакторға(ларға) емес, тек авторға(ларға) тиесілі.