







Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің Ғылым жаршысы: пәнаралық = Вестник науки Казахского агротехнического исследовательского университета имени Сакена Сейфуллина: междисциплинарный. – Астана: С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 2025. -№ 1 (124). - Р. 159-171. - ISSN 2710-3757, ISSN 2079-939X

doi.org/ 10.51452/kazatu.2025.1(124).1863

ӘОЖ 630\*181.351

Зерттеу мақаласы

## ГАЗ және аэроғарыштық әдістер негізінде қарағайлы орман жамылғысының өзгерісін NDVI және FCD көрсеткіштерімен бағалау

Сагынбаева А.Б.<sup>1</sup> , Мамбетов Б.Т.<sup>1</sup> , Утебекова А.Д.<sup>1</sup> , Адилбаева Ж.Б.<sup>1</sup> ,  
Адалқан О.<sup>2</sup> , Тұрлыбеков Қ.М.<sup>3</sup> 

<sup>1</sup>Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан,

<sup>2</sup>Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Семей, Қазақстан,

<sup>3</sup>«Республикалық орман селекциялық тұқым өсіру орталығы» РМҚК Семей құрылымдық бөлімшесі, Семей, Қазақстан

**Корреспондент-автор:** Сагынбаева А.Б.: ainur\_bagdatova@mail.ru

**Бірлескен авторлар:** (1: БМ) mambetovbulkair@yandex.ru; (2: УА) arunia190482@mail.ru;  
(3: ЖА) zhanera78@mail.ru; (4: ОА) oral.adalkan@mail.ru; (5: КТ) karchi9494@gmail.com

**Қабылданған күні:** 07-02-2025 **Қабылданды:** 18-03-2025 **Жарияланды:** 31-03-2025

### Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Бұл мақалада қарағайлы орман жамылғысының өзгерісі NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) және FCD (Forest Canopy Density) индекстерін қолдану арқылы сандық бағаланды. Орман экожүйелеріне климаттық өзгерістер мен антропогендік факторлардың әсері талданып, орман жамылғысының өзгерісін сандық бағалау үшін аэроғарыштық әдістердің тиімділігі қарастырылады. Зерттеудің негізгі мақсаты – 2008 және 2023 жылдар аралығында қарағайлы орман жамылғысының өзгерісін NDVI және FCD индекстері негізінде салыстырмалы түрде бағалау. Сонымен қатар, екі әдістің нәтижелерін салыстыру арқылы олардың дәлдігін анықтау және орманның деградациясы мен қалпына келу үрдістерін сипаттау көзделген.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу барысында Landsat 5 TM және Landsat 9 OLI спутниктік деректері пайдаланылды. Географиялық ақпараттық жүйелер (ГАЗ) платформалары ретінде Google Earth Engine (GEE) және ArcGIS қолданылды. Деректерді алдын ала өңдеу кезеңдері атмосфералық түзету, бұлттардан тазарту, радиометриялық және геометриялық түзету қадамдарынан тұрды. Орман жамылғысын бағалау үшін FCD мен NDVI әдісі пайдаланылды.

Нәтижелер. Зерттеу жұмысының нәтижесі бойынша, Семей орманы аумағында 2008-2023 жылдар аралығында орман жамылғысының айтарлықтай қалпына келгені анықталды. NDVI әдісі бойынша ормансыз аумақтар 25,5%, сирек ормандар 11,7% қысқарса, қалың ормандар 37,2% артты. FCD әдісі бойынша ормансыз аумақтар 22,2%, сирек ормандар 10,7% төмендеп, қалың ормандар 32,8% артқаны байқалды. Екі әдіс те орман жамылғысының оң динамикасын көрсетті, алайда NDVI әдісі орман жамылғысының өзгерісін FCD әдісіне қарағанда жоғары мәндермен бағалайтыны анықталды.

Қорытынды. Зерттеу нәтижелері «Семей орманы» мемлекеттік табиғи резерваты аумағындағы қарағайлы орман жамылғысының соңғы 15 жыл ішінде қалпына келгенін көрсетті. Ормансыз аумақтардың үлесі айтарлықтай қысқарып, орман жамылғысының тығыздығы мен көлемі артқаны анықталды. Бұл өзгерістер табиғи регенерация, орманды қалпына келтіру бағдарламалары және климаттық факторлармен байланысты. NDVI және FCD әдістерін қатар қолдану орман экожүйесінің өзгерісін кешенді бағалауға мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер Қазақстанның басқа да табиғи аймақтарында қолданылуы мүмкін және орманды басқару стратегияларын әзірлеуге негіз бола алады.

**Кілт сөздер:** NDVI; FCD; ГАЗ; аэроғарыштық әдіс; Landsat; орман деградациясы.

## Кіріспе

Қарағайлы орман жамылғысының өзгерісін географиялық ақпараттық жүйелер (бұдан әрі - ГАЗ) және аэроғарыштық әдістер негізінде өсімдік жамылғысының нормаланған вегетациялық индексі (бұдан әрі - NDVI) және орман жамылғысының тығыздық әдісі, яғни Forest Canopy Density (бұдан әрі - FCD) көрсеткіштері арқылы бағалау – заманауи экология мен табиғатты басқарудың маңызды бағыты болып табылады. Мұндай зерттеулердің өзектілігі келесі факторлармен түсіндіріледі:

- Климаттың жаһандық өзгеруі орман экожүйелеріне тікелей әсер етеді, соның ішінде температураның жоғарылауы, жауын-шашынның азаюы және құрғақшылық салдары.

- Аэроғарыштық әдістер мен ГАЗ тиімділігі - геоақпараттық жүйелер мен аэроғарыштық әдістер орман жамылғысының кеңістіктік және уақыттық өзгерістерін жоғары дәлдікпен бағалауға мүмкіндік береді. Бұл әдістер үлкен аумақтарды жүйелі түрде бақылауға, орман ресурстарының күйін жедел бағалауға және шешім қабылдау процесінде маңызды ақпарат беруге мүмкіндік береді.

- NDVI және FCD көрсеткіштерінің маңыздылығы – NDVI өсімдік жамылғысының жалпы жағдайын, фотосинтез белсенділігін және вегетациялық белсенділіктің динамикасын бағалау үшін қолданылады. Бұл индекс орман деградациясы мен қалпына келуін визуализациялауға мүмкіндік береді. FCD орман жамылғысының тығыздығын және құрылымдық ерекшеліктерін тереңірек сипаттайды. Бұл әдіс орманның көлеңке мөлшерін, топырақтың ашықтығын және температуралық жағдайларын ескере отырып, нақты деректер береді. Екі әдісті біріктіріп қолдану орман экожүйесінің жай-күйін кешенді түрде бағалауға тиімді.

*Can Vatandaslar, Taeyoon Lee* АҚШ-тың Талладега ұлттық орманындағы емен-қарағайлы ормандарын әуе лидарын (LiDAR) пайдалана отырып, орман жамылғысының пайыздық көрсеткішін зерттеп, нәтижесінде лидарға негізделген тәсілдер жамылғыны бағалауда шамамен 15% орташа квадраттық қате көрсеткен. Бұл тәсілдер орманның бұзылуын бағалау және жабайы табиғат түрлерінің мекендеу ортасының қолайлылығын анықтау сияқты операциялық міндеттер үшін тиімді екендігін анықтаған [1].

*V. Lovynska, Buchavui Yu* [2] Sentinel-2 деректерін пайдалана отырып, Украинадағы Солтүстік Дала қарағайлы ормандарының биомассасын бағалауда вегетациялық индекстерді (NDVI, TVI) және биофизикалық параметрлерді қолдану арқылы орманның жер үсті биомассасын болжау үшін регрессиялық модельдерін жасаса, қашықтықтан зондтау және ГАЗ арқылы Калраян тауларындағы (Тамил Наду, Үндістан) орман жамылғысының 1931 жылдан 2001 жылға дейінгі өзгерістері зерттелген. Зерттеу барысында 1931 және 1971 жылдардағы топографиялық карталар мен 2001 жылғы спутниктік деректері пайдаланылған. Нәтижелер көрсеткендей, 1931-1971 жылдар аралығында орман жамылғысы 275,6 км<sup>2</sup> 481,7 км<sup>2</sup> дейін ұлғайған. Зерттеу аэроғарыштық әдістер мен ГАЗ технологияларының орман жамылғысының өзгерісін сандық бағалауда тиімділігін көрсетеді [3].

*Khan Sajjad, Gulfishan Mohd* [4] бірлескен авторлармен өз зерттеулерінде соңғы 50 жылдағы жаһандық орман жамылғысының айтарлықтай өзгерістері қарастырылып, олардың қоршаған ортаға тигізген тікелей және жанама әсерлері зерттелген. Зерттеу барысында аэроғарыштық әдістер мен ГАЗ арқылы аймақтық деңгейде орман жамылғысының сандық талдауы жүргізілген.

Башқұртстан мемлекеттік табиғи қорығындағы орман қорын ГАЗ технологиялары арқылы 1979–2015 жылдары зерттеліп, қарағай мен қайың басым екені анықталды. Орман аумағы өзгермегенімен, жалпы өсу қоры 23,2%-ға артып, 7,68 млн м<sup>3</sup> 10 млн м<sup>3</sup> жетті. Бұл өсім негізінен қарағай мен қайың есебінен болған. Зерттеу орман экожүйелерінің динамикасын түсінуге және климаттың өзгеруіне бейімделу стратегияларын әзірлеуге үлес қосады [5].

*Nath Biswajit, Acharjee Shukla* [6] өз зерттеулерінде Бангладеш, Рангамати аймағының 1989 және 2010 жылдар аралығындағы орман жамылғысының өзгергіштігін Landsat TM спутниктік суреттерді пайдаланылып, NDVI көрсеткіштерін есептеген. Нәтижелер көрсеткендей, жалпы зерттелген аумақтың 44,40% орман жамылғысы айтарлықтай азайған, ал 37,93 аздап төмендеу байқалған. Бұл өзгерістер табиғи және антропогендік факторларға, мысалы, топырақ эрозиясы, заңсыз ағаш кесу, дәстүрлі егіншілік және орман өрттеріне байланысты екендігін анықтап NDVI индексінің тиімділігін бағалаған.

FCD әдісі ең алғаш тропикалық ормандардың тығыздығын анықтауда қолданылған [7].

*Loi Duong* және бірлескен авторлар Вьетнамның Тхай Нгуен провинциясында FCD әдісі арқылы орман жамылғысының тығыздығын зерттеп, Landsat 8 OLI суреттерін пайдаланып, AVI (өсімдік тығыздығы), BSI (жалаңаш топырақ) және SI (көлеңке) индекстерін ENVI және ArcGIS көмегімен есептеді. Нәтижесінде орман жамылғысы тығыздығы төрт санатқа бөлініп, классификация дәлдігі 85,3% құрады, ал FCD әдісінің нақтылығы далалық зерттеулермен расталды [8].

Қазақстандағы ормандарды бақылау және бағалау мақсатында геоақпараттық технологияларды қолдану кеңінен зерттелуде. *Н. Маханова* және бірлескен авторлар өз зерттеулерінде Солтүстік Қазақ жазығының қарағайлы ормандарының өзгеріс динамикасын анықтау мақсатында алғаш рет FCD әдісін пайдаланған [9]. *Г. Қабдулова* және бірлескен авторлар зерттеулерінде спутниктік қашықтықтан зондтау және географиялық ақпараттық жүйелер негізінде Қазақстанның цифрлық орман карталарын жасау, заңсыз ағаш кесуді анықтау және өрттен зардап шеккен аумақтарды бағалау әдістері қарастырылған. *К.С. Babu, G. Kabdulova, G. Kabzhanova* Қазақстан аумағындағы орман өрттерінің қауіптілік индексі (FFDI) бағалау үшін ГАЖ және аэроғарыштық технологияларды қолданып, Landsat спутниктік суреттері, метеорологиялық деректер, көпфакторлы кеңістіктік талдау (Multicriteria Spatial Analysis) және өндірілген эмпирикалық модельдеу (Empirical Modeling) әдістері арқылы өрт қаупі жоғары аймақтарды анықтау әдістемесін ұсынған, бұл орман шаруашылығы мен төтенше жағдайлардың алдын алу шараларын оңтайландыруға көмектеседі [10, 11].

Сонымен қатар, *Н. Женисбаева* және авторлар соңғы 20 жылдағы Шығыс Қазақстандағы орман өрттерінің факторларына талдау жүргізіп, ықтимал залалды бағалау және алдын алу шараларын әзірлеу үшін спутниктік суреттерді пайдаланудың маңыздылығын атап өтті. *Б. Есмағұлова* және бірлескен авторлар өз еңбектерінде ландшафттық контурлық карталарды жасау және аумақтың деградациясын бақылау үшін жоғары ажыратымдылықтағы спутниктік түсірілімдерді далалық зерттеулермен біріктіру арқылы Батыс Қазақстандағы жайылымдардың деградациясын бағалау тәсілдерін сипаттады [12, 13].

Бұл зерттеулер Қазақстанның орман және табиғи ресурстарын тиімді басқару үшін геоақпараттық технологиялардың маңыздылығын көрсетеді. Аталған тәсілдер табиғатты қорғау және жерді тұрақты пайдалану стратегияларын әзірлеуде құнды ақпарат көздері болып табылады.

Бұл зерттеудің негізгі мақсаты – 2008-2023 жылдар аралығында «Семей орманы» мемлекеттік орман табиғи резерваты аумағындағы қарағайлы орман жамылғысының өзгерісін NDVI және FCD индекстерін қолдану арқылы бағалау және олардың динамикасын аэроғарыштық әдістер мен ГАЖ технологиялары негізінде талдау. Зерттеу Қазақстан аумағында, әсіресе «Семей орманы» мемлекеттік орман табиғи резерваты аймағында, қарағайлы орман жамылғысының өзгерісін NDVI және FCD индекстерін қатар қолдану арқылы кешенді бағалауға бағытталған. Бұған дейін Қазақстандағы орман жамылғысының өзгерісін сандық бағалау бойынша зерттеулер жүргізілгенімен, олар көбінесе жеке индекстерге немесе шектеулі уақыт аралығына негізделген. Ал бұл зерттеу, 2008-2023 жылдар аралығын қамтып, ұзақ мерзімді өзгерістерді талдайды. NDVI және FCD индекстерін біріктіріп қолдану арқылы орман жамылғысының динамикасын дәлірек бағалайды, Landsat 5 TM және Landsat 9 OLI спутниктік деректерін пайдалану арқылы орман жамылғысының қалпына келу үдерісін кеңістіктік тұрғыдан сипаттайды, google earth engine және ArcGIS платформаларын қолдану арқылы орман жамылғысының өзгерісін сандық бағалауда жоғары дәлдікпен сараптайды.

### **Материалдар мен әдістер**

Зерттеу аймағы «Семей орманы» мемлекеттік орман табиғи резерваты.

«Семей орманы» мемлекеттік орман табиғи резерваты – Қазақстандағы ең ірі табиғи қорғалатын аймақтардың бірі. Бұл аймақ Қазақстандағы қарағайлы орман экожүйесінің маңызды бөлігі болып табылады.

«Семей орманы» табиғи резерваты соңғы бірнеше онжылдықта әртүрлі экологиялық проблемаларға тап болды: Орман өрттері, антропогендік әсер (мал жайылымының ұлғаюы орманның деградациясына әкелуде, заңсыз ағаш кесу проблемасы), климаттың өзгеруі

(температураның жоғарылауы мен жауын-шашын мөлшерінің азаюы өсімдіктердің фотосинтез белсенділігіне әсер етеді), топырақ эрозиясы (жердің құрғауы, топырақ жамылғысының бұзылуы орман регенерациясын тежейді).

Жоғарыда аталған себептерге қарай, зерттеуде FCD және NDVI индекстерін қолдану арқылы «Семей орманы» табиғи резерватының орман жамылғысының соңғы 15 жыл ішіндегі өзгеріс динамикасын бағалау жоспарланып отыр.

Бұл зерттеу жұмысы аэроғарыштық әдістерді қолдана отырып, қарағайлы орман жамылғысының өзгеріс динамикасын FCD және NDVI көрсеткіштері арқылы салыстырмалы талдауға бағытталған. Зерттеу әдістемесі келесі кезендерден тұрады:

Ғарыштық деректерді жинау, спутниктік суреттерді таңдау: Зерттеу жұмысына қажетті ғарыштық деректер Landsat 5 TM, Landsat 9 OLI/TIRS АҚШ-тың геологиялық қызмет сайтынан (USGS Earth Explorer) алынды, Зерттеу аумағы үлкен аумақты қамтығандықтан 4 түрлі Landsat кескіндерін біріктіріп, ArcGIS бағдарламасын пайдаланып біртұтас карта құрастырдық, төмендегі кестеде ғарыштық деректердің сипаттамалары берілген (1-кесте).

1-кесте – Landsat деректерінің сипаттамалары

Жерсерік атауы	Landsat 5	Landsat 9
Сенсорлар	TM (Thematic Mapper)	OLI-2 (Operational Land Imager-2), TIRS-2 (Thermal Infrared Sensor-2)
Кеңістіктік ажыратымдылық	30 м (көпарналы)	OLI-2: 30 м (көпарналы), 15 м (панхроматикалық) TIRS-2: 100 м (бірақ 30 м-ге интерполяцияланған)
Түсіру уақыты	25 қыркүйек 2008 ж. 2 қазан 2008 ж.	27 қыркүйек 2023 ж. 4 қазан 2008 ж.
ID номері	LT05_L1TP_149024_20080925_20200829_02_T1 LT05_L1TP_149025_20080925_20200829_02_T1 LT05_L1TP_150024_20081002_20200829_02_T1 LT05_L1TP_150025_20081002_20200829_02_T1	LC09_L1TP_149024_20230927_20230927_02_T1 LC09_L1TP_149025_20230927_20230927_02_T1 LC09_L1TP_150024_20231004_20231004_02_T1 LC09_L1TP_150025_20231004_20231004_02_T1
Жүктеу платформалары	USGS Earth Explorer, Google Earth Engine	USGS Earth Explorer, Google Earth Engine

ГАЗ платформалары: GEE, ArcGIS бағдарламалары қолданылды.

Деректерді алдын ала өңдеу: Атмосфералық түзету, бұлттан тазарту, радиометриялық және геометриялық түзету, вегетациялық индекстерді есептеу. NDVI (Нормаланған вегетациялық индекс) есептеу формуласы:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (1)$$

Мұндағы:

NIR – жақын инфрақызыл диапазоны, RED – қызыл диапазон.

FCD (Орман жамылғысының тығыздығы) әдісі. FCD әдісі төрт негізгі көрсеткіштерді біріктіру арқылы анықталады:

- AVI (Advanced Vegetation Index) – өсімдіктің белсенділігін көрсетеді.
- BI (Bare Soil Index) – ашық топырақтың үлесін көрсетеді.
- SI (Shadow Index) – көлеңке мөлшерін бағалайды, яғни орман тығыздығын көрсететін маңызды параметр.

- TI (Temperature Condition Index) – температуралық жағдайларға негізделген көрсеткіш. Бұл индекстер біріктіріліп, FCD мәні шығарылады.

Зерттеуде ормансыз аймақтарда BI мәні жоғары, ал AVI және SI төмен - деградациялану үдерісі жүріп жатқанын көрсетті. Сирек ормандарда AVI мен SI өсіп, BI азайған - өсімдік жамылғысы қалпына келе бастаған. Қалың орманды жерлерде FCD көрсеткіші жоғарылаған, AVI мен SI ең жоғары мәндерге жеткен орман жамылғысының тұрақтылығы артқан.

### Нәтижелер және талқылау

«Семей орманы» мемлекеттік табиғи резерваты аумағындағы қарағайлы ормандардың динамикалық өзгерістерін FCD және NDVI әдістерін пайдалану арқылы анықтадық. «Семей орманы» резерваты аумағындағы орман жамылғысының NDVI көрсеткіші бойынша 2008 және 2023 жылдар аралығындағы динамикасын бағалау нәтижелері төмендегідей талданып карта түрінде бейнеленді (1-сурет). NDVI классификациясын жүргізу ArcGIS бағдарламалық жабдықтамасында табиғи интервалдар әдісі арқылы талданды:

Кластар NDVI мәндерінің табиғи бөліністеріне қарай бөлінді.

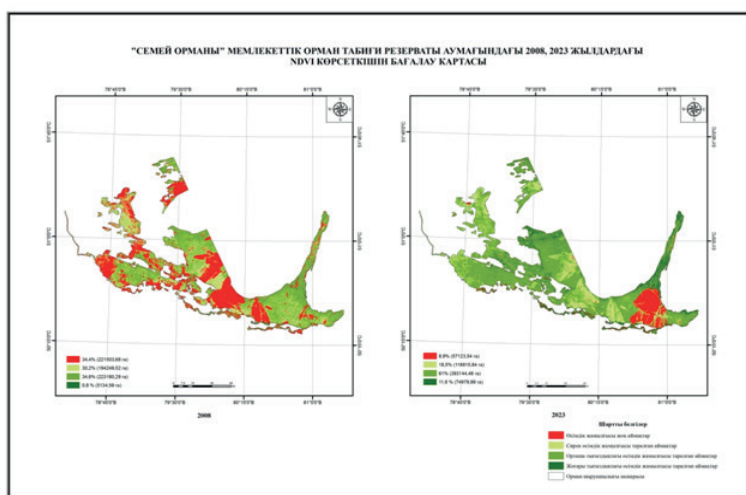
0.0 – 0.2 → Өсімдік жамылғысы жоқ аймақтар;

0.2 – 0.4 → Сирек өсімдік жамылғысы таралған аймақтар;

0.4 – 0.6 → Орташа өсімдік жамылғысы таралған аймақтар.

0.6 – 0.8 → Жоғары тығыздықтағы өсімдік жамылғысы таралған аймақ.

Картографиялық мәліметтер аумақтың орман жамылғысының жай-күйін бағалауға және өзгерістердің кеңістіктік таралуын анықтауға мүмкіндік берді.



1-сурет – «Семей орманы» МОТР» PMM аумағындағы 2008-2023 жылдар аралығындағы NDVI картасы (Зерттелген ақпарат негізінде автормен құрастырылған)

2008 жылғы карта бойынша, қызыл түспен белгіленген аудандар NDVI көрсеткіші төмен деңгейде, бұл деградацияға ұшыраған немесе өсімдік жамылғысы сирек кездесетін аумақтарды көрсетеді.

Жасыл түспен белгіленген аудандар NDVI көрсеткішінің жоғары деңгейін сипаттайды, бұл орманның тығыз әрі жақсы күйде екенін көрсетеді.

Жалпы, 2008 жылы «Семей орманының» үлкен бөлігі деградацияға ұшырағаны байқалды, әсіресе орман өрттері мен антропогендік факторлардың әсерінен.

2023 жылғы карта бойынша, қызыл түспен белгіленген аумақтар едәуір азайған, бұл орманның қалпына келу үрдісін көрсетеді.

Жасыл түспен белгіленген аумақтар кеңейіп, орман жамылғысының жақсарғаны байқалды.

Бұл, әсіресе, орманды қалпына келтіру бағдарламаларының, өртке қарсы шаралардың және табиғи регенерацияның нәтижесі.

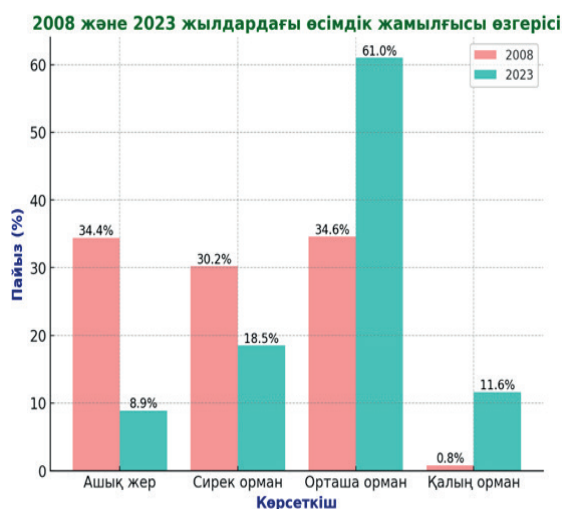
Семей орманы резерваты аумағындағы 15 жыл уақыт ішіндегі NDVI индексі бойынша 2008 жылғы нәтижелер:

- Өсімдік жамылғысы жоқ аймақтар – 34,4%.
- Сирек өсімдік жамылғысы бар аймақтар – 30,2%.
- Орташа тығыздықтағы өсімдік жамылғысы – 34,6%.
- Жоғары тығыздықтағы өсімдік жамылғысы – 0,8%.

2023 жылғы нәтиже бойынша:

- Өсімдік жамылғысы жоқ аумақтар – 8,9% (төмендеу: 25,5%).
- Сирек өсімдік жамылғысы бар аумақтар – 18,5% (төмендеу: 11,7%).
- Орташа тығыздықтағы өсімдік жамылғысы – 61% (арттыру: 26,4%).
- Жоғары тығыздықтағы өсімдік жамылғысы – 11,6% (арттыру: 10,8%).

Өсімдік жамылғысының қалпына келуі антропогендік деградацияның азаюымен, экологиялық қалпына келтіру шараларының тиімділігімен және табиғи регенерация үдерістерімен байланысты. Орманның тығыз құрылымы мен өсімдік жамылғысының артуы экожүйелік тұрақтылықтың жақсарғанын көрсетеді (2-сурет).



2-сурет – 2008 және 2023 жылдардағы NDVI көрсеткіштері бойынша өсімдік жамылғысының өзгерісі

«Семей орманы» мемлекеттік табиғи резерваты аумағындағы орман жамылғысының тығыздығын FCD әдісі арқылы талдау барысында төмендегідей мәліметтер алдық. Картада әртүрлі тығыздықтағы орман жамылғысы түстер арқылы бейнеленген. Негізгі сипаттамалар:

Қызыл түс: Орман жамылғысы өте сирек немесе жоқ аумақтар (тығыздық өте төмен).

Сары түс: Орташа тығыздықтағы орман жамылғысы. Бұл аумақтар орманның біртіндеп қалпына келуін көрсетеді немесе деградацияға ұшыраған болуы мүмкін.

Жасыл түс: Жоғары тығыздықтағы орман жамылғысы. Бұл аймақтарда орман жақсы күйде және экологиялық тұрғыдан тұрақты болып саналады.

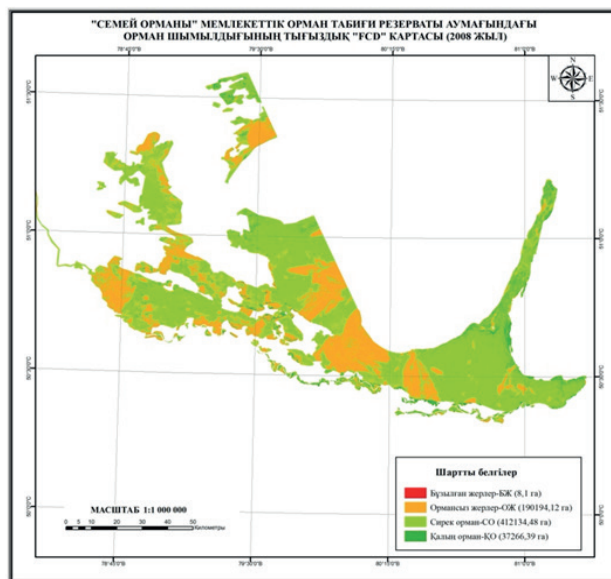
2008-2023 жылдар аралығында FCD әдісі бойынша орман жамылғысының өзгерісін сандық бағалауға келетін болсақ, келесі маңызды нәтижелер анықталды:

Өсімдік жамылғысы жоқ аймақтар: Ормансыз жерлердің үлесі 22,2%-ға азайды, бұл деградацияланған аймақтардың қалпына келе бастағанын көрсетеді.

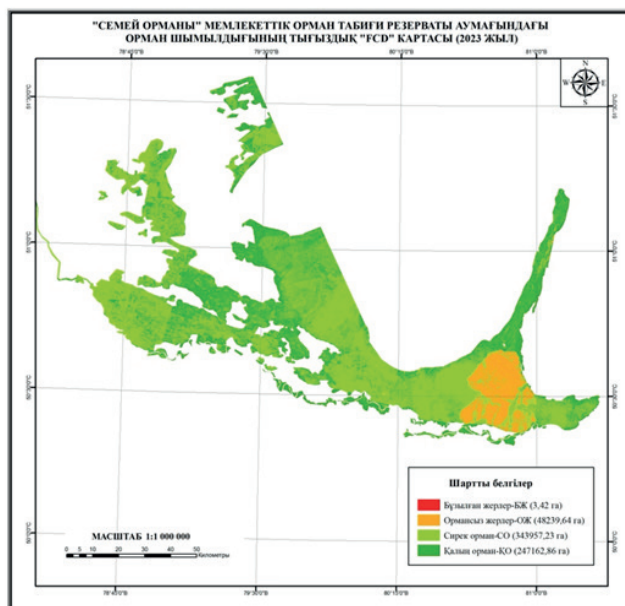
Сирек орман алқаптары: Сирек орман жамылғысының үлесі 10,7%-ға төмендеді, бұл аймақтардың бір бөлігі қалың орманға айналғанын білдіреді.

Жоғары тығыздықтағы орман жамылғысы: Қалың орман жамылғысы 32,8%-ға артты, бұл орман экожүйесінің қалпына келу динамикасын көрсететін маңызды көрсеткіш.

Бұл өзгерістер төмендегі картада айқын көрсетілген (3, 4-суреттер). Бұл деректер табиғи регенерация процестерін және қалпына келтіру жұмыстарының тиімділігін растайды.



3-сурет – «Семей орманы» МОТР» РММ аумағындағы қарағайлы орман алқаптарының орман жамылғысының тығыздық (FCD) картасы, 2008 жыл (ArcGIS 10.6 бағдарламасында жасалған авторлық карта)



4-сурет – «Семей орманы» МОТР» РММ аумағындағы қарағайлы орман алқаптарының орман жамылғысының тығыздық (FCD) картасы, 2023 жыл (ArcGIS 10.6 бағдарламасында жасалған авторлық карта)

NDVI және FCD көрсеткіштерін салыстыру. NDVI және FCD әдістері өсімдіктер жамылғысын бағалауда қолданылатын индекстер болғанымен, олардың бағалау тәсілдері мен нәтижелерінде айырмашылықтар бар.

Бағалау принциптері бойынша, NDVI – өсімдіктердің фотосинтетикалық белсенділігін өлшеу арқылы жасыл жамылғының жалпы жағдайын сипаттайды. Ол өсімдік жамылғысының қарқындылығын анықтауда тиімді. FCD – орман жамылғысының тығыздығы мен құрылымдық өзгерістерін тіркейді, бұл әдіс орман жамылғысының қалпына келуін және деградациясын дәлірек сипаттайды.

Нәтижелердегі ерекшеліктер. NDVI әдісі өсімдік жамылғысының өзгерісін жоғарырақ бағалайды. Бұл әсіресе ормансыз аумақтардың қысқаруы (NDVI бойынша 25,5%, FCD бойынша 22,2%) және қалың орманның артуы (NDVI бойынша 37,2%, FCD бойынша 32,8%) көрсеткіштерінен байқалады.

FCD әдісі орман тығыздығының нақты өзгерістерін тіркегендіктен, оның көрсеткіштері біршама төмен болуы мүмкін, бірақ орман құрылымын сипаттауда дәлдігі жоғары.

NDVI индексі бойынша өсімдік жамылғысы жоқ аумақтар 25,5%-ға, ал FCD әдісі бойынша 22,2%-ға қысқарған (айырмашылық 3,3%). Бұл NDVI индексінің өзгерісті жоғары бағалайтынын көрсетеді.

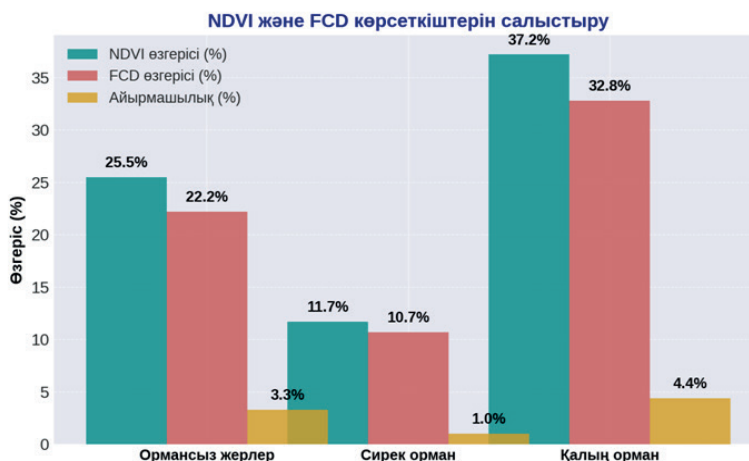
Сирек орман алқабы: NDVI бойынша 11,7%-ға, FCD бойынша 10,7%-ға азайған (айырмашылық 1%), нәтижелер жақын.

Жоғары тығыздықтағы орман жамылғысы: NDVI бойынша 37,2%-ға, FCD бойынша 32,8%-ға артқан (айырмашылық 4,4%), екі әдіс те өсу үрдісін көрсетеді, бірақ NDVI үлкен мәнге ие (2-кесте).

2-кесте – NDVI және FCD мәндерінің салыстырмалы көрсеткіштері, %

Өсімдіктер тығыздығы класы	2008-2023 жылдардағы NDVI мәндері, %	NDVI индексі мәні	2008-2023 жылдардағы FCD мәндері, %	Айырмашылық, %
Ормансыз жерлер	25,5	0,2-0,3	22,2	3,3
Сирек орман	11,7	0,3-0,5	10,7	1
Қалың орман	37,2	0,5-0,8	32,8	4,4

Төмендегі диаграммада NDVI және FCD әдістерінің орман жамылғысының өзгерісін сандық бағалаудағы айырмашылықтары көрсетілген (5-сурет).



5-сурет – NDVI және FCD индекстері бойынша орман жамылғысының өзгерісін салыстыру бағаны

Екі әдісте орман жамылғысының өзгеріс динамикасын көрсетуде ұқсас нәтижелер берген. Әдістерді қатар қолдану өзгерістерді кешенді бағалауға мүмкіндік береді.

Нәтиже бойынша, FCD және NDVI әдістері бойынша «Семей орманы» аумағында орман жамылғысының едәуір бөлігі қалпына келгені анықталды. Қалың орман жамылғысының үлесі артқан, ал ормансыз және сирек орман жамылғысы бар аумақтар қысқарған.

Статистикалық талдау нәтижелері бойынша, NDVI және FCD көрсеткіштері арасындағы салыстырмалы талдау (t-тест):

$$t\text{-мәні} = 2.90;$$



$p$ -мәні = 0.101 ( $p > 0.05$ , яғни екі көрсеткіш арасындағы айырмашылық статистикалық тұрғыдан маңыздылығы төмен).

NDVI және FCD көрсеткіштері арасындағы байланыс (Пирсон корреляция коэффициенті):

$r = 0.9997$  (өте жоғары оң корреляция);

$p$ -мәні = 0.015 ( $p < 0.05$ , яғни корреляция статистикалық тұрғыдан маңызды).

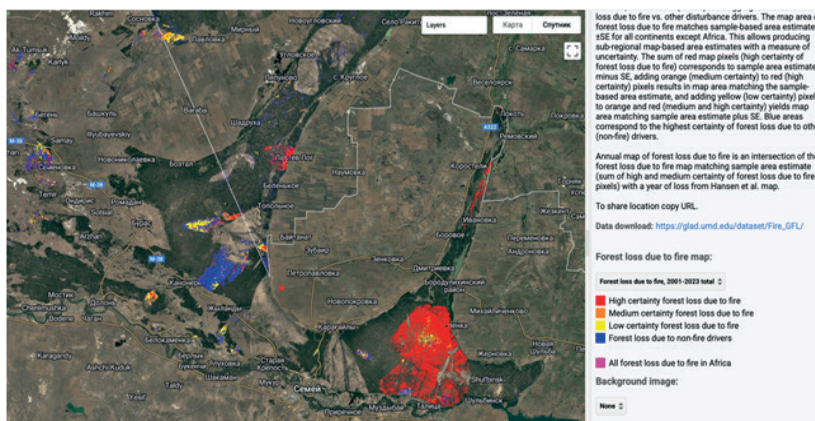
Жүргізілген статистикалық талдау нәтижелері NDVI және FCD көрсеткіштері арасында өте жоғары оң корреляция бар екенін көрсетті ( $r = 0.9997$ ,  $p = 0.015$ ), бұл екі әдістің бір-бірімен тығыз байланысты екенін және орман жамылғысының өзгерістерін бағалауда бірін-бірі толықтыра алатынын дәлелдейді.

Алайда,  $t$ -тест нәтижелері бойынша ( $t = 2.90$ ,  $p = 0.101$ ) NDVI және FCD көрсеткіштері арасындағы айырмашылық статистикалық тұрғыдан маңызды емес. Бұл NDVI әдісінің FCD әдісіне қарағанда орман жамылғысының өзгерісін біршама жоғары бағалайтынын, алайда екі әдіс те ұқсас мәндер көрсететінін білдіреді.

Нәтижелер NDVI және FCD индекстерін кешенді түрде қолдану орман жамылғысының динамикасын неғұрлым толық әрі дәл бағалауға мүмкіндік беретінін айғақтайды.

Климаттық және антропогендік факторлар - табиғи регенерация процесі, орманды қалпына келтіру бағдарламалары және орман өрттерімен күрес жұмыстары орман жамылғысының жақсаруына ықпал етті. Дегенмен, антропогендік әсердің (мал жайылымы, ағаш кесу) кейбір аудандарда әлі де байқалатыны анықталды, нақтырақ айтқанда, табиғи және антропогендік факторлардың әсерін бағалау үшін GLAD forest alerts платформасын пайдалану арқылы әсер етуші факторлардың себебін анықтадық.

Төмендегі суретте GLAD forest alerts платформасынан алынған 2001-2023 жылдар аралығындағы Семей орманының жойылған аумақтарын талдау картасы бейнеленген, картадағы шартты белгілерге сәйкес жойылған орман жамылғысының себептері көрсетілген (6-сурет).



6-сурет – GLAD forest alerts платформасынан алынған 2001-2023 жылдардағы орман жамылғысының жойылу себептерін талдау картасы

Шартты белгілер бойынша түсіндіру төмендегідей:

Қызыл түс – жоғары сенімділікпен анықталған орман азаюы (High certainty forest loss due to fire). Бұл аумақтарда өрттің орман жамылғысының бұзылуына ықпалы ең жоғары болып бағаланған.

Қызғылт сары түс – орташа сенімділікпен анықталған орман жойылуы (Medium certainty forest loss due to fire). Өрттің әсері анық байқалған, бірақ толық сенімділік жоқ.

Көк түс – төмен сенімділікпен анықталған орман азаюы (Low certainty forest loss due to fire). Өрттің ықпалы болуы мүмкін, бірақ нақты дәлелдер жеткіліксіз.

Сары түс – өрттен тыс факторлар әсерінен болған орман жойылуы (Forest loss due to non-fire drivers). Бұл антропогендік әсерлер (мысалы, ағаш кесу) немесе басқа экологиялық факторлар болуы мүмкін.

GLAD forest alerts платформасын пайдалана отырып жүргізілген талдау 2001-2023 жылдар аралығында Семей орманындағы жойылған орман аумақтарын анықтауға мүмкіндік берді. Зерттеу

нәтижелері көрсеткендей, орман жамылғысының азаюына табиғи (өрттер) және антропогендік (ағаш кесу) факторлар әртүрлі деңгейде әсер еткен, әсер ету деңгейін сандық деректер түрінде анықтау үшін FCD, NDVI әдістері қолданылып талдау жасалынды.

### Қорытынды

«Семей орманы» мемлекеттік табиғи резерватының аумағында жүргізілген зерттеу нәтижелері орман жамылғысының соңғы 15 жыл ішіндегі оң өзгерістерін көрсетті. FCD және NDVI индекстерін пайдалану арқылы алынған деректер келесі негізгі қорытындыларды жасауға мүмкіндік берді.

Ормансыз және сирек орман аумақтары қысқарды: ормансыз жерлердің үлесі 22,2%-ға, ал сирек орман жамылғысы 10,7%-ға азайған.

Қалың орман жамылғысының үлесі артты: қалың орман жамылғысы 32,8%-ға артып, экожүйенің тұрақтылығы жақсарды.

NDVI әдісі өсімдік жамылғысының жалпы жағдайын анықтауға мүмкіндік береді, ал FCD әдісі орман құрылымының өзгерісін 4 индексті біріктіру арқылы тереңірек талдайды. FCD орман жамылғысы тығыздығының қалпына келу үрдісін нақтырақ көрсеткен.

Бұл зерттеу орман жамылғысының динамикасын бақылау, қалпына келтіру шараларын тиімді ұйымдастыру және қоршаған ортаға антропогендік әсерді азайту үшін маңызды ақпарат көзі болып табылады. Алынған нәтижелер болашақта Қазақстанның басқа да табиғи аймақтарын зерттеуге негіз бола алады.

### Әдебиеттер тізімі

1 Vatandaslar, C., Lee, T., Bettinger, P., Ucar, Z., Stober, J., Peduzzi, A. (2024). Mapping percent canopy cover using individual tree- and area-based procedures that are based on airborne LiDAR data: Case study from an oak-hickory-pine forest in the USA. *Ecological Indicators*, 167.

2 Lovynska, V., Buchaviy, Yu., Lakyda, P., Sytnyk, S., Gritzan, Yu., Sendziuk, R. (2020). Assessment of pine aboveground biomass within Northern Steppe of Ukraine using Sentinel-2 data. *J. For. Sci.*, 66, 339-348.

3 Rathinagiri, S., Manivel, M., Raj, J., Pugalanthi, V., Ravichandran, N., Anand, V. (2010). Remote sensing and GIS based forest cover change detection study in Kalrayan hills, Tamil Nadu. *Journal of Environmental Biology*, 31, 737-747.

4 Khan, S., Gulfishan, M., Mir, R., Aasif, S., Andrabi, S. (2022). Forest cover change detection through modern applications and its environmental impacts, A review. *International Journal of Ecology and Environmental Sciences*, 4, 75-82.

5 Belan, L., Suleymanov, A., Bogdan, E., Volkov, A., Gaysin, I., Tuktarova, I., Shagaliev, R. (2023). Assessing and Mapping Changes in Forest Growing Stock Volume over Time in Bashkiriya Nature Reserve, Russia. *Forests*, 14, 2251. DOI: 10.3390/f14112251.

6 Nath, B., Acharjee, S. (2013). Forest Cover Change Detection using Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): A Study of Reingkhongkine Lake's Adjoining Areas, Rangamati, Bangladesh. *Indian Cartographer*, XXXIII, 348-353.

7 Roy, P., Rikimaru, A., Miyatake, S. (2002). Tropical forest cover density mapping. *Tropical Ecology*, 43, 39-47.

8 Loi, D., Chou, T-Y, Fang, Y-M. (2017). Integration of GIS and Remote Sensing for Evaluating Forest Canopy Density Index in Thai Nguyen Province, Vietnam. *International Journal of Environmental Science and Development*, 8, 539-542. DOI: 10.18178/ijesd.2017.8.8.1012.

9 Маханова, Н., Берденов, Ж., Сансызбаева, А., Сагынбаева, А. (2022). Оценка структурной динамики соснового бора Аманкарагай с применением данных дистанционного зондирования. *Вестник КазНУ. Серия географическая*, 66(3), 17-27.

10 Kabdulova, G., Kabzhanova, G., Baktybekov, K., Aimbetov, A., Aligazhiyeva, L. (2019). Satellite remote sensing for monitoring of the forest resources of Kazakhstan. 12(3), 45-60.

11 Babu, KV, Kabdulova, G., Kabzhanova, G. (2019). Developing the Forest Fire Danger Index for the Country Kazakhstan by Using Geospatial Techniques. *Journal of Environmental Informatics Letters*, 1(1), 48-59.

12 Zhensikbayeva, N., Kabdrakhmanova, NK, Yeginbayeva, AY, Beisembayeva, RS, Amangeldy, N. (2023). Assessment of forest fires factors in eastern kazakhstan over the last 20 years (2003 - 2023) using gis technologies. *GeoJournal of Tourism and Geosites*, 51(1), 1803-1811.

13 Yesmagulova, BZ, Assetova, AY, Tassanova, ZB, Zhildikbaeva, AN, Molzhigitova, DK. (2023). Determination of the Degradation Degree of Pasture Lands in the West Kazakhstan Region Based on Monitoring Using Geoinformation Technologies. *Journal of Ecological Engineering*, 24(1), 179-187. DOI: 10.12911/22998993/155167.

## References

1 Vatandaslar, C., Lee, T., Bettinger, P., Ucar, Z., Stober, J., Peduzzi, A. (2024). Mapping percent canopy cover using individual tree- and area-based procedures that are based on airborne LiDAR data: Case study from an oak-hickory-pine forest in the USA. *Ecological Indicators*, 167, 2024,

2 Lovynska, V., Buchavyi, Yu., Lakyda, P., Sytnyk, S., Gritzan, Yu., Sendziuk, R. (2020). Assessment of pine aboveground biomass within Northern Steppe of Ukraine using Sentinel-2 data. *J. For. Sci.*, 66, 339-348.

3 Rathinagiri, S., Manivel, M., Raj, J., Pugalanthi, V., Ravichandran, N., Anand, V. (2010). Remote sensing and GIS based forest cover change detection study in Kalrayan hills, Tamil Nadu. *Journal of Environmental Biology*, 31, 737-747.

4 Khan, S., Gulfishan, M., Mir, R., Aasif, S., Andrabi, S. (2022). Forest cover change detection through modern applications and its environmental impacts, A review. *International Journal of Ecology and Environmental Sciences*, 4, 75-82.

5 Belan, L., Suleymanov, A., Bogdan, E., Volkov, A., Gaysin, I., Tuktarova, I., Shagaliev, R. (2023). Assessing and Mapping Changes in Forest Growing Stock Volume over Time in Bashkiriya Nature Reserve, Russia. *Forests*, 14, 2251. DOI: 10.3390/f14112251.

6 Nath, B., Acharjee, S. (2013). Forest Cover Change Detection using Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): A Study of Reingkhongkine Lake's Adjoining Areas, Rangamati, Bangladesh. *Indian Cartographer*, XXXIII, 348-353.

7 Roy, P., Rikimaru, A., Miyatake, S. (2002). Tropical forest cover density mapping. *Tropical Ecology*, 43, 39-47.

8 Loi, D., Chou, T-Y, Fang, Y-M. (2017). Integration of GIS and Remote Sensing for Evaluating Forest Canopy Density Index in Thai Nguyen Province, Vietnam. *International Journal of Environmental Science and Development*, 8, 539-542. DOI: 10.18178/ijesd.2017.8.8.1012.

9 Mahanova, N., Berdenov, Zh., Sansyzbaeva, A., Sagynbaeva, A. (2022). Ocenka strukturnoi dinamiki osnovnogo bora Amankaragai s primeneniem dannyh distancionnogo zondirovaniya. *Vestnik KazNU. Seriya geograficheskaya*, 66(3), 17-27.

10 Kabdulova, G., Kabzhanova, G., Baktybekov, K., Aimbetov, A., Aligazhiyeva, L. (2019). Satellite remote sensing for monitoring of the forest resources of Kazakhstan. 12(3), 45-60.

11 Babu, KV, Kabdulova, G., Kabzhanova, G. (2019). Developing the Forest Fire Danger Index for the Country Kazakhstan by Using Geospatial Techniques. *Journal of Environmental Informatics Letters*, 1(1), 48-59.

12 Zhensikbayeva, N., Kabdrakhmanova, NK, Yeginbayeva, AY, Beisembayeva, RS, Amangeldy, N. (2023). Assessment of forest fires factors in eastern kazakhstan over the last 20 years (2003 - 2023) using gis technologies. *GeoJournal of Tourism and Geosites*, 51(1), 1803-1811.

13 Yesmagulova, BZ, Assetova, AY, Tassanova, ZB, Zhildikbaeva, AN, Molzhigitova, DK. (2023). Determination of the Degradation Degree of Pasture Lands in the West Kazakhstan Region Based on Monitoring Using Geoinformation Technologies. *Journal of Ecological Engineering*, 24(1), 179-187. DOI: 10.12911/22998993/155167.

## Оценка изменений соснового лесного покрова с использованием индексов NDVI и FCD на основе ГИС и аэрокосмических методов

Сагынбаева А.Б., Мамбетов Б.Т., Утебекова А.Д., Адилбаева Ж.Б.,  
Адалкан О., Тұрлыбеков Қ.М.

### Аннотация

**Предпосылки и цель.** В этой статье была проанализирована динамика изменения покрова сосновых лесов с использованием индексов NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) и FCD (Forest Canopy Density) с использованием геоинформационных систем и аэрокосмических методов. Проанализировано влияние климатических изменений и антропогенных факторов на лесные экосистемы и рассмотрена эффективность методов дистанционного зондирования для определения динамики лесного покрова. Основная цель исследования - сравнительная оценка изменений в покрытии сосновых лесов в период с 2008 по 2023 год на основе индексов NDVI и FCD. Кроме того, предполагается определить их точность путем сравнения результатов двух методов и охарактеризовать процессы деградации и восстановления лесов.

**Материалы и методы.** В исследовании использовались спутниковые данные Landsat 5 TM и Landsat 9 OLI. В качестве ГИС-платформ применялись Google Earth Engine (GEE) и ArcGIS. Предварительная обработка данных включала атмосферную коррекцию, устранение облачности, радиометрическую и геометрическую коррекцию. Для оценки лесного покрова применялись индекс NDVI и метод FCD.

**Результаты.** По результатам исследования установлено, что в период с 2008 по 2023 годы на территории Семипалатинского леса произошло значительное восстановление лесного покрова. По методу NDVI обезлесенные территории сократились на 25,5%, редкие леса - на 11,7%, а густые леса - на 37,2%. По методу FCD наблюдалось снижение безлесных территорий на 22,2%, редких лесов на 10,7% и увеличение густых лесов на 32,8%. Оба метода показали положительную динамику лесного покрова, однако было обнаружено, что метод NDVI имеет тенденцию оценивать изменения выше.

**Заключение.** Результаты исследования показали, что за последние 15 лет лесной покров в резервате «Семей орманы» значительно восстановился. Доля безлесных территорий уменьшилась, а площадь густых лесов увеличилась. Эти изменения связаны с естественной регенерацией, программами восстановления лесов и климатическими факторами. Совместное применение методов NDVI и FCD позволяет комплексно оценивать динамику лесных экосистем. Полученные данные могут быть использованы для исследования других природных территорий Казахстана и разработки стратегий управления лесами.

**Ключевые слова:** NDVI; FCD; ГИС; аэрокосмический метод; Landsat, деградация лесов.

## Assessment of scots pine forest cover changes using NDVI and FCD indicators based on GIS and aerospace methods

Ainur B. Sagynbayeva, Bulkair T. Mambetov, Ainur D. Utebekova, Zhanera B. Adilbayeva,  
Oral Adalkan, Karshyga M. Turlybekov

### Abstract

**Background and Aim.** In this article, the dynamics of changes in the cover of pine forests was analyzed using the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and FCD (Forest Canopy Density) indices using geoinformation systems (GIS) and remote sensing methods. The research examines the impact of climate change and anthropogenic factors on forest ecosystems and evaluates effectiveness of remote sensing methods in monitoring forest cover changes. The main purpose of the study is a comparative assessment of changes in the cover of pine forests in the period from 2008 to 2023 based on the NDVI and FCD indices. In addition, it is proposed to determine their accuracy by comparing the results of the two methods and to characterize the processes of forest degradation and regeneration.

**Materials and Methods.** Satellite data from Landsat 5 TM and Landsat 9 OLI were used. Google Earth Engine (GEE) and ArcGIS served as GIS platforms. Data preprocessing included atmospheric correction, cloud removal, radiometric and geometric corrections. NDVI and FCD methods were applied to assess forest cover.

**Results.** The findings indicate that in the period from 2008 to 2023, a significant restoration of forest cover took place in the territory of the Semipalatinsk Forest. According to the NDVI method, deforested areas decreased by 25.5%, sparse forests -by 11.7%, and dense forests -by 37.2%. According to the FCD method, there was a decrease in treeless territories by 22.2%, sparse forests by 10.7% and an increase in dense forests by 32.8%. Both methods showed positive dynamics of forest cover, however, it was found that the NDVI method tends to estimate changes higher.

**Conclusion.** The study results indicate significant forest regeneration in the «Semey Ormany» reserve over the past 15 years. The proportion of deforested areas has significantly decreased, while dense forest cover has expanded. These changes are attributed to natural regeneration, forest restoration programs, and climatic factors. The combined use of NDVI and FCD methods enables a comprehensive assessment of forest ecosystem dynamics. The findings can be applied to other natural areas in Kazakhstan and serve as a basis for forest management strategies.

**Keywords:** NDVI; FCD; GIS; aerospace method; Landsat; forest degradation.