

Ж.Т. Омиржанова^{1*}, **К.Т. Картбаева¹**, **Д.С. Бекболат²**

¹Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы, Қазақстан

²РММ «Ауыл шаруашылығы министрлігінің Жер ресурстарын басқару жөніндегі Алматы облысының Жер ресурстарын басқару департаменті», Қонаев, Қазақстан

*e-mail: zh.omirzhanova@kazgasa.kz

ҚАШЫҚТАН ЗОНДАУ ДЕРЕКТЕРІ БОЙЫНША ҚОСТАНАЙ ОБЛЫСЫНЫҢ ТАБИҒИ РЕСУРСТЫҚ ӘЛЕУЕТІН МОНИТОРИНГТЕУ

Бұл мақалада қашықтан зондау деректері негізінде Қостанай облысының ландшафт компоненттерінің кеңістіктік-уақыттық өзгерістері талданды. Зерттеуде MODIS, Landsat және Sentinel-2 спутниктік деректері пайдаланылып, жер беті температурасы (LST), вегетациялық (NDVI), су (NDWI), ылғалдылық (NDMI) және жану (NBR) индекстері есептелді. MODIS деректері өңірлік деңгейдегі ұзақ мерзімді үрдістерді анықтау үшін, ал Landsat және Sentinel-2 деректері Аманқарағай орман алқабындағы өртке дейінгі және өрттен кейінгі өзгерістерді егжей-тегжейлі талдау үшін қолданылды.

Қостанай облысы бойынша LST, NDVI, NDWI талдауы бойынша LST мен NDVI және NDWI арасында теріс корреляция байқалды, яғни температураның жоғарылауы өсімдік жамылғысының бірқатар төмендеуімен қатар су индексінің төмендеуін көрсетті.

Аманқарағай орманының аумағына NDVI, NDMI, NDWI және SWIR нәтижелерін талдау орман экожүйелерінің биомассасы мен ылғалдылығы арасындағы тығыз байланысты көрсетті. NDVI, NDMI және NDWI мәндерінің жоғарылауы SWIR төмендеуімен бірге жүреді, бұл өсімдік жамылғысының біртіндеп қалпына келуін және су режимінің жақсаруын көрсетеді. 2022–2025 жылдар кезеңінде, әсіресе 2024–2025 жылдары, орман экожүйенің тұрақты қалпына келуі мен тұрақтануының белгілерін көрсеткен кезде оң динамика байқалады.

Қостанай облысының аумағына температураның, өсімдіктердің, судың есептелген нормаланған айырымдық индекстерін талдау 2014–2023 жылдары температураның айтарлықтай жоғарылауы және өсімдік деңгейінің төмендеуі байқалғанын көрсетті. Жер үсті суларының ауданы да азайды. Өсімдік жамылғысы мен жер үсті суларының өзгеруі Жер бетіндегі температураның өзгеруімен жақсы байланысты.

Зерттеу нәтижелері климаттық өзгерістер мен өрттердің ландшафт компоненттеріне әсерін бағалауға мүмкіндік беріп, өңірдің тұрақты дамуын жоспарлауда қолданбалы маңызға ие.

Түйін сөздер: қашықтан зондау, LST, NDVI, NDWI, NDMI, NBR, Қостанай облысы, орман өрті, ландшафттық өзгерістер.

Zh.T. Omirzhanova^{1*}, K.T. Kartbaeva¹, D.S. Bekbolat²

¹International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan

²Republican State Institution «Department of Land Resources Management of the Almaty Region for Land Resources Management of the Ministry of Agriculture», Konaev, Kazakhstan

*e-mail: zh.omirzhanova@kazgasa.kz

Assessment of spatial and temporal changes in landscape components of Kostanay region using remote sensing data

This article analyzes the spatio-temporal changes of landscape components in the Kostanay region using remote sensing data. MODIS, Landsat, and Sentinel-2 satellite data were used to calculate land surface temperature (LST), vegetation (NDVI), water (NDWI), moisture (NDMI), and burn severity (NBR) indices. MODIS data were applied to identify long-term regional trends, while Landsat and Sentinel-2 data were used for detailed assessment of pre- and post-fire dynamics in the Amankaragay forest area.

In the analysis of LST, NDVI, and NDWI for the Kostanay region, a negative correlation was observed between LST and NDVI as well as NDWI, meaning that an increase in temperature was accompanied by a decrease in vegetation cover and a reduction in the water index.

The analysis of the NDVI, NDMI, NDWI, and SWIR indices for the Amankaragay forest area revealed a close relationship between the biomass and moisture content of the forest ecosystems. An increase in the values of NDVI, NDMI, and NDWI is accompanied by a decrease in SWIR, which reflects the gradual restoration of vegetation cover and the improvement of water conditions. In the period from

2022 to 2025, there has been a pronounced positive trend, especially in 2024 and 2025, when the forest showed signs of sustainable recovery and ecosystem stabilization. The analysis of the calculated normalized difference indices of temperature, vegetation, and water in the Kostanay region showed that there was a significant increase in temperature and a decrease in vegetation levels from 2014 to 2023. The area of surface water has also decreased. The changes in vegetation and surface water areas are well correlated with changes in the Earth's surface temperature.

The results provide insights into the impacts of climate change and wildfires on regional landscape components.

Keywords: LST, NDVI, NDWI, NDMI, NBR, Kostanay region, wildfire, landscape changes.

Ж.Т. Омиржанова^{1*}, К.Т. Картбаева¹, Д.С. Бекболат²

¹Международная образовательная корпорация, Алматы, Казахстан

²РГУ «Департамент управления земельными ресурсами Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан по управлению земельными ресурсами Алматинской области», Конаев, Казахстан

*e-mail: zh.omirzhanova@kazgasa.kz

Оценка пространственных и временных изменений ландшафтных компонентов Костанайской области с использованием данных дистанционного зондирования

В статье проведен анализ пространственно-временных изменений ландшафтных компонентов Костанайской области на основе данных дистанционного зондирования. В исследовании использованы спутниковые данные MODIS, Landsat и Sentinel-2 с расчетом индексов температуры поверхности земли (LST), растительности (NDVI), водных объектов (NDWI), влажности (NDMI) и гарей (NBR). Данные MODIS применялись для анализа региональных долгосрочных тенденций, а данные Landsat и Sentinel-2 – для детального изучения изменений до и после пожара в Аманкарагайском лесном массиве.

При анализе LST, NDVI и NDWI по Костанайской области была выявлена отрицательная корреляция между LST, NDVI и NDWI, то есть повышение температуры сопровождалось снижением растительного покрова и уменьшением водного индекса.

Анализ индексов NDVI, NDMI, NDWI и SWIR на территорию Аманкарагайского лесного массива показал тесную взаимосвязь между биомассой и влажностью лесных экосистем. Повышение значений NDVI, NDMI и NDWI сопровождается снижением SWIR, что отражает постепенное восстановление растительного покрова и улучшение водного режима. В период 2022–2025 годов наблюдается выраженная положительная динамика, особенно в 2024–2025 годах, когда лес демонстрирует признаки устойчивого восстановления и стабилизации экосистемы. Анализ вычисленных нормализованных разностных индексов температуры, растительности, воды на территорию Костанайской области показал, что за 2014–2023 годы наблюдалось значительное повышение температуры и снижение уровня растительности. Площадь поверхностных вод также сократилась. Изменения в площадях растительности и поверхностных вод хорошо коррелируются с изменениями температуры земной поверхности.

Полученные результаты позволяют оценить влияние климатических изменений и пожаров на ландшафтные компоненты региона.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, LST, NDVI, NDWI, NDMI, NBR, Костанайская область, лесной пожар, ландшафтные изменения.

Кіріспе

Қазақстанның солтүстік бөлігінде орналасқан Қостанай облысы табиғи жағдайлары мен экожүйелерінің әртүрлілігімен ерекшеленетін өңірлердің бірі болып табылады. Алайда соңғы онжылдықта климаттың өзгеруі, ауа температурасының тұрақты жоғарылауы, құрғақшылықтың күшеюі және орман өрттерінің жиілеуі өңірдің экожүйелік тепе-теңдігіне елеулі ықпал етті. Бұл үдерістер өсімдік жамылғысының деградациясына, жер үсті суларының азаюына және ландшафт құрылымының өзгеруіне алып келуде.

Қазіргі уақытта қашықтан зондтау технологиялары табиғи жүйелердің кеңістіктік және уақыттық динамикасын зерттеудің ең тиімді құралдарының бірі ретінде кеңінен қолданылады. Көптеген халықаралық зерттеулер NDVI, NDWI, NDMI, NBR және LST сияқты спектралдық индекстердің экожүйелердің жай-күйін, олардың өзгеру қарқынын және деградация деңгейін бағалауда жоғары тиімділігін көрсетеді. Бұл индекстер спутниктік кескіндердің әртүрлі спектралдық арналары негізінде есептеліп, өсімдік жамылғысы, су ресурстары, ылғалдылық және температуралық режимдегі өзгерістерді сандық түрғыдан сипаттауға мүмкіндік береді.

LST (Land Surface Temperature) жер бетінің температуралық режимін және климаттық қысымның кеңістіктік көрінісін сипаттайтын маңызды көрсеткіш болып табылады. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) өсімдік жамылғысының тығыздығы мен жағдайын, NDWI (Normalized Difference Water Index) жер үсті суларының таралуын, NBR (Normalized Burn Ratio) өрттен кейінгі зақымдану деңгейін, ал NDMI (Normalized Difference Moisture Index) өсімдік пен топырақ ылғалдылығын бағалауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар SWIR (Short-Wave Infrared) спектралдық диапазоны түгін әсеріне сезімталдығы төмен болғандықтан, өрт ошақтарын және күйген аумақтарды анықтауда кеңінен қолданылады.

Өсімдік жамылғысының ұзақ мерзімді динамикасын үздіксіз бақылау үшін жоғары уақыттық қайталану жиілігімен сипатталатын MODIS спутниктік деректерін пайдалану тиімді болып табылады (Sodnomov et al., 2017; Palacios-Orueta et al., 2024). MODIS деректері негізінде жер беті температурасын есептеу кезінде, әдетте, спутниктің екі термалды инфрақызыл арнасының жарықтық температураларын пайдаланатын Split-Window әдісі қолданылады (Selcuk, 2025).

Landsat 7 және Landsat 8 спутниктері негізінде NDVI, NDBI және NDWI индекстерін есептеу әдістері, сондай-ақ спектралдық арналары мен олардың кеңістіктік ажыратымдылығы бір-қатар еңбектерде егжей-тегжейлі сипатталған (Tek, 2018). Landsat-8 және Sentinel-2 деректерін пайдалану арқылы өсімдік жамылғысының өзгерістерін бағалау отандық және шетелдік зерттеулерде кеңінен қарастырылған (Максутбеков және т.б., 2020; Brown et al., 2020; Ozgedinova et al., 2024).

Ғарыштық түсірілімдер негізінде спектралдық индекстер мен жер беті температурасының өзгерістерін талдау орман аумақтарының өрт қауіптілігін бағалауда маңызды рөл атқарады. Зерттеулерге сәйкес, әртүрлі табиғи-географиялық жағдайларда LST пен NDVI арасында айқын теріс корреляция байқалады, яғни температураның жоғарылауы өсімдік жамылғысының төмендеуімен қатар жүреді (Kumar & Singh, 2023; Rahimi et al., 2025). Сонымен қатар өрттердің пайда болу жиілігі мен ылғалдылық жағдайлары арасындағы байланыс NDMI сияқты индекстер арқылы тиімді анықталады (Сычев және т.б., 2020).

Жер үсті суларының кеңістіктік таралуын анықтауда NDWI және оның түрлендірілген

нұсқалары (MNDWI, AWEI) кеңінен қолданылады. Әдеби деректерге сәйкес, су нысандарын анықтауда MNDWI индексіні қолдану жоғары дәлдікке қол жеткізуге мүмкіндік береді, кей зерттеулерде бұл көрсеткіш 88,2–98,7% аралығында бағаланған (Sawetwong & Reungsang, 2021; Ibka et al., 2024).

Осы зерттеуде Қостанай облысы аумағында ландшафт компоненттерінің кеңістіктік-уақыттық өзгерістерін бағалау мақсатында әртүрлі кеңістіктік және уақыттық ажыратымдылықтағы спутниктік деректерді біріктіріп қолдану тәсілі пайдаланылды. Өңірлік деңгейдегі ұзақ мерзімді үрдістерді талдау үшін MODIS деректері (LST – 1 км, NDVI – 250 м) қолданылды, ал ұсақ масштабтағы өзгерістерді, соның ішінде Аманқарағай орман алқабындағы өртке дейінгі және өрттен кейінгі экожүйелік динамиканы егжей-тегжейлі бағалау үшін USGS дерекқорынан алынған Landsat (30 м) және Copernicus платформасынан алынған Sentinel-2 L2A (10–20 м) деректері пайдаланылды. Мұндай кешенді тәсіл климаттың өзгеруі мен антропогендік факторлардың ландшафт компоненттеріне әсерін неғұрлым дәл бағалауға мүмкіндік береді (Ghaderpour et al., 2024; He et al., 2024).

Зерттеу материалдары және әдістері

Зерттеу аймағы және дереккөздер

Зерттеу нысаны ретінде Қазақстанның солтүстік бөлігінде орналасқан Қостанай облысы және оның аумағындағы Аманқарағай орман алқабы таңдалды. Өңірдің кең аумағы мен табиғи-географиялық ерекшеліктерін ескере отырып, зерттеуде әртүрлі кеңістіктік және уақыттық ажыратымдылықтағы спутниктік деректер пайдаланылды.

Деректерді алу үшін ресми ашық платформалар қолданылды: NASA Earth Observing System Data and Information System (NASA EOSDIS), АҚШ Геологиялық қызметінің EarthExplorer платформасы (USGS) және Copernicus деректер қоры. Аталған дереккөздерден MODIS, Landsat және Sentinel-2 спутниктік жүйелерінен алынған көпжылдық және көпспектралды деректер жүктелді.

Спутниктік кескіндерді іріктеу кезінде түсіру сәтіндегі бұлттылық деңгейі (3%-дан аспауы), зерттеу кезеңіне сәйкестігі, кеңістіктік ажыратымдылығы және зерттеу аумағын толық қамтуы негізгі критерийлер ретінде қарастырылды. Деректерді жинау және өңдеу кезеңде-

рінің әрқайсысында сапаны бақылау жүргізіліп, географиялық координаттардың сәйкестігі, радиометриялық дәлдігі және алынған нәтижелердің сенімділігі климаттық статистикалық деректермен салыстыру арқылы тексерілді.

Спутниктік деректерді қолдану логикасы

MODIS спутниктік деректерінің кеңістіктік ажыратымдылығы салыстырмалы түрде төмен болғандықтан ($LST - 1 \text{ км}$, $NDVI - 250 \text{ м}$), олар Қостанай облысы аумағында өңірлік деңгейдегі ұзақ мерзімді өзгерістерді талдау үшін пайдаланылды. Бұл деректер жер беті температурасының және өсімдік жамылғысының көпжылдық үрдістерін анықтауға мүмкіндік берді.

Ал Аманқарағай орман алқабындағы өртке дейінгі және өрттен кейінгі жағдайды егжей-тегжейлі бағалау мақсатында жоғары кеңістіктік ажыратымдылықтағы Landsat (30 м) және Sentinel-2 L2A (10–20 м) спутниктік деректері қолданылды. Бұл тәсіл шағын аумақтардағы экожүйелік өзгерістерді, өсімдік жамылғысының деградациясы мен қалпына келу үдерістерін нақты бейнелеуге мүмкіндік берді. Осыған сәйкес уақыттық қатарлар зерттеу мақсатына және қолданылған деректердің ерекшеліктеріне қарай бейімделіп қалыптастырылды.

Зерттеу әдістері

Жер беті температурасы (LST) индексін есептеу

Қостанай облысының жер беті температурасының кеңістіктік-уақыттық өзгерістерін талдау үшін MODIS спутниктік деректері пайдаланылды. LST деректерін алу MODIS Reprojection Tool (MRT) бағдарламалық құралы арқылы жүзеге асырылды. Зерттеу барысында MODIS сенсорының 31 және 32 термалды инфрақызыл арналары (кеңістіктік ажыратымдылығы 1 км) қолданылды.

Жер беті температурасы Split-Window әдісі негізінде есептелді. Бұл әдіс атмосфералық әсерді азайту мақсатында екі термалды инфрақызыл арнаның жарықтық температураларын бірлесе пайдалануға мүмкіндік береді. LST индексі келесі формула бойынша есептелді:

$$LST = T_{31} + \alpha(T_{31} - T_{32}) + b(T_{31} - T_{32})^2 + c + dW(T_{31} - T_{32})(1 - \epsilon) + e\Delta\epsilon \quad (1)$$

мұндағы:

T_{31} және T_{32} – MODIS сенсорының 31 және 32 арналары бойынша жарықтық температуралар (К);

a, b, c, d, e – атмосфералық және жер беті жағдайларына тәуелді эмпирикалық коэффициенттер;

W – атмосферадағы су буының мөлшері;

ϵ – орташа беткі эмиссивтілік;

$\Delta\epsilon$ – екі арна арасындағы эмиссивтілік айырмасы.

Деректерді өңдеу ArcGIS бағдарламасында Raster Calculator құралы көмегімен жүргізілді. Алынған нәтижелер әртүрлі уақыт кезеңдері бойынша салыстырмалы талдаудан өтті.

Өрт әсерін бағалау үшін NBR индексін есептеу

Өсімдік жамылғысының өрттен кейінгі зақымдану дәрежесін бағалау мақсатында нормаланған жану индексі (Normalized Burn Ratio, NBR) қолданылды. Бұл индекс жақын инфрақызыл (NIR) және қысқа толқынды инфрақызыл (SWIR) диапазондардың спектралдық қасиеттеріне негізделді.

NBR индексі келесі формула бойынша есептелді:

$$NBR = (B_{NIR} - B_{SWIR}) / (B_{NIR} + B_{SWIR}) \quad (2)$$

мұндағы:

B_{NIR} – жақын инфрақызыл диапазондағы шағылу қабілеті;

B_{SWIR} – қысқа толқынды инфрақызыл диапазондағы шағылу қабілеті.

Бұл индекс өртенген, зақымданған және қалпына келу кезеңіндегі аумақтарды айқындауға мүмкіндік берді.

Өсімдік жамылғысын талдау ($NDVI$ және $NDMI$)

Өсімдік жамылғысының күйін және оның динамикасын бағалау үшін нормаланған айырмалық вегетациялық индекс ($NDVI$) және ылғалдылық индексі ($NDMI$) есептелді. $NDVI$ деректері MODIS Vegetation Index Toolkit (MOD13Q1) өнімдері негізінде алынды.

$NDVI$ индексі ArcGIS бағдарламасында Raster Calculator құралы арқылы келесі формула бойынша есептелді:

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red) \quad (3)$$

$$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR) \quad (4)$$

мұндағы:

NIR – жақын инфрақызыл диапазон;
Red – қызыл диапазон.

NDMI индексі өсімдік пен топырақ ылғалдылығын бағалау үшін қолданылып, өрт қаупі мен құрғақшылық жағдайларын талдауда пайдаланылды. Уақыттық қатарларды талдау арқылы өсімдік жамылғысының деградация және қалпына келу үрдістері анықталды.

Жер үсті суларының динамикасын талдау (NDWI)

Қостанай облысы аумағындағы жер үсті суларының өзгерісін бағалау үшін нормалданған айырмалық су индексі (NDWI) есептелді. Ол үшін USGS дерекқорынан алынған Landsat 8–9 OLI/TIRS C2 Level 2 SR өнімдері пайдаланылды (барлығы 184 сцена, 3 және 5 арналары).

NDWI индексі ArcGIS бағдарламасында Raster Calculator көмегімен келесі формула бойынша есептелді:

мұндағы:

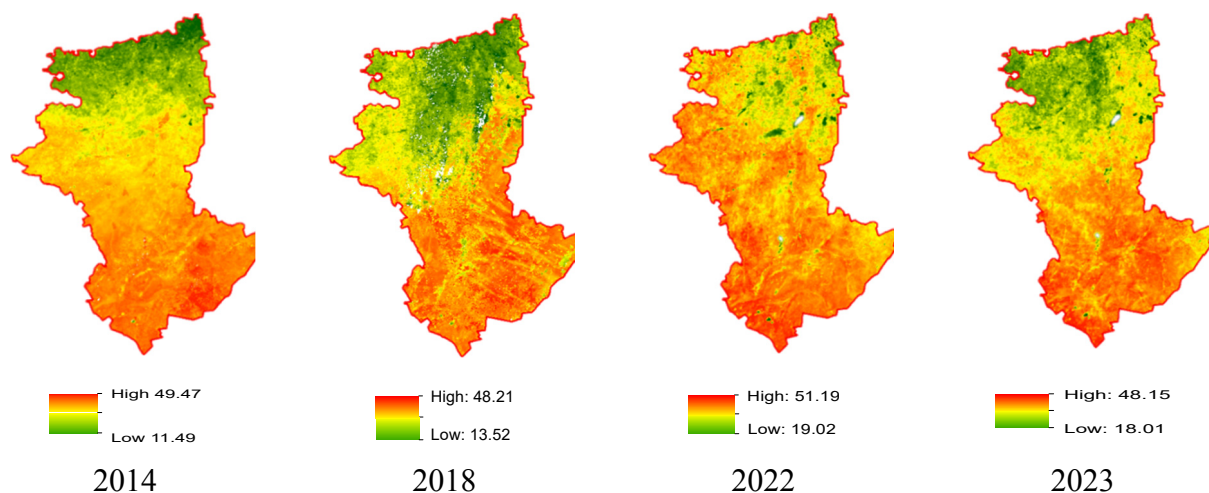
Green – жасыл спектрлік диапазон;
NIR – жақын инфрақызыл диапазон.

Атмосфералық түзетуден өткен деректерді пайдалану есептеулердің дәлдігін арттырып, жер үсті суларының кеңістіктік таралуын сенімді бағалауға мүмкіндік берді.

Зерттеу нәтижелері және талқылау

Алдымен MODIS спутниктік деректері негізінде Қостанай облысының жер температурасының (LST) карталары жасалды. LST карталары жасыл, сары және қызғылт сары және қызыл түстерге жіктелді (сур. 1).

Жасыл түспен температура салыстырмалы түрде қолайлы аймақтар, сары және қызғылт сары түстермен қоңыржай температуралық аймақтар, ал қызыл түспен ең жоғары температура байқалатын аймақтар көрсетілді.



1-сурет – Қостанай облысының 2014–2023 ж. жер температурасы LST картасы

2014, 2018, 2022 және 2023 жылдың тамыз айындағы есептелген LST мәндері Қостанай облысы аумағында температураның жалпы жоғарылау үрдісін көрсетті, бұл жаһандық климаттың жылыну тенденцияларымен сәйкес келеді. Температураның ең жоғары мәндері 2022 жылы тіркелді. Ал 2023 жылы жалпы жылыну үрдісі сақталғанмен, температураның салыстырмалы түрде біршама төмендеуі байқалды. Бұл құбы-

лыс өңірдегі температурлық режимнің уақытша тұрақтануын немесе бәсеңдеуін көрсетуі мүмкін.

Аталған ауытқулар әртүрлі факторлардың әсерімен түсіндіріледі. Біріншіден, атмосфералық циркуляция ерекшеліктері мен ауа массаларының қозғалысы жылу ағынының уақытша өзгеруіне ықпал етуі мүмкін. Екіншіден, жерді пайдалану құрылымындағы өзгерістер және өңірдің географиялық ерекшеліктері жергілікті

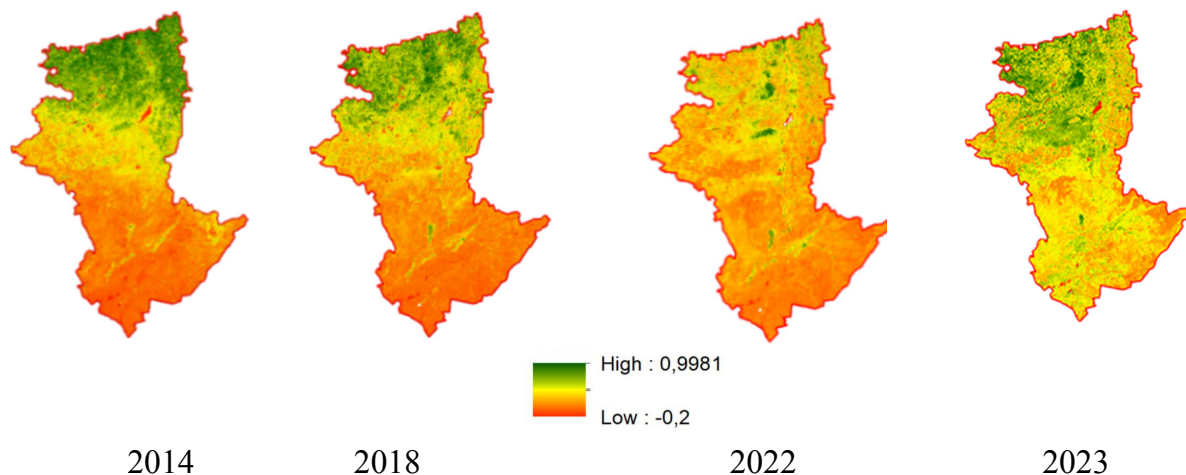
температуралық айырмашылықтардың қалыптасуына әсер етеді. Бұл үдерістерді түсіну климаттық өзгерістердің өңірлік экожүйелерге, ауыл шаруашылығына және су ресурстарына ықпалын бағалау үшін маңызды.

Қостанай облысының өсімдік жамылғысы топырақ жағдайлары мен географиялық ерекшеліктерге байланысты әркелкі таралған. Өсімдіктердің спектралдық қасиеттері олардың күйін бағалауда негізгі көрсеткіш болып табылады. Сау өсімдіктер жақын инфрақызыл диапазонда (0,7–1,3 мкм) жоғары шағылыстыру қабілетіне ие, бұл өсімдік жапырақтарының ішкі құрылымымен байланысты. Осыған байланысты инфрақызыл диапазонда жоғары шағылысу және қызыл спектрде жоғары сіңіру қасиеттері NDVI индексін есептеудің негізі болып табылады.

Бұл зерттеуде 2014–2023 жылдар аралығында есептелген NDVI индекстері негізінде Қостанай облысындағы өсімдік жамылғысының кеңістіктік-уақыттық өзгерістері талданды (сурет 2). Талдау нәтижелері жылдық маусымдық циклды ескере отырып салыстырмалы түрде жүргізілді.

NDVI индексінің мәндері -1 мен $+1$ аралығында өзгереді. Жоғары NDVI мәндері жақын инфрақызыл сәулеленудің қарқынды шағылуын, яғни тығыз өсімдік жамылғысын сипаттайды. Ал теріс немесе нөлге жуық мәндер су объектілері мен өсімдік жамылғысы жоқ аумақтарды көрсетеді. Әдеби деректерге сәйкес (Тек, 2018), NDVI мәндері келесі түрде интерпретацияланады:

- 1–0 аралығы – су объектілері;
 - 0,1–0,1 аралығы – құнарсыз жыныстар, құм немесе жалаңаш жер беті;
 - 0,2–0,5 аралығы – бұталар, шабындықтар немесе өсіп келе жатқан дақылдар;
 - 0,6–1,0 аралығы – тығыз өсімдік жамылғысы.
- Қостанай облысы бойынша зерттеуде NDVI мәндері төмендегі диапазондар бойынша жіктелді:
- 0,01–0,1 – бос жерлер, тастар, құм және қар жамылғысы;
 - 0,2–0,5 – бұталар, шабындықтар және ауыл шаруашылығы дақылдары;
 - 0,6-дан 1-ге дейін – тығыз өсімдіктер.



2-сурет – Қостанай облысының 2014–2023 ж. NDVI картасы

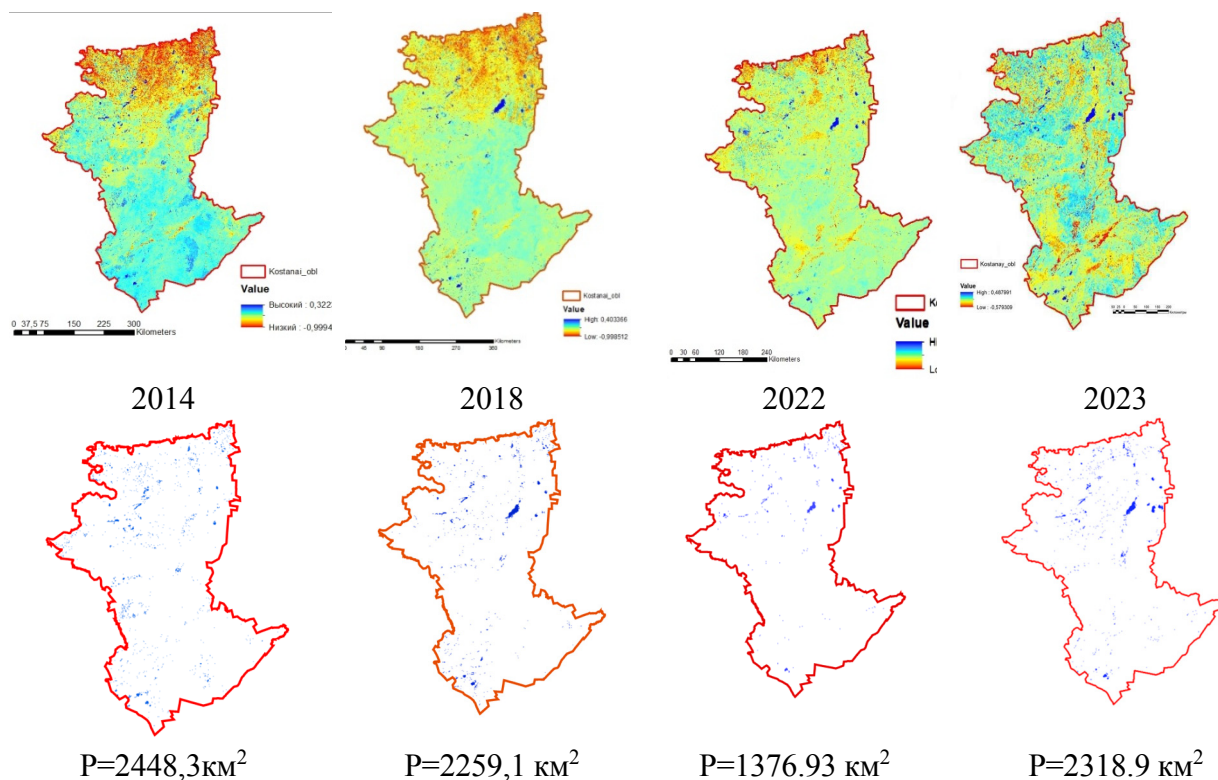
Талдау нәтижесі өсімдіктердің айтарлықтай төмендеуін көрсетті (кесте 1). Бұл төмендеуді әртүрлі факторлармен, соның ішінде климаттың өзгеруімен, адамның іс-әрекетімен және табиғи процестермен түсіндіруге болады.

Өсімдік жамылғысының динамикасына температуралық режимнен бөлек, жерүсті суларының жағдайы да әсер етеді.

Қостанай облысы аумағында су объектілерін бейнелеу үшін нормаланған айырмалық су индексі (NDWI) таңдалды, мұнда жасыл спектр 3-каналға, жақын инфрақызыл диапазон 5-каналға сәйкес келеді. NDWI мәндерінің әртүрлі жіктеулері кездеседі, соның ішінде біз (EOS Data Analytics, <https://eos.com/ru/make-an-analysis/ndwi/>) ұсынған келесі диапазондарды таңдадық:

0,2–1 – су беті;
0–0,2 – су басу, ылғалдылық;
0,3–0,0 – орташа құрғақшылық, су емес нысандар;

–1– –0,3 – құрғақшылық, су емес беттер.
NDWI есептелгеннен кейін мозаикалау жасалып, Қостанай облысының NDWI карталары құрастырылды (3-сурет).



3-сурет – Қостанай облысы 2014–2023 ж. бойынша NDWI картасы

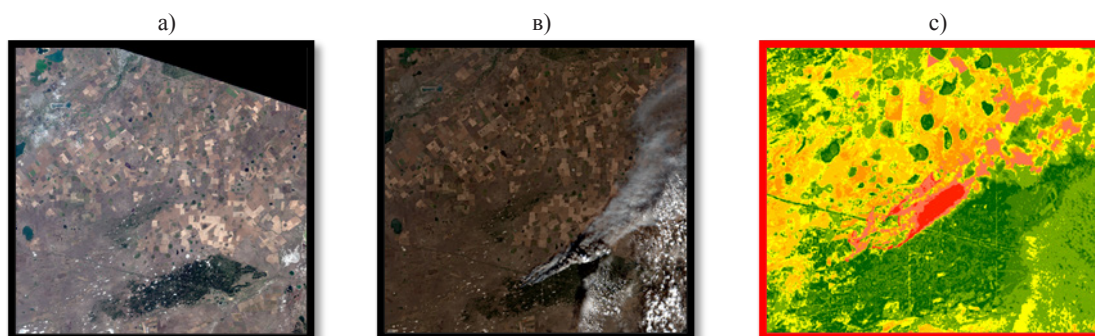
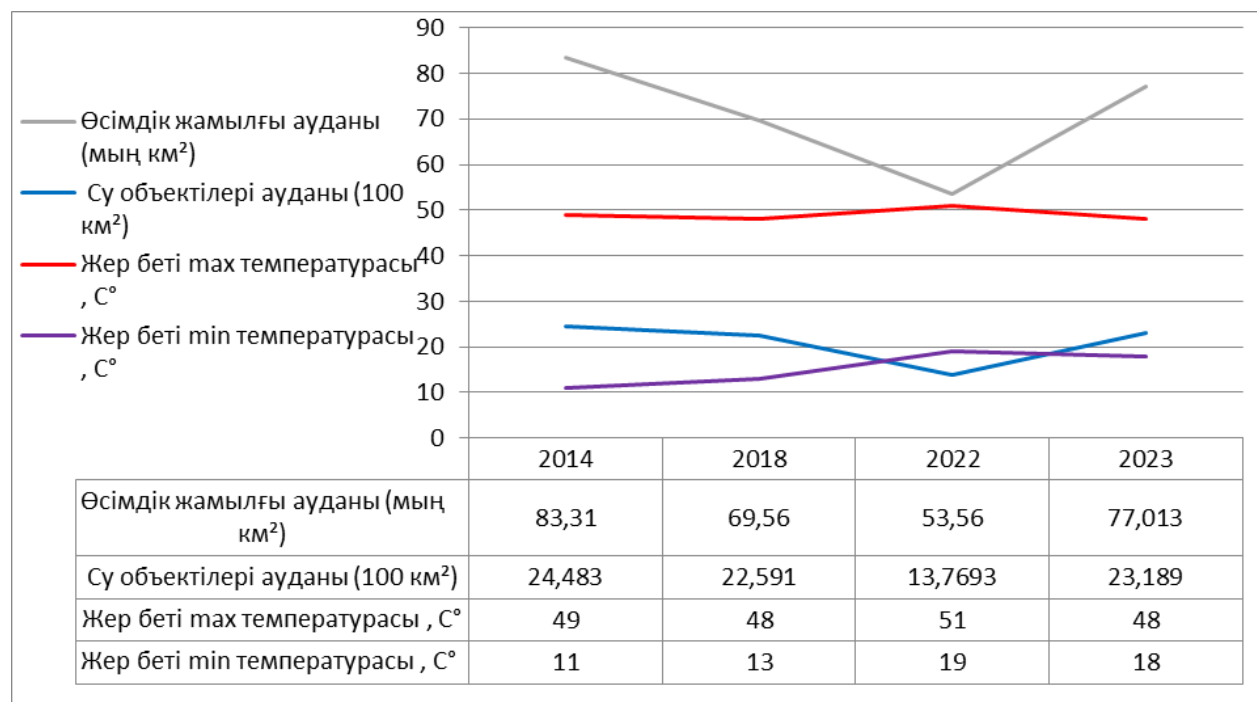
Ары қарай талдау үшін растр қайта жіктеліп, [0–ден +1–ге дейін] аралығындағы мәндері бар учаскелер – беткі су нысандары ретінде анықталып, олардың аудандары есептелді (кесте 1). Кестеде көрсетілгендей, Қостанай облысы аумағында 2014 жылдан 2022 жылға дейін су нысандарының ауданының төмендеуі байқалды, ал 2023 жылы керісінше біршама өсуі тіркелді.

Қостанай облысында 2022 жылғы 2 қыркүйекте Әуликөл ауданының орман шаруашылығы аумағында өрт болды. Өрттің пайда болу кезіндегі жалпы ауданы 43 мың гектарды құрады, бұл ғарыштық суреттерде айқын көрінеді (4 сурет).

Қазақстан Республикасы ТЖМ есебіне сәйкес, орман өртінің таралу алаңы 9 400 гектардан асты (Әуликөл ауданындағы орман алқаптарының жалпы ауданы 40 000 гектар болған кезде), тек жеті өлшемді орман шаруашылығында орманмен жабылған зардап шеккен алаң 24 919,8 гектарды құрады (Tengrinews.kz, 2022).

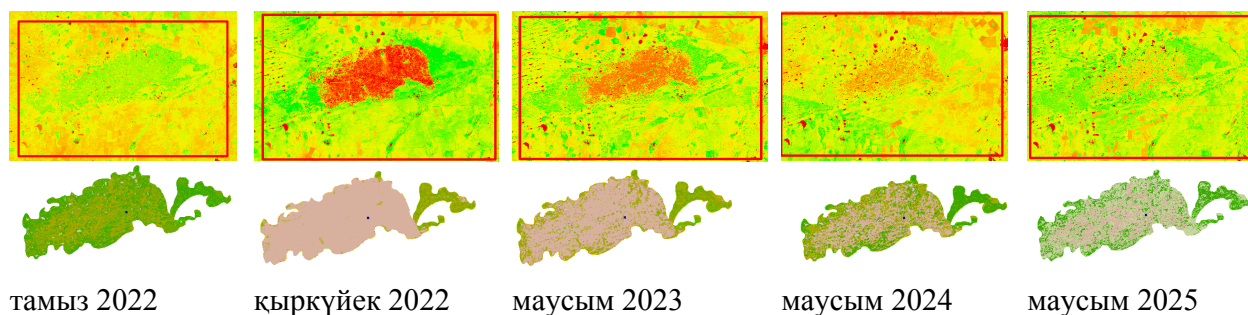
Өртеніп кеткен орман алқаптары мәселесі соңғы жылдары өте ыстық және құрғақ климатқа байланысты өзекті болды (Кузнецова, Казбек, 2021), бұл көптеген орман өрттеріне және орман ресурстарына айтарлықтай шығын әкелді. Өрттің салдары экологиялық ортадағы елеулі өзгерістер ғана емес, сонымен қатар биоөртүрлілік пен экожүйелердің тұрақтылығын бұзатын топырақ сапасының нашарлауы, өсімдік жамылғысының төмендеуі болып табылады. Авторлардың (Токарева, Алшаиби, Пасько, 2021) деректері бойынша тамыз айында топырақтың кебуі NDVI мәндерінің төмендеуімен қатар, көбінесе, ағаштардың өртенуіне әкеледі.

Әуликөл ауданындағы өрт кезінде есептелген NBR индексі арқылы орман алқаптарының өртенген учаскесін анық көруге (сур. 4с) және зақымдалған аймақтың ауданын анықтауға болады.

1-кесте – LST, NDVI, NDWI көрсеткіштерінің өзгеру динамикасы**4-сурет** – а) өртке дейін; в) өрт кезіндегі суреттер; с) NBR индексі

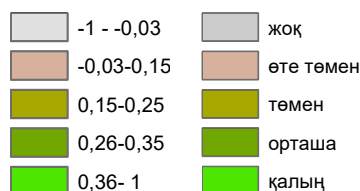
2023 жылы өрттен бір жыл өткен соң өсімдік жамылғысының жақсаруы байқалады. Бұл өсім өрттен кейінгі өсімдіктердің қалпына келуіне, қалпына келтіру шараларын жүргізуге, сондай-ақ қолайлы метеорологиялық жағдайларға байланысты болуы мүмкін. Негізі, өрттен кейін аумақты қалпына келтіру әдетте ұзақ уақытты қажет етеді. Сол үшін Әулікөл ауданының Аманқарағай орман алқабының аумағына

Landsat 8 суреттері бойынша NDVI есептелді. Бұл жолы өртке дейінгі күндер, өрттен кейін бір ай, бір, екі және үш жыл таңдалды. 5-суретте (жоғарғы бөлігі) өртенген аумақ пен оның баяу қалпына келу процесі айқын көрінеді. Осылайша, 2023 жылы Қостанай облысында өсімдік жамылғысының өсуіне бұл аумақтың аумағы әсер етпеді және ол регенерациямен байланысты емес деп айтуға болады.



5-сурет – Аманқарағай орманының өзгеру динамикасы

Әрі қарай, талдау және зардап шеккен аумақтың дәрежесін анықтау үшін шкала жасалды (сур. 6). NDVI визуализациясы үшін растрлық қайта жіктеу жүргізілді (сурет 5), өсімдіктердің әр класының ауданы есептелді (кесте 2).



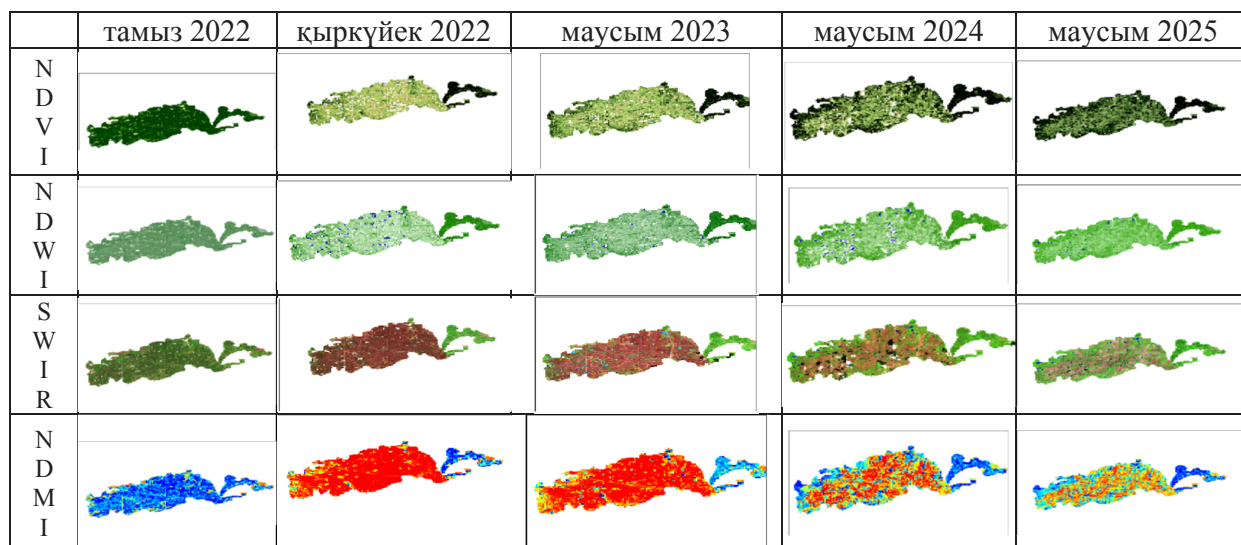
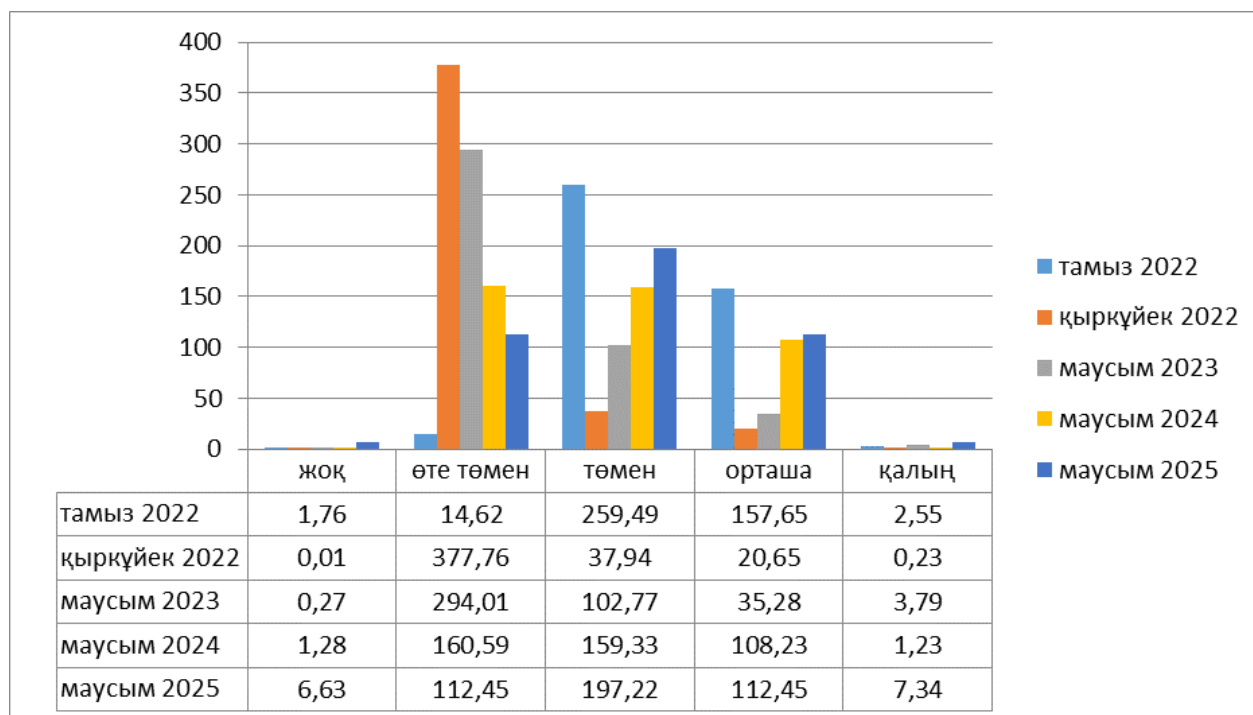
6-сурет – NDVI бойынша өсімдіктер жамылғысын жіктеу

Landsat спутниктік суреттері бойынша 2022–2025 жж. аралығындағы NDVI динамикасын талдау Аманқарағай орманындағы өрттен кейінгі өсімдік жамылғысының тозу және қалпына келу фазаларының айқын тізбегін көрсетті. 2022 жылдың тамыз айында, өртке дейін, орташа (157,7 мың га) және төмен (259,5 мың га) өсімдікті аумақтар басым болды. Ал 2022 жылдың қыркүйегінде өрттің салдарынан өте төмен NDVI көрсеткіштері бар аймақтардың аумағы 25 еседен астам өсіп, 377,6 мың гектарға жетті, бұл өсімдік жамылғысының дерлік толық жанып кеткенін білдіреді. 2023 жылдың маусымында күйген аумақтардың (294 мың га дейін) азаюы және төмен әрі орташа өсімдіктің үлесінің артуы байқалады, бұл шөптер және бұталы өсімдіктердің табиғи қалпына келе бастағанын көрсетеді. 2024 жылға қарай регенерация процесі күшейіп, орташа NDVI тығыздығы бар аумақтар 108 мың гектарға жетті, ал өте төмен мәндер екі есеге жуық азайды. 2025 жылы тығыз өсімдіктің 7,34 мың гектарға дейін артуы тіркелді, бұл жас ағаш өскіндерінің қалпына келіп жатқанын және эко-

жүйе жағдайының жақсарғанын білдіреді (кесте 2). Осылайша, 2025 жылы 2022 жылмен салыстырғанда орташа өсімдігі бар аумақтардың көлемі 5,5 есеге (81%) артқан, бұл табиғи регенерация заңдылықтарын немесе өңірде қалпына келтіру шараларының жүргізілгенін дәлелдейді.

2022 жылғы өрттен кейін өсімдік жамылғысының қалпына келуін бағалау үшін Sentinel-2 L2a спутнигі деректері бойынша NDVI, NDMI, NDWI және SWIR индекстері 2022 жылдың тамыз және қыркүйек, 2024, 2025 және 2023 жылдардың маусым айлары (7-сурет) үшін есептелді. Бұл көрсеткіштер Аманқарағай орман алқабының аумағындағы өсімдіктердің кеңістіктік-уақыттық динамикасын, ылғалдылығын және бетінің тозу дәрежесін байқауға мүмкіндік берді. SWIR диапазонындағы кескін өсімдіктер мен топырақта қанша су бар екенін көрсетеді, өйткені су SWIR толқындарын сіңіреді. Бұл композициялық суретте өсімдік жамылғысы – жасыл, топырақ және құрылыс салынған аумақтар – қоңырдың әртүрлі реңктерінде, ал су қара болып көрінеді. Жақында өртенген жер жолақтарда қатты шағылысады, бұл оларды өрттің зақымдану карталарын жасау үшін құнды етеді. SWIR өсімдіктердің әртүрлі түрлерінің арасында жақсы контрастты ұсынады, 12, 8а, 4 арналарына өсімдіктерді жасыл, өрттен пайда болған тыртықтарды қызыл түспен бейнелейді (Сычев, Р.С., Базарова, А.С., Базаров, А.В., 2020).

Ылғалдылық индексі- NDMI өсімдіктердің ылғалдылығын анықтау және құрғақшылықты бақылау үшін қолданылады. NDMI мәндерінің диапазоны -1-ден 1-ге дейін. Теріс NDMI мәндері (-1-ге жақын мәндер) құнарсыз топыраққа сәйкес келеді. Нөлге жақын мәндер (-0,2-ден 0,4-ке дейін) әдетте су тапшылығына сәйкес келеді. Жоғары, оң мәндер су тапшылығы жоқ жоғары ылғалдылықты көрсетеді (шамамен 0,4-тен 1-ге дейін).

2-кеснт – Өрттен кейін орман шаруашылығындағы өсімдіктің өзгеру динамикасы**7-сурет** – Sentinel-2 L2A бойынша NDVI, NDWI, SWIR, NDMI есептеу

2022 жылдың тамызында өртке дейінгі жағдай (7-суретте көрсетілгендей) аумақтың жоғары NDVI мәндерімен сипатталды, бұл тығыз орман жамылғысын білдіреді. NDMI мен NDWI көрсеткіштері де біршама жоғары болып, өсімдіктер мен топырақтың жақсы ылғалданғанын көрсетті. SWIR мәндерінің төмен болуы қуаң-

шылық белгілерінің жоқтығын дәлелдейді. Жалпы, экожүйе тұрақты, теңгерімді жағдайда болып, су режимі оңтайлы деңгейде сақталды.

2022 жылдың қыркүйегінде өрттен кейін NDVI, NDMI және NDWI көрсеткіштерінің күрт төмендеуі байқалды: қалың өсімдік жамылғысы дерлік жойылды. Сонымен қатар SWIR айтар-

лықтай артты, бұл күйген және құрғаған аумақтарға тән құбылыс. Өрттен бір жыл өткен соң NDVI мәндері қайта өсе бастады – өсімдіктің сирек және орташа тығыздықтағы жаңа учаскелері пайда болды. NDMI мен NDWI де көтеріліп, ылғалдың жиналуын және өсімдік қабатының қалпына келе бастауын көрсетті. SWIR төмендегенімен, құрғақтық белгілері әлі де сақталды. Бұл экожүйенің бастапқы қалпына келу фазасына өтіп, гидрологиялық циклдің жандана бастағанын білдіреді.

2024 жылы қалпына келу процесі айқынырақ көрінді: NDVI айтарлықтай өсіп, әсіресе орман массивінің орталық және солтүстік бөліктерінде жоғарылады. NDMI мен NDWI өсімдіктер мен топырақтың ылғалдылығының артқанын көрсетті, ал SWIR төмендеуін жалғастырып, құрғақ және күйген аумақтардың азайғанын байқатты. Жалпы алғанда, аумақта жас орман жамылғысы қалыптасып, микроклиматтық жағдайлар тұрақтана бастады.

2025 жылға қарай NDVI, NDMI және NDWI мәндері өрттен кейінгі бүкіл кезеңдегі ең жоғары көрсеткіштерге жетті, ал SWIR ең төменгі деңгейге дейін төмендеді. Бұл биомассаның қалпына келуін, су балансын жақсартуды және қалыпты ылғалмен қамтамасыз етілуінің қайта орнағанын білдіреді. Қалың өсімдік жамылғысының ауданы 2023 жылмен салыстырғанда үш еседен астам артты, бұл аумақтың тұрақты қалпына келу фазасына өткенін көрсетеді.

Қорытынды

Алынған деректерге сәйкес, Қостанай облысында 2014–2023 жылдар аралығында жер беті температурасының (LST) жалпы үрдісі тұрақты өсу бағытында екені анықталды. Осы кезеңде өсімдік жамылғысы мен жер үсті суларының аудандары, керісінше, қысқару үрдісін көрсетеді. Облыстың жалпы аумағы 196 мың км² болса, 2023 жылы өсімдіктермен жабылған аумақ 77 мың км²-ді құрап, облыс аумағының шамамен 40%-ын ғана қамтыды. Бұл Қостанай облысының едәуір бөлігі төмен өсімдікті немесе мүлдем өсімдіксіз аумақтардан тұратынын көрсетеді. Жер үсті су нысандарының ауданы облыс аумағының бар болғаны 2%-ын ғана құрайды.

Өсімдік жамылғысы мен су айдындары аудандарының өзгеруі жер беті температурасының өзгеруімен тығыз байланыста екені анықталды. Бұл байланыс өңір экожүйелерінің температуралық ауытқуларға жоғары сезімтал екенін

көрсетеді (сурет 9). LST пен NDVI арасындағы $-0,65$ корреляция коэффициентімен сипатталатын теріс байланыс байқалды, ол $y = -0,24x + 42$ теңдеуімен өрнектеледі және бұл заңдылық Ibka (2024) еңбегінде де расталған. Аталған нәтиже жер беті температурасының жоғарылауы өсімдік жамылғысының азаюымен тікелей байланысты екенін көрсетеді.

Аманқарағай орман алқабының жалпы ауданы 436,62 км² құрайды және оның едәуір бөлігін өте төмен және төмен өсімдіктері бар аумақтар алып жатыр. NDVI, NDMI, NDWI және SWIR негізінде жүргізілген талдау өсімдік биомассасы мен ылғалдылық жағдайларының өзара тығыз байланысын көрсетті. NDVI, NDMI және NDWI мәндерінің артуы SWIR көрсеткіштерінің төмендеуімен қатар жүріп, өсімдік жамылғысының біртіндеп қалпына келуін және су режимінің жақсарғанын көрсетеді. 2022–2025 жылдар аралығында, әсіресе 2024–2025 жылдары, орман экожүйесінің қалпына келуінде айқын оң динамика байқалды.

Өсімдік жамылғысының өзгеруі өңірдің су балансын бұзатыны белгілі: орман алқаптарының қысқаруы ағынды судың күшеюіне, топырақ эрозиясының артуына және топырақтың су ұстау қабілетінің төмендеуіне әкеледі. Өз кезегінде гидрологиялық режимнің өзгеруі өсімдіктердің өсуіне қолайсыз жағдай қалыптастырады. Сонымен қатар ауа температурасының жоғарылауы булану қарқынын арттырып, экожүйелердегі ылғал тапшылығын күшейтеді.

Жер беті температурасының тұрақты өсуі табиғи ресурстарды қорғау және ұтымды пайдалану бойынша тиімді шаралар қабылданбаған жағдайда, болашақта экожүйелер үшін күрделі салдарға әкелуі мүмкін. Осы зерттеуде есептелген спектралдық индекстер негізінде жүргізілген талдау климаттық өзгерістердің, антропогендік әсерлердің және өрт сияқты табиғи апаттардың өзара күрделі байланыста екенін көрсетеді.

Қашықтан зондтау деректерін қолдану Қостанай облысының табиғи ортасындағы өзгерістер динамикасын тереңірек түсінуге мүмкіндік берді. Бұл тәсіл өсімдік жамылғысы мен су ресурстарының жай-күйін бағалаумен қатар, ықтимал экологиялық және техногендік қауіптерді анықтауға, тұрақты мониторинг жүргізуге, аумақты жоспарлауға және табиғи ресурстарды ұтымды басқаруға негіз болады. Зерттеу нәтижелері Қостанай облысының тұрақты дамуына бағытталған ғылыми негізделген шешімдер қабылдау үшін маңызды ақпараттық база болып табылады.

Әдебиеттер

- Brown, J. F., et al. (2020). Lessons Learned Implementing an Operational Continuous United States National Land Change Monitoring Capability: The Land Change Monitoring, Assessment, and Projection (LCMAP) Approach. *Remote Sens. Environ*, 238, 113-125. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.11135>
- Ibka, M. S., Rahal D. D., Benharats, F., Sifodil, D. (2024). Spatiotemporal Impact of Urbanization on Urban Heat Island Using Landsat Imagery in Oran, Algeria: 1984–2024. <https://www.researchgate.net/publication/390254230>.
- Кузнецова И.А., Казбек С.К. (2021). «Семей орманы» қорығында орман өртін талдау: Google Earth қозғалтқышында машиналық оқытуды қолдану. *StudNent* 5(21). <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-lesnyh-pozharov-v-rezervate-semey-ormany-primenenie-mashinnogo-obucheniya-v-google-earth-engine/viewer>
- Ghaderpour, E., Mazzanti, P., Bozzano, F., & Scarascia Mugnozza, G. (2024). Trend Analysis of MODIS Land Surface Temperature and Land Cover in Central Italy. *Land*, 13(6), 796. <https://doi.org/10.3390/land13060796>
- He, X., Wang, D., Gao, S., Li, X., Chang, G., Jia, X., & Chen, Q. (2024). The anisotropy of MODIS LST in urban areas: A perspective from different time scales using model simulations. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 209, 448-460.
- Максутбеков А., Керімбай Б., Әбдіхалық Н., Керімбай Б. (2020). Landsat-8 және Sentinel 2 спутниктерінің спутниктік суреттері негізінде NDVI индекстерін есептеу. *ню-2020-1_p048-053.pdf*
- Ozgedinova Z., Zhanguzhina A., Mukaev Z., Bektemirova, A., Korytny L., & Ospan G. (2024). Spatial structure of nature management conflicts in Kostanay region. *Journal of Geography and Environmental Management*, 72(1), 131–142. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2024.v72.i1.010>
- Kumar, R. and Singh, S. (2023). Analysis of the relationship between land surface temperature (LST), land use land cover (LULC) and normalized difference vegetation index (NDVI) with topographic features in the Lower Himalayan region. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 31, 100982. [doi.org](https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.100982)
- Қостанай облысындағы өрт. (2022). Жаңалықтар *Tengrinews.kz* от 04 қыркүйек 2022. <https://tengrinews.kz>
- Palacios-orueta, A., Litago, J., & Ustin, S. (2024). Assessment of NDVI and NDWI spectral indices using MODIS time series analysis and development of a new spectral index based on MODIS shortwave infrared bands. <https://doi.org/10.13140/2.1.1305.4400>
- Содномов Б.В., Аюржанаев А.А., Цыдыпов Б.З., Гармаев Е.Ж. (2018). MODIS NDVI ұзақ мерзімді вариацияларын бағалау алгоритмі. Сібір федералды университетінің журналы. Техника және технология. №11(1). 61-68 Б. DOI: 10.17516/1999-494X-0009.
- Сычев, Р.С., Базарова, А.С., Базаров, А.В.. (2020). Sentinel 2 спутниктік түсірілімі негізінде орман өрт қаупін бағалауға арналған спектрлік индекстер. DOI 10.31554/978-5-7925-0592-6-2020-46-57
- Rahimi, E., Dong, P., & Jung, C. (2025). Global NDVI-LST Correlation: Temporal and Spatial Patterns from 2000 to 2024. *Environments*, 12(2), 67. <https://doi.org/10.3390/environments12020067>
- Sawetwong, C., & Reungsang, P. (2021). Comparison of NDWI, MNDWI1 and MNDWI2 Indices from Sentinel-2 Satellite Images for Extracting Urban Surface Water Bodies in Khon Kaen. *Journal of Applied Informatics and Technology*, 4(1), 1–12. <https://doi.org/10.14456/jait.2022.1>
- Selcuk, A. (2025). Determination of Land Surface Temperature (LST) with Landsat 8: Application of Tekirdag -Sarkoy Region. *The Journal of Scientific and Engineering Research*, 12 (2), 15-24. [JSAER2025-12-2-15-24.pdf](https://www.jsaer.com/2025-12-2-15-24.pdf)
- Tek B.R. (2018). NDVI, NDBI & NDWI Calculation Using Landsat 7, 8. https://www.researchgate.net/publication/327971920_NDVI_NDBI_NDWI_Calculation_Using_Landsat_7_8.
- Токарева, О.С., Алшаиби, А.Д., Пасько, О.А. (2021). Landsat спутниктік деректерін пайдалана отырып, орман өртенген аумақтардағы өсімдік жамылғысының қалпына келтіру динамикасын бағалау. *Томск политехникалық университетінің жаңалықтары. Георесурстар инженериясы*, 332(7), 191–199. <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-vosstanovitelnoy-dinamiki-rastitelnogo-pokrova-lesnyh-garey-s-ispolzovaniem-dannyh-so-sputnikov-landsat/viewer>

References

- Brown, J. F., et al. (2020). Lessons Learned Implementing an Operational Continuous United States National Land Change Monitoring Capability: The Land Change Monitoring, Assessment, and Projection (LCMAP) Approach. *Remote Sens. Environ*, 238, 113-125. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.11135>
- Ibka, M. S., Rahal D. D., Benharats, F., Sifodil, D. (2024). Spatiotemporal Impact of Urbanization on Urban Heat Island Using Landsat Imagery in Oran, Algeria: 1984–2024. <https://www.researchgate.net/publication/390254230>.
- Kuznecova, I.A., Kazbek, S.K. (2021). Analiz lesny'x pozharov v rezervate «Semej ormany»: prienie mashinnogo obucheniya v GOOGLE EARTH ENGINE. [Analysis of forest fires in the Semey Ormany Reserve: application of machine learning in GOOGLE EARTH ENGINE]. *StudNent* 5(21). <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-lesnyh-pozharov-v-rezervate-semey-ormany-primenenie-mashinnogo-obucheniya-v-google-earth-engine/viewer>
- EOS Data Analytics, <https://eos.com/ru/make-an-analysis/ndwi/>
- Ghaderpour, E., Mazzanti, P., Bozzano, F., & Scarascia Mugnozza, G. (2024). Trend Analysis of MODIS Land Surface Temperature and Land Cover in Central Italy. *Land*, 13(6), 796. <https://doi.org/10.3390/land13060796>
- He, X., Wang, D., Gao, S., Li, X., Chang, G., Jia, X., & Chen, Q. (2024). The anisotropy of MODIS LST in urban areas: A perspective from different time scales using model simulations. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 209, 448-460.

Maksutbekov A., Kerimbaj B., Əbdihalyk N., Kerimbaj B. (2020). Raschet indeksov NDVI na osnove kosmicheskikh snimkov so sputnikov Landsat-8 i Sentinel 2. nio-2020-1_p048-053.pdf.

Ozgedinova Z., Zhanguzhina A., Mukaev Z., Bektemirova, A., Korytny L., & Ospan G. (2024). Spatial structure of nature management conflicts in Kostanay region. *Journal of Geography and Environmental Management*, 72(1), 131–142. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2024.v72.i1.010>

Kumar, R. and Singh, S. (2023). Analysis of the relationship between land surface temperature (LST), land use land cover (LULC) and normalized difference vegetation index (NDVI) with topographic features in the Lower Himalayan region. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 31, 100982. doi.org

Pozhar v Kostanaiskoi oblasti. (2022). [Fire in Kostanay region]. *Novosti na Tengrinews.kz ot 04 sentiabria 2022*. <https://tengrinews.kz>

Palacios-orueta, A., Litago, J., & Ustin, S. (2024). Assessment of NDVI and NDWI spectral indices using MODIS time series analysis and development of a new spectral index based on MODIS shortwave infrared bands. <https://doi.org/10.13140/2.1.1305.4400>

Sodnomov B.V. Ayurzhanayev A.A., Cydypov B.Z., Garmaev E.Zh., (2018). Algoritm ocenki dolgovremennykh variacij MODIS NDVI [Algorithm of assessment of the MODIS NDVI long-term variations], *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Tekhnika i tekhnologiya. [J. Sib. Fed. Univ., Eng. technol.]* 11(1). 61-68. DOI: 10.17516/1999-494X-0009

Sychev, R.S., Bazarova, A.S., Bazarov, A.V. (2020). Spektralnye indeksy dlya ocenki pozharnoj opasnosti lesov po materialam semki sputnika Sentinel 2 [Spectral indices for assessing forest fire danger based on Sentinel 2 satellite imagery]. DOI 10.31554/978-5-7925-0592-6-2020-46-57

Rahimi, E., Dong, P., & Jung, C. (2025). Global NDVI-LST Correlation: Temporal and Spatial Patterns from 2000 to 2024. *Environments*, 12(2), 67. <https://doi.org/10.3390/environments12020067>

Sawetwong, C., & Reungsang, P. (2021). Comparison of NDWI, MNDWI1 and MNDWI2 Indices from Sentinel-2 Satellite Images for Extracting Urban Surface Water Bodies in Khon Kaen. *Journal of Applied Informatics and Technology*, 4(1), 1–12. <https://doi.org/10.14456/jait.2022.1>

Selcuk, A. (2025). Determination of Land Surface Temperature (LST) with Landsat 8: Application of Tekirdag -Sarkoy Region. *The Journal of Scientific and Engineering Research*, 12 (2), 15-24. JSAER2025-12-2-15-24.pdf

Tek B.R. (2018). NDVI, NDBI & NDWI Calculation Using Landsat 7, 8. https://www.researchgate.net/publication/327971920_NDVI_NDBI_NDWI_Calculation_Using_Landsat_7_8.

Tokareva O.S., Alshaibi A.D., Pas'ko O.A. (2021). Ocenka vosstanovitel'noj dinamiki rastitel'nogo pokrova lesnyh garej s ispol'zovaniem dannyh so sputnikov Landsat [Assessment of the regenerative dynamics of vegetation cover of forest harems using data from Landsat satellites], *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta [The News of Tomsk Polytechnic University]. Inzhiniring georesursov [Georesource engineering]*. 332(7), 191-199 pp. <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-vosstanovitelnoy-dinamiki-rastitelnogo-pokrova-lesnyh-garej-s-ispolzovaniem-dannyh-so-sputnikov-landsat/viewer>

Авторлар туралы мәлімет:

Ж.Т. Омиржанова – т. г. к., геодезия және картография, кадастр кафедрасының ассоц. проф., Халықаралық білім беру корпорациясы (Алматы, Қазақстан, e-mail: zh.omirzhanova@kazgasa.kz);

К.Т. Картбаева – PhD, геодезия және картография, кадастр кафедрасының ассоц. проф., Халықаралық білім беру корпорациясы (Алматы, Қазақстан, e-mail: k.kartbayeva@kazgasa.kz);

Д.С. Бекболат – бас маман, РММ «Ауыл шаруашылығы министрлігінің Жер ресурстарын басқару жөніндегі Алматы облысының Жер ресурстарын басқару департаменті» (Қонаев, Қазақстан, e-mail: dvm1ra3@gmail.com).

Information about authors:

Zh.T. Omirzhanova – k. t. s., Associate Professor of the Department of Geodesy and Cartography, Cadastre, International Educational Corporation (Almaty, Kazakhstan, e-mail: zh.omirzhanova@kazgasa.kz);

K.T. Kartbayeva – PhD, Associate Professor of the Department of Geodesy and Cartography, Cadastre, International Educational Corporation (Almaty, Kazakhstan, e-mail: k.kartbayeva@kazgasa.kz);

D.S. Bekbolat – Main Expert, RSU «Department of Land Resources Management of the Almaty Region for Land Resources Management of the Ministry of Agriculture» (Konaev, Kazakhstan, e-mail: dvm1ra3@gmail.com).

Сведения об авторах:

Ж.Т. Омиржанова – к. т. н., ассоц. проф. кафедры геодезии и картографии, кадастра, Международная образовательная корпорация (Алматы, Казахстан, e-mail: zh.omirzhanova@kazgasa.kz);

К.Т. Картбаева – PhD, ассоц. проф. кафедры геодезии и картографии, кадастра, Международная образовательная корпорация (Алматы, Казахстан, e-mail: k.kartbayeva@kazgasa.kz);

Д.С. Бекболат – гл. специалист, РГУ «Департамент по управлению земельными ресурсами Алматинской области по управлению земельными ресурсами Министерства сельского хозяйства» (Конаев, Казахстан, e-mail: dvm1ra3@gmail.com).

Келіп түсті: 25 қыркүйек 2025 жыл
Қабылданды: 14 желтоқсан 2025 жыл