



ҚАШЫҚТЫҚТАН ЗОНДТАУ
ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ
REMOTE SENSING

DOI 10.51885/1561-4212_2023_3_163
MFTAA 89.57.45

М.Е. Рахымбердина¹, Ә.М. Мұрзағалиева², Ж.А. Асылханова³, А.Е. Есенбекова⁴

Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

¹Mrahymberdina@edu.ektu.kz

²Muratkyzyaliya11@gmail.com*

³22solni6ko@mail.ru

⁴Esenbekova99@mail.ru

**ҒАРЫШТЫҚ СУРЕТТЕР БОЙЫНША ӨСКЕМЕН Қ.
ЖАСЫЛ ЖЕЛЕКТЕРІНІҢ ЖАҒДАЙЫН МОНИТОРИНГЛЕУ**

**МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ
Г. УСТЬ-КАМЕНОГОРСКА ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ**

**MONITORING OF THE STATE OF GREEN SPACES
IN UST-KAMENOGORSK BY SATELLITE IMAGES**

Аңдатпа. Мақалада ғарыштық түсіріс материалдары бойынша NDVI индексін есептеу негізінде Өскемен қаласының жасыл желектерінің жай-күйін зерттеу нәтижелері келтірілген. NDVI индексін есептеу қаланың жасыл жаңқасының, соның ішінде қаланың өнеркәсіптік және тұрғын аудандарының жалпы даму тенденциясын анықтауға көмектеседі. Өртүрлі ГАЖ бағдарламаларында жасалған векторлық карталар мен NDVI карталарын пайдалану елді мекендердегі жасыл желектердің жедел бақылаудың ең ұтымды және қолжетімді әдісі ретінде қарастырылды. Зерттеу нәтижелері бойынша 2021 жылға арналған қаладағы жасыл желектердің жалпы ауданы 279,17 га құрайды, бұл 2000, 2010 жылдармен салыстырғанда екпелер аумағының ұлғаюын көрсетеді, сондай-ақ қаланың ең жасыл аудандары белгіленді.

Түйін сөздер: ғарыштық суреттер, вегетациялық индексі, ГАЖ технологиялар, Жерді қашықтықтан зондтау, мониторинг

Аннотация. В статье приведены результаты исследования состояния зеленых насаждений г. Усть-Каменогорска на основе расчета индекса NDVI по материалам космической съемки. Расчет индекса NDVI помогает определить общую тенденцию развития зеленого каркаса города, в том числе промышленных и жилых районов города. Использование векторных карт и карт NDVI, созданных в различных ГИС-программах рассмотрен как наиболее рациональный и доступный метод оперативного мониторинга зеленых насаждений в населенных пунктах. По результатам исследований общая площадь зеленых насаждений в городе на 2021 г. составляет 279,17 га, что свидетельствует об увеличении площади насаждений по сравнению с 2000, 2010 годами, а также установлены наиболее зеленые районы города.

Ключевые слова: космические снимки, вегетационный индекс, ГИС технологии, дистанционное зондирование Земли, мониторинг

Abstract. The article presents the results of research of green spaces condition on the basis of NDVI index calculation using satellite imagery materials in Ust-Kamenogorsk city. Calculation of NDVI index helps to determine the general trend of development of green framework of the city, including industrial and residential areas of the city. Use of vector maps and NDVI maps created in different GIS-programs is considered as the most rational and available method of operational monitoring of green spaces in populated areas. According to the research results, the total area of green spaces in the city for 2021 is 279.17 ha,

which indicates an increase in the area of plantings compared to 2000, 2010, and the greenest areas of the city are established.

Keywords: satellite images, vegetation index, GIS technologies, remote sensing of the Earth, monitoring.

Kіpіcne. Жасыл желектер қаланың қолайлы экологиялық жағдайын қалыптастыруда маңызды рөл атқарады. Қалалық ландшафттарда олар оттегінің бөлінуіне, ауаны иондауға, шанды тұндыруға, шуды сіңіруге және микроклиматтың жайлы түрін қалыптастыруға байланысты өте маңызды функцияларды орындайды. Қалалық жасыл желектердің қазіргі жағдайы туралы ақпарат қалалық жерді пайдалануды жоспарлау және басқару үшін өте маңызды. Сондықтан әр жыл сайын қаладағы жасыл желектердің жағдайын бақылау жүргізіледі. Жасыл желектердің жағдайын бақылау бағалаудың әртүрлі әдістері тараған. Соның ішінде ғарыштық суреттерді пайдалану арқылы бақылау жасау ең тиімді және қолжетімді әдістердің бірі болып табылады [1]. Ғарыштық суреттер өсімдік жамылғысының күрделі құрылымын зерттеу мен картографиялаудың негізгі көздердің бірі болып табылады. Әртүрлі кеңістіктік шешімдегі ғарыштық суреттер өсімдік жамылғысының динамикасы мен жағдайын талдау, ормандарды есепке алу және картографиялау, биоалуантүрлілікті және орман экожүйелердің ресурстық әлеуетін бағалау және т.б. мақсаттарда кеңінен қолданылады.

Өскемен – Шығыс Қазақстанның ең ірі және өнеркәсіптік қала. Өскемен қаласының экологиялық жағдайына қарамастан, жасыл желектер көп шоғырланған қала болып саналады, бірақ соңғы жылдары ағаштар мен бұталардың саны азая бастады. Жыл сайын қалада 20-дан 30 мыңға дейін ағаш отырғызылады, олардың жартысы бірінші қыста аман қалады, ал үш жылдан кейін тек 10-20% тірі қалады. Бұл сауатсыз көшет отырғызу және тиісті күтімнің болмауына байланысты. Сонымен қатар, қаладағы көшелер мен аулаларды қайта құру барысында ағаштар кесіледі.

Жасыл желектердің жағдайы қазіргі заманғы қашықтықтан бақылау құралдарын қолдану арқылы жүзеге асырылады. Жасыл желектердің жағдайын бақылау, жасыл желектердің жай-күйін және оның дамуын, сондай-ақ жасыл желектердің сапасын жақсарту жөніндегі орындалатын табиғат қорғау іс-шараларының тиімділігін бағалау, жасыл желектердің жай-күйін болжау, олардың шаруашылық қызметін ақпараттық қамтамасыз ету мақсатында жасыл желектерді құру, күтіп ұстау, бақылау және қорғау салалары үшін жүргізіледі. Алайда, Өскемендегі жасыл желектердің жай-күйін бақылау міндеттерінің практикалық орындалуын жеткілікті дәлдікпен қамтамасыз етуге мүмкіндік беретін кешенді шешім әлі жоқ. Әртүрлі диапазондағы Жерді қашықтықтан бейнелеу өзгерістерді жабдықтарын қолдану арқылы алынған ғарыштық кескіндерді өңдеудің белгілі әдістерін анықтайтын жаңа алгоритмдерді әзірлеумен үйлестіру жасыл желектердің күйі туралы жедел және сенімді ақпарат береді [2].

Өскемен қаласының сәулет және құрылыс бөлімінің 2020 жылы жүргізген зерттеулері бойынша, қаладағы жалпы қолданыстағы жасыл желектердің ауданы 269 га құрайды, яғни әр Өскемендік тұрғынға 8 м² жасыл желектен келеді. Бұл нормаға сай емес, себебі Дүниежүзілік Денсаулық Сақтау Ұйымы (ДДСҰ) нормалары бойынша әрбір тұрғынға 50 м² жасыл желек келуі керек [3]. Сондықтан жасыл желектердің жағдайын бақылау, бағалау және жүргізілген зерттеулер бойынша жасыл аймақтарды тиімді пайдалану, жағдайларын жақсарту, ДДСҰ нормаларына сәйкес келтіру мақсатында шараларын біртіндеп енгізу қажет.

Материалдар және зерттеу әдістері. Зерттеу нысаны ретінде Өскемен қаласының жасыл желектері алынған. Өскемен қаласының жасыл аймақтары аумағындағы өзгерістерді анықтау үшін АҚШ-тың Геологиялық қызметі EathExplorer сайтынан жүктелген

кеңістіктік ажыратылымдығы 10-30 м тең GeoTIFF (Geographic tagged image file format) форматындағы файл түрінде Landsat 8 және Sentinel-2a ғарыштық суреттер қолданылды.

Соңғы жылдары жоғары ажыратымдылықтағы Sentinel-2a спутниктік деректері жер жамылғысының картасын жасаудың дәлдігін жақсарту үшін пайдаланылды, бұл пайдалануға дайын векторлық форматта дәл мультиспектрлік деректер жиынын құрудың жаңа мүмкіндіктерін береді [4].

Жасыл желектердің жағдайын бақылау және бағалау үшін әртүрлі вегетациялық индекстер қолданылады [5, 6]. Вегетациялық индекс (ВИ) – бұл ЖҚЗ әртүрлі спектрлік арналарымен операциялар нәтижесінде есептелетін және осы пиксельдегі өсімдік параметрлеріне қатысы бар көрсеткіш. ВИ тиімділігі өсімдіктердің жапырақтарымен шағылысу ерекшеліктерімен анықталады [4]. Вегетациялық индекстердің басты артықшылығы – оларды алудың жеңілдігі және олардың көмегімен шешілетін міндеттердің кең спектрі. Айта кету керек, кез-келген вегетациялық индекстер зерттелетін қасиеттің абсолютті көрсеткіштерін бермейді және олардың мәні сенсордың сипаттамаларына (спектрлік арналардың ені, рұқсаттылығы), түсіру жағдайларына, жарықтандыруға, атмосфераның күйіне байланысты. Олар тек өсімдік жамылғысының қасиеттеріне салыстырмалы баға береді, оларды түсіндіруге болады және далалық деректерді тарта отырып, абсолютті қайта есептеледі.

Жасыл желектердің жағдайын бағалау үшін ең көп таралған өсімдіктердің вегетациялық индекстерінің бірі NDVI индексі [4]. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – нормаланған салыстырмалы өсімдік көрсеткіші, фотосинтетикалық белсенді биомасса мөлшерінің көрсеткіші [7, 8].

NDVI мәні келесі формуламен есептеледі [9]:

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

мұндағы *NIR* – спектрдің жақын инфрақызыл аймағында шағылысу;

RED – спектрдің қызыл аймағындағы көрініс.

Осы формулаға сәйкес, кескіннің белгілі бір нүктесіндегі өсімдіктердің тығыздығы (NDNI) қызыл және инфрақызыл диапазондағы шағылысқан жарықтың қарқындылығының олардың қарқындылығының қосындысына тең.

Вегетациялық индексті есептеу өсімдіктердің шағылысуының спектрлік қисығының ең тұрақты екі аймағына негізделген. Спектрдің қызыл аймағында (0,6-0,7 мкм) жоғары тамырлы өсімдіктердің хлорофиллмен күн радиациясының максималды сінуі, ал инфрақызыл аймақта (0,7-1,0 мкм) жапырақтың жасушалық құрылымдарының максималды шағылысу аймағы болады [10].

NDVI вегетациялық индексі өсімдіктердің проблемалық аймақтарын анықтауға мүмкіндік береді және бұл ұзақ мерзімді болашақта өнімділікті арттыруға бағытталған ең дұрыс шешімдер қабылдауға мүмкіндік береді. Өсімдіктің әртүрлі күйі немесе жасыл фитомассаның көлемі бар жерлерді әртүрлі түстермен бейнелеуге болады. NDVI мәні -1-ден 1 дейін өзгереді [4].

NDVI вегетациялық индекс көрсеткіштері 1-кестеде көрсетілген.

1-кесте. NDVI вегетациялық индекс көрсеткіштерінің параметрлері

Нысан түрі	Спектрдің қызыл аймағындағы шағылысу	Спектрдің инфрақызыл аймағында шағылысу	NDVI мәні
Тығыз өсімдіктер	0,1	0,5	0,7

Таусылған өсімдіктер	0,1	0,3	0,5
Ашық топырақ	0,25	0,3	0,025
Бұлт	0,25	0,25	0

Зерттеулер 10.05.2000 ж. бастап 15.05.2021 ж. аралығында жүргізілді, яғни Өскемен қаласының жасыл желектерінің жағдайы 10 жыл аралықтарында қалай өзгергені туралы анықтау үшін, қаланың 2000, 2010 және 2021 жылдардағы ғарыштық суреттері жүктеліп, QGIS бағдарламасында NDVI индексі анықталды (1-сурет). Жасыл желектердің индексін есептеу үшін Өскемен қаласының ғарыштық суреттері келесі күндерге өңделді: 10.05.2000 ж., 11.05.2010 ж., 15.05.2021 ж.



1-сурет. QGIS бағдарламасында NDVI есептеу жолдары

Бағдарламаға ғарыштық суреттерді енгізгеннен кейін, алдымен Өскемен қаласының 2000, 2010 және 2021 жылдардағы ғарыштық суреттері бойынша жасыл желектердің NDVI индексі анықталды. Индексті анықтау үшін ғарыштық суреттің 4 және 8 каналдары қолданылды.

Нәтижелері және оларды талқылау. Зерттеудің бірінші кезеңінде қала аумағындағы өсімдік жамылғысының жағдайы QGIS бағдарламасында NDVI индексін анықтау (1) формуласы бойынша анықталды. Есептелген NDVI индекстің мәндері 2-кестеде көрсетілген.

2-кесте. Өскемен қаласындағы жасыл желектердің NDVI мәндерінің статистикасы

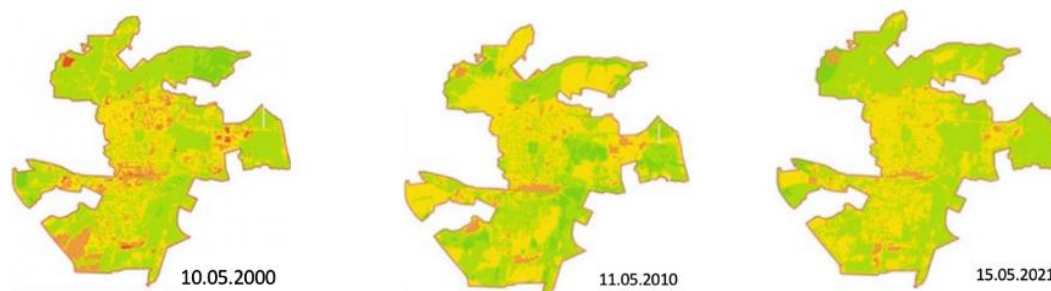
Аумақ	10.05.2000 ж.				
	M	σ	v	Min	Max
Қала бойынша	0,24	0,16	0,03	-0,35	1,00
Тұрғын аймақ	0,25	0,11	0,01	-0,12	0,64
Қоғамдық аймақ	0,17	0,12	0,01	-0,16	0,53
Өнеркәсіптік аймақ	0,16	0,16	0,01	-0,23	0,61
Ауыл шаруашылық мақсаттағы аймақ	0,41	0,12	0,01	-0,06	1,00
Демалу аймақтары (саябақ, бульвар)	0,29	0,17	0,01	-0,13	1,00

Аумақ	11.05.2010 ж.				
	М	σ	ν	Min	Max
Қала бойынша	0,28	0,18	0,03	-0,45	0,76
Тұрғын аймақ	0,17	0,12	0,01	-0,23	0,55
Қоғамдық аймақ	0,10	0,15	0,01	-0,27	0,44

2-кестенің соңы

Өнеркәсіптік аймақ	0,06	0,20	0,01	-0,35	0,52
Ауыл шаруашылық мақсаттағы аймақ	0,35	0,07	0,00	-0,09	0,52
Демалу аймақтары (саябақ, бульвар)	0,28	0,17	0,01	-0,40	0,76
Аумақ	15.05.2021 ж.				
	М	σ	ν	Min	Max
Қала бойынша	0,27	0,10	0,01	-0,14	0,75
Тұрғын аймақ	0,23	0,05	0,00	0,05	0,47
Қоғамдық аймақ	0,20	0,07	0,00	0,02	0,37
Өнеркәсіптік аймақ	0,22	0,10	0,00	-0,03	0,73
Ауыл шаруашылық мақсаттағы аймақ	0,33	0,10	0,00	0,15	0,74
Демалу аймақтары (саябақ, бульвар)	0,29	0,10	0,00	0,07	0,75

Өскемен қаласының жасыл желектерінің NDVI индексінің өзгеруі 2-суретте көрсетілген.



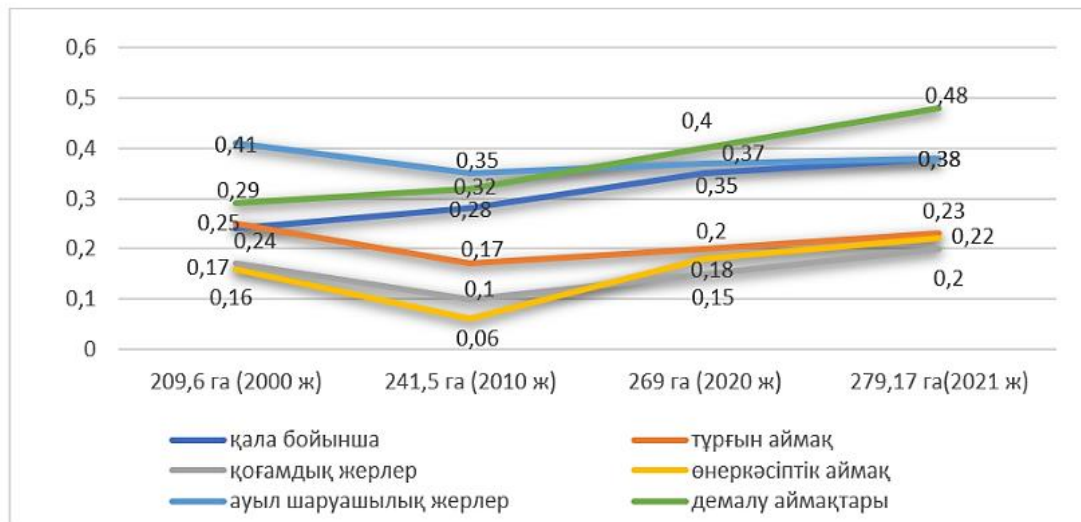
2-сурет. NDVI вегетациялық индексінің динамикасы
(10.05.2000 ж., 11.05.2010 ж., 15.05.2021 ж.)

Жасыл желектердің жағдайын вегетациялық индексті көрсететін шкаладан қарап бағалауға болады. Шкаладағы 1 саны жасыл желектердің вегетациялық дамуы жақсы екенін білдіреді. Яғни, картадағы қою жасыл түстермен қала маңындағы ормандар мен ағаштар, қала ішіндегі саябақтар мен жасыл желектер көрсетілген. Ал шкаладағы -1 мәні жасыл желексіз жерлерді, су және ашық топырақты білдіреді [11, 12].

Жасыл желектерді бақылау барысында қаланың қоғамдық аймақтары (2010 ж. 0,10-нан 2021 ж. 0,20-ға дейін) мен өнеркәсіптік аймақтары (2010 ж. 0,06-дан 2021 ж. 0,22-ға дейін) үшін NDVI орташа мәні айтарлықтай өсті. Соған қарамастан, бұл аймақтар үшін басқа аумақтық аймақтарға қарағанда биомассаның ең аз мәні тән. NDVI көрсеткішінің ең жоғары орташа мәндері қаланың демалу және ауыл шаруашылығы пайдалану аймақтарына тән (2021 ж. 0,29 және 0,33 ең жоғары көрсеткіш). Жалпы, қала бойынша өсімдіктердің жай-күйі біршама жақсарды деп қорытынды жасауға болады (3-сурет).

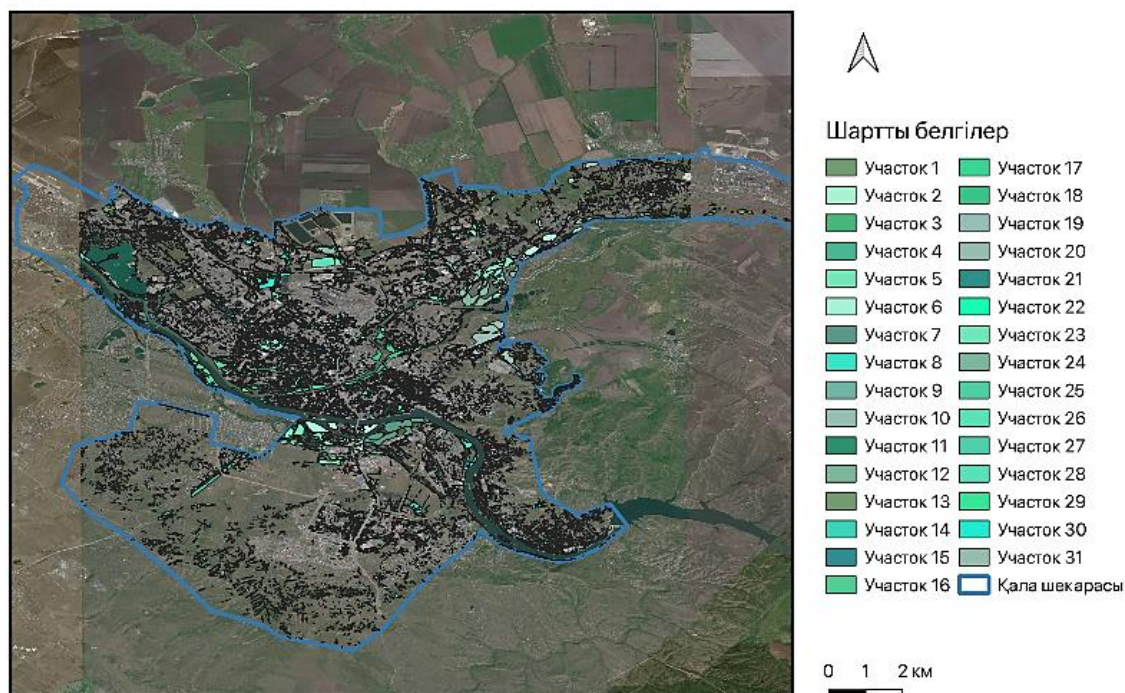
NDVI индексі есептеу қаланың жасыл қаңқасы дамуының жалпы тенденциясын

анықтауға көмектесті. Соңғы 10 жылда құрылған қаланың жасыл белдеуі, саябақтар, алаңдар, бульварлар қаланы көбірек «жасылға» айналдырады, бұл көшеттерді пайдалану, қаланы көгалдандыру тұжырымдамасында көзделген нормалардың арқасында болып табылады. Болашақта ұсынылған әдісті жасыл желектер жағдайын бақылау үшін пайдалануға болады. Өсімдіктер индексінің есептеулері (NDVI) қаланың жасыл желектерінің жағдайын бағалау үшін қаланың даму тенденциясын көрсетті [13].



3-сурет. Өскемен қаласының аймақтар бойынша NDVI көрсеткіштері диаграммасы

Сондай-ақ, QGIS бағдарламасында қаладағы барлық жасыл желектердің алып жатқан ауданы анықталып, Өскемен тұрғындарының жан басына шаққанда қанша шаршы метрден келетіні есептелді. Өскемен қаласының барлық жасыл желектерінің алып жатқан аумақтарының контурын сызу үшін, 31 аймаққа бөлініп, 31 полигонды қабат құрылды (4-сурет). Бағдарламада жасыл желекті сандық түрге келтіру барысында қаладағы жалпы пайдалануға арналған жасыл желектер аумағы 279,17 га құрайтыны анықталды.



4-сурет. QGIS бағдарламасында жасыл желектің жалпы ауданын есептеу

ДДҰ ұсынымдарын ескере отырып, 346 127 тұрғыны (2021 ж.) бар Өскемен қаласы үшін көгалдандыру алаңы $17\,306\,350\text{ м}^2$ құрауы тиіс. Өскемен қаласының $2\,791\,726\text{ м}^2$ көгалдандыру алаңы кезінде бір тұрғынға тек $8,07\text{ м}^2$ жасыл желек тиесілі, яғни 55 834 адам қажетті көлемде оттегі алады, ал қалған 290 293 адам үшін оттегі жетіспейді (5-сурет).



5-сурет. Өскемен қаласы бойынша бір тұрғынға келетін жасыл желектер ауданы

Сондай-ақ, Өскемен қаласының әрбір аймақтары бойынша жасыл желектер ауданы

және NDVI көрсеткіші анықталып, динамикасы 3-кестеде, 6-суретте толық көрсетілді.

3-кесте. Өскемен қаласы аумақтары бойынша таралған жасыл желектер ауданы мен NDVI көрсеткіштері

№	Аймақтар	2000 ж.		2010 ж.		2020 ж.		2021 ж.	
		Аудан, га	NDVI	Аудан, га	NDVI	Аудан, га	NDVI	Аудан, га	NDVI
1	Қала бойынша	30,15	0,25	35,15	0,28	37,83	0,35	48,20	0,38
2	Тұрғын аймақтар	43,17	0,25	43,16	0,17	46,20	0,20	47,15	0,23
3	Қоғамдық жерлер	35,12	0,17	37,83	0,10	40,15	0,15	45,86	0,20
4	Өнеркәсіптік аймақ	12,25	0,16	14,65	0,06	20,72	0,18	21,23	0,22
5	Ауыл шаруашылық мақсаттағы аймақтар	39,29	0,41	46,77	0,35	50,60	0,37	52,12	0,38
6	Демалу аймақтары	63,94	0,29	63,94	0,32	73,50	0,40	74,61	0,48



6-сурет. Аймақтар бойынша жасыл желектердің NDVI көрсеткіштері

Қорытынды. Қазіргі уақытта ғарыштық суреттерді пайдалану арқылы жасыл желектің жағдайын бақылау мен бағалау ең тиімді және барлығына қолжетімді әдіс екеніне көз жеткізілді. Ғарыштық түсіріс материалдарын пайдалану ағаш өсімдіктерінің сандық және сапалық сипаттамаларын зерттеуге және алуға көмектеседі. Қаладағы өсімдің жамылғысын бақылауда ғарыштық суреттердің алатын орны зор және бірнеше артықшылықтары бар. Ғарыштық суреттер жоғары дәлдігімен, үлкен аумақты қамтуымен, деректерді алудың жоғары жылдамдығымен және ауа-райына тәуелсіздігімен ерекшеленеді. Жасыл желектердің жағдайын анықтауда жер үстілік әдістермен салыстырғанда, ғарыштық суреттерді пайдалану аз қаражатты талап етеді [14, 15].

Жерді қашықтықтан зондылау деректерін пайдалану қалалық жасыл желектер жағдайын бақылау және бағалау, жедел ақпаратты алу және оны өңдеу жасыл қордың

жағдайы және оны жаңарту жөніндегі іс-шараларды жоспарлау, бағалау процесін айтарлықтай оңтайландыруға мүмкіндік береді [16].

Зерттеу жұмысының нәтижесінде:

– жасыл желектердің жағдайын бағалау NDVI көрсеткіші арқылы жүзеге асырылды;

– жасыл желектердің ауданы сандық түрге келтіріліп, сандық және NDVI карталары құрылды;

– зерттеудің нәтижесінде қаладағы жалпы жасыл желек ауданы 279,17 га екені анықталды. Өткен жылдармен салыстырғанда бұл жалпы желектер ауданының өскенін көрсетеді. Атап айтқанда, қаланың жасыл екепелерінің жалпы алаңы 2000-2010 жж. кезеңіне қарағанда 37,67 га ұлғайды, ал тұрғындардың жасыл екепелермен қамтамасыз етілуі жан басына шаққанда әлдеқайда өсті;

– 2021 жылғы есептеу бойынша қалада бір тұрғынға шаққандағы жасыл алқаптардың ауданы бүгінде 8,07 м²/адамды құрайтыны анықталды және бұл Дүниежүзілік Денсаулық Сақтау ұйымының нормасына сай келмейтіні белгілі болды;

– 2000, 2010 және 2021 жылдары аралығындағы NDVI көрсеткішінің ең жоғары орташа мәндері демалу аймақтары (2000 ж. – 0,29, 2010 ж. – 0,32, 2021 ж. – 0,48) мен ауыл шаруашылық мақсатындағы аймақтарына (2000 ж. – 0,41, 2010 ж. – 0,35, 2021 ж. – 0,38) сәйкес келді. Жалпы қала бойынша жасыл желектердің ең жоғары орташа вегетациялық көрсеткіші 2021 жылы 0,38 құрайды. Бұл жыл сайын қаладағы жасыл желектердің жағдайының жақсарып келе жатқанының белгісі;

– жалпы, NDVI көрсеткішінің өзгеруіне байланысты қала бойынша өсімдіктердің жай-күйі жақсаруын жедел бақылауға болады.

Жүргізілген жұмыстар жасыл желектер қорының даму динамикасын және қазіргі жағдайын бағалауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, ұсынылған материалдар жаңа жасыл екепелерді жоспарлау және орналастыру, проблемалық аумақтарды анықтау және т.б. кезінде пайдаланылуы мүмкін, жалпы жағдайда Өскемен қаласының экологиялық жағдайын жақсарту [17] ұзақ мерзімді мақсатты бағдарламасын іске асыруға ықпал етеді.

Әдебиеттер тізімі

1. Баймаганбетова Г.А., Голубева Е.И., Зимин М.В. Данные дистанционного зондирования Земли для оценки состояния зеленых насаждений г. Астана // Материалы 6-й Всероссийской (с международным участием) конференции «Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии», ИКИ РАН. – М. – 2016. – С. 88-91.
2. Сағындық М.Ж. Мониторинг зеленых насаждений для обеспечения устойчивого развития территорий // Геопрофи. – 2019. – № 5. – С. 46-49.
3. Шабайкина В.А., Ларина А.В., Саулин В.А. Оценка состояния системы озеленения г. Рузаевка с использованием многозональных космических снимков // Вектор ГеоНаук. – 2020. – № 3(3). – С. 96-103.
4. Табунщик В.А., Горбунов Р.В., Даниленко А.А. Оценка вегетационного индекса NDVI на территории города федерального значения Севастополь в 2017 году по результатам анализа космических снимков SENTINEL-2 // Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского. – 2019. – С. 56-70.
5. Jinsong Deng 1, Yibo Huang, A Methodology to Monitor Urban Expansion and Green Space Change Using a Time Series of Multi-Sensor SPOT and Sentinel-2A Images. Remote Sens. – 2019, 11, 1230.
6. Awotwi A., Anornu G.K., Quaye-Ballard J., Annor T., Forkuo E.K. Analysis of climate and anthropogenic impacts on runoff in the lower pra river basin of ghana. Heliyon, 2017.
7. Forkuor G., Dimobe K., Serme I., Tondoh J.E. Landsat-8 vs. Sentinel-2: Examining the added value of sentinel-2's red-edge bands to land-use and land-cover mapping in burkina faso. GIScience Remote Sens. Environ. – 2018, 55, 331-354.
8. Chen S.S., Chen L.F., Liu Q.H., Li X., Tan Q. Remote sensing and GIS-based integrated analysis of coastal changes and their environmental impacts in Lingding Bay, Pearl River Estuary, South China. Ocean Coast. Manag. – 2005, 48, 65–83.

9. Шаймарданова Б.Х., Рахымбердина М.Е., Апшикур Б., Тогузова М.М., Касымов Д.К. Исследование и разработка карт NDVI по космическим снимкам и данным с беспилотных летательных аппаратов / Вестник ВКГТУ. – 2019. - №4. – С.51-57.
10. Погорелов А.В., Липилин Д.А., Лубенцова А.А. Оценка многолетних изменений зеленых насаждений города Краснодара по данным спутниковых снимков // Региональные географические исследования. Сборник научных трудов. Краснодар. – 2017. – Вып. 1(11). – С. 119-137.
11. Воробьев О.Н., Курбанов Э.А., Демишева Е.Н., Меньшиков С.А., Али М.С., Смирнова Л.Н., Тарасова Л.В. Дистанционный мониторинг устойчивости лесных экосистем // Монография под общей редакцией профессора Э.А. Курбанова. – г. Йошкар-Ола. – 2019. – 166 с.
12. Ионова М.Н., Дегтева Ж.Ф. Применение дистанционного зондирования для мониторинга зеленых насаждений города Якутска // Вестник Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова. Серия «Науки о Земле». – 2020. – № 4. – С. 57-64.
13. Кузьменко М.Н. Разработка геоинформационной системы зеленых насаждений общего пользования // NOVAUM.RU. – 2018. – № 16. – С. 611-614.
14. Муллаярова И.П., Николаева О.Н., Трубина Л.К. Геоэкологическая оценка и картографирование состояния озелененных территорий специального назначения // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Том 23. – № 4. – С. 262-274.
15. Озорнина Н.Н. Система мониторинга состояния городских зеленых насаждений // NovalInfo.Ru. – 2017. – № 72. – С. 32-36.
16. Попова И.В., Бурак Е.Э., Воробьева Ю.А. Применение геоинформационных систем для мониторинга и развития системы зеленых насаждений города // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2018. – № 4(7). – С. 67-75.
17. Kulenova, N., Toguzova, M., Assylkhanova, Z., Mamysheva A., Sadenova, M., Rakhymberdina, M. Development of three-dimensional models of the spread of pollution on agricultural land in industrial cities // AIP Conference Proceedings, 2022, 2570, 040014.

References

1. Baimaganbetova G.A., Golubeva E.I., Zimin M.V. Dannye distancionnogo zondirovaniya Zemli dlya ocenki sostoyaniya zelenykh nasazhdenii g. Astana // Materialy 6-i Vserossiiskoi (s mezhdunarodnym uchastiem) konferencii «Aerokosmicheskie metody i geoinformacionnye tekhnologii v lesovedenii, lesnom hozyaistve i ekologii», IKI RAN. – M. – 2016. – С. 88-91.
2. Sagyndyk M.ZH. Monitoring zelenykh nasazhdenii dlya obespecheniya ustoichivogo razvitiya territorii // Geoprofi. – 2019. – № 5. – С. 46-49.
3. Shabajkina V.A., Larina A.V., Saulin V.A. Ocenka sostoyaniya sistemy ozeleneniya g. Ruzaevka s ispol'zovaniem mnogoazonal'nykh kosmicheskikh snimkov // Vektor GeoNauk. – 2020. – № 3(3). – S. 96-103.
4. Tabunshchik V.A., Gorbunov R.V., Danilenko A.A. Ocenka vegetacionnogo indeksa NDVI na territorii goroda federal'nogo znacheniya Sevastopol' v 2017 godu po rezul'tatam analiza kosmicheskikh snimkov SENTINEL-2 // Trudy Karadag'skoj nauchnoj stancii im. T.I. Vyazemskogo. – 2019. – S. 56-70.
5. Jinsong Deng 1, Yibo Huang, A Methodology to Monitor Urban Expansion and Green Space Change Using a Time Series of Multi-Sensor SPOT and Sentinel-2A Images. Remote Sens. – 2019, 11, 1230.
6. Awotwi A., Anornu G.K., Quaye-Ballard J., Annor T., Forkuo E.K. Analysis of climate and anthropogenic impacts on runoff in the lower pra river basin of ghana. Heliyon, 2017.
7. Forkuor G., Dimobe K., Serme I., Tondoh J.E. Landsat-8 vs. Sentinel-2: Examining the added value of sentinel-2's red-edge bands to land-use and land-cover mapping in burkina faso. GIScience Remote Sens. Environ. – 2018, 55, 331-354.
8. Chen S.S., Chen L.F., Liu Q.H., Li X., Tan Q. Remote sensing and GIS-based integrated analysis of coastal changes and their environmental impacts in Lingding Bay, Pearl River Estuary, South China. Ocean Coast. Manag. – 2005, 48, 65-83.
9. Shaimardanova B.H., Rakhymberdina M.E., Apshikur B., Toguzova M.M., Kassymov D.K. Issledovanie i razrabotka kart NDVI po kosmicheskim snimkam i dannym s bespilotnykh letatel'nykh apparatov / Vestnik VKGTU. – 2019. – №4. – S. 51-57.
10. Pogorelov A.V., Lipilin D.A., Lubencova A.A. Ocenka mnogoletnih izmenenii zelenykh nasazhdenij goroda Krasnodara po dannym sputnikovyx snimkov // Regional'nye geograficheskie issledovaniya. Sbornik nauchnykh trudov. Krasnodar. – 2017. – Вып. 1(11). – S. 119-137.
11. Vorob'ev O.N., Kurbanov E.A., Demisheva E.N., Men'shikov S.A., Ali M.S., Sмирнова L.N., Тарасова L.V. Distancionnyj monitoring ustoichivosti lesnykh ekosistem // Monografiya pod obshchej redakciej professora E.A. Kurbanova. – g. foshkar-Ola. – 2019. – 166 s.

12. Ionova M.N., Degteva ZH.F. Primenenie distancionnogo zondirovaniya dlya monitoringa zelenyh nasazhdenij goroda YAkutskaja // Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta imeni M.K. Ammosova. Seriya «Nauki o Zemle». – 2020. – № 4. – S. 57-64.
 13. Kuz'menko M.N. Razrabotka geoinformacionnoj sistemy zelenyh nasazhdenij obshchego pol'zovaniya // NOVAUM.RU. – 2018. – №16. – S. 611-614.
 14. Mullayarova I.P., Nikolaeva O.N., Trubina L.K. Geoekologicheskaya ocenka i kartografirovanie sostoyaniya ozelenennyh territorij special'nogo naznacheniya // Vestnik SGUGiT. – 2018. – Tom 23. – № 4. – S. 262-274.
 15. Ozornina N.N. Sistema monitoringa sostoyaniya gorodskih zelenyh nasazhdenij // NovalInfo.Ru. – 2017. – № 72. – S. 32-36.
 16. Popova I.V., Burak E.E., Vorob'eva YU.A. Primenenie geoinformacionnyh sistem dlya monitoringa i razvitiya sistemy zelenyh nasazhdenij goroda // ZHilishchnoe hozyajstvo i kommunal'naya infrastruktura. – 2018. – № 4(7). – S. 67-75.
 17. Kulenova, N., Toguzova, M., Assylkhanova, Z., Mamysheva A., Sadenova, M., Rakhymberdina, M. Development of three-dimensional models of the spread of pollution on agricultural land in industrial cities // AIP Conference Proceedings, 2022, 2570, 040014
-
-