

ГИДРОЛОГИЯ / HYDROLOGY

УДК 528.88, 556.15

**LANDSAT ТАСВИРЛАРИ ЁРДАМИДА ЕР УСТИ СУВ ОБЪЕКТЛАРИ
ЧЕГАРАСИНИ АНИҚЛАШДА СПЕКТРАЛ ИНДЕКСЛАРДАН ФОЙДАЛАНИШ
ИМКОНИЯТЛАРИ****С.Б. КАЛАБАЕВ***

Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети, salauat.kalabaev@gmail.com

Аннотация: Кўлларнинг гидрологик режимини батафсил ўрганиш долзарб масала. Таъкидлаш керакки, кўлларда тизимли равишда кузатишлар олиб борилмаслиги билан мазкур масала мураккаблашади. Бундай ҳоларда бориш қийин бўлган ҳудудлардаги сув объектлари ҳақида космик тасвирлардан маълумот олиш мумкин. Мақолада кўл сув юзаси майдонини аниқлашда космик тасвирларни дешифрировкалашнинг бир қанча усуллари ўрганилган. Ўрганиш якунида сув юзасини аниқлашда энг кичик хатоликка ўзгартирилган нормаллаштирилган фарқ сув индекси $MNDWI$ (2,6%) ва автоматлаштирилган сув ажратилиш индекси $AWEI_{sh}$ (2,3%) усуллари эга эканлиги маълум бўлди. Синовдан ўтган усуллардан натижаларнинг аниқлиги ва вақт сарфлари бўйича энг мақбули $MNDWI$ спектрал индекси эканлиги аниқланди.

Калит сўзлар: кўл, сув юзаси майдони, $NDWI$, $MNDWI$, WRI , $AWEI_{sh}$, $AWEI_{nsh}$.

Кириш. Жанубий Оролбўйи кўлларида мунтазам гидрологик кузатувлар йўқлиги сабабли, маълум бир ҳудудда содир бўлаётган табиий жараёнлар тўғрисида объектив ва мустақил маълумот манбаи Ерни масофадан зондлаш (ЕМЗ) маълумотлари бўлиб, улар кўлларнинг морфометрик хусусиятларини, жумладан, сув юзаси майдонини аниқлашга ҳам имкон беради. Масофавий зондлаш маълумотлари ёрдамида олинган кўлларнинг морфометрик хусусиятлари, ўз навбатида, сув ҳавзаларининг сув ресурсларини, шу жумладан, миллий миқёсда баҳолаш ва илмий нуқтаи назаридан сув ҳавзаларининг ўзига хос хусусиятларини аниқлаш имконини яратади. Жанубий Оролбўйи ҳудудида ҳар хил турдаги ва генезисдаги кўплаб кўллар мавжуд. Уларнинг кўпчилиги оқар кўллардир. Ушбу кўллардан бири Шегекўл, яъни ҳозирги кундаги Междуречье кўлидир. Бу сув ҳавзаси Оқдарё ва Қипчоқдарё ўзанлари оралиғида жойлашган. Оқдарё ўзани тўғон билан тўсиб қўйилгандан сўнг кўлнинг сув юзаси майдони катталашиб Междуречье кўли ҳосил бўлган (1-расм).

Ҳудудда жойлашган сув ҳавзаларнинг гидрологик режими Междуречье кўлида тўпланган сув миқдорларига боғлиқ. Шу сабабли, Междуречье кўли (собик Шегекўл кўли) муҳим сув объекти бўлиб, Амударё дельтаси ҳудудида жойлашган бошқа сув ҳавзаларига сувни таксимлайди. Сунъий йўлдош орқали 2011 йилда олинган тасвирларига кўра унинг умумий майдони 20 минг гектарни ташкил қилган [Калабаев, 2019].

Междуречье кўли таркибига Шимолий ва Шарқий тўғонлар, Главмясо канали бош иншоотлари, Маринкинўзьяк канали бош иншоотлари ва ён томондан сув ташлаш мосламаси ва 11 та сув ўтказгичлари киради [Южное ..., 2003].

Тадқиқот объекти. Тадқиқот объекти сифатида Жанубий Оролбўйи ҳудудидаги Междуречье сув ҳавзаси олинган, тадқиқотнинг предмети эса космик тасвирларни дешифрировкалаш усуллари ёрдамида кўлнинг сув юзаси майдонини ҳисоблаш

* Масъул муаллиф: salauat.kalabaev@gmail.com, тел.: +998 97 355-80-96

масаласидан иборат.



1-расм. Междуречье кўлининг географик жойлашуви

Рис. 1. Географическое расположение озера Междуречье

Fig. 1. Geographical location of lake Mejdurechye

Бирламчи маълумотлар ва тадқиқот усуллари. Кўл худуди учун АҚШ Геология хизмати (USGS) илмий-тадқиқот марказининг маълумотлар базасидан булутсиз 2023 йил 1 октябрь ва 2023 йил 2 ноябрь саналаридаги иккита сунъий йўлдош тасвирлари танлаб олинди.

Кўлларнинг сув юзасини дешифрировкалашнинг оптимал усулини танлаш учун спектрал сув индекслари (жуфтланган индекслар WRI, NDWI, MNDWI, AWEI_{sh} ва AWEI_{nsh}) усуллари синовдан ўтказилди.

Асосий натижалар ва уларнинг муҳокамаси. «Қуруқлик-сув» чегарасини аниқлаш учун сунъий йўлдош тасвирларини дешифровкалашнинг автоматлаштирилган усулларида фойдаланилди. Амалда, «қуруқлик-сув» чегарасини ажратиш учун, минимал меҳнат ва етарли аниқликни бергани туфайли спектрал сув индексли тасвирлар оммабоп ҳисобланади [Feuša et al., 2014].

Мультиспектрал индексли тасвирларни яратиш учун ҳар бир пикселнинг ёрқинлиги турли тасвир каналларидан ушбу пиксел қийматига арифметик амалларни қўллаш орқали ҳисобланади. Мультиспектрал тасвирларни ўрганишда мутлақ қийматлар эмас, балки турли спектр зоналарида объектнинг ёрқинлиги қийматлари ўртасидаги характерли мослик муҳим ҳисобланади. Бундай тасвирларда ўрганилаётган объектлар аниқ ва равшан ажралиб туради.

Сунъий йўлдош тасвирларида сув объектларини таниб олиш учун кўплаб спектрал индекслар мавжуд бўлиб, улар сув индекслари деб аталади. Ушбу индекслар ёрдамида сиртдаги юзанинг чегараси аниқланади. Амалиётда кенг қўлланиладиган сув индексларини келтириб ўтамиз.

Спектрал сув нисбати индекси (WRI). Уни аниқлашда яшил (*green*), қизил (*red*), инфрақизилга яқин (*nir*) ва қисқа тўлқинли инфрақизил (*swir*) каналлар қўлланилади. Индекс қуйидаги формула бўйича ҳисобланади [McFeeters, 1996]:

$$WRI = \frac{green+red}{nir+swir}, \quad (1)$$

Ушбу индекс ўсимликларнинг намлигини баҳолашда қўлланилади. Ҳисоб-китоблар натижасида танланган сув ҳавзалари билан бинар растр харитаси олинади.

Қуёш радиацияси ва сиртининг ўзаро таъсир характери орқали аниқланувчи NDWI индекси ўсимликларнинг намлиги ва сув сиртининг чегараларини аниқлаш имконини беради. Ушбу индекс 1996 йилда McFeeters томонидан таклиф қилинган [McFeeters, 1996]. У қуйидаги формула бўйича ҳисобланади:

$$NDWI = \frac{green - nir}{green + nir}, \quad (2)$$

бу ерда: *green* – спектрнинг яшил (0,5-0,6 мкм) қисмидаги нурланиш, *nir* – спектрнинг инфрақизил (0,7-0,9 мкм) қисмидаги нурланиш.

2006 йилда NDWI индекси сув юзаларини аниқлаш ва бирлаштирилган сиртларни ажратиш учун етарли даражада самарали эмаслигини аниқланган [Ху, 2006]. NDWI индекси ғоясига асосланиб, Ху янги ўзгартирилган нормаллаштирилган фарқ сув индекси – MNDWI ни таклиф қилган. Индекс қуйидаги формула бўйича ҳисобланади:

$$MNDWI = \frac{green - swir}{green + swir}, \quad (3)$$

бу ерда: *green* – спектрнинг яшил (0,5-0,6 мкм) қисмидаги нурланиш, *swir* – спектрнинг ўрта инфрақизил (1,55-1,75 мкм) қисмидаги нурланиш.

Индекснинг афзаллиги шундаки, у сув юзаси, тупроқ ва ўсимликларнинг шовқин таъсирини самарали бартараф этиш имконини беради. MNDWI ёрдамида ҳар қандай сиртдаги сув ҳавзаларининг чегарасини ўтказишда аниқлик ортади. Қуруқлик ва сув ўртасидаги чегара индекснинг нол қийматига, нолдан катта қийматлар сув сиртига мос келади. Landsat серияли сунъий йўлдошлар маълумотларига қўшимча равишда, MNDWI индексини муайян тузатма билан бошқа сунъий йўлдош тизимлари – SPOT, AQUA ва TERRA (MODIS қурилмаси), Sentinel-2 маълумотларидан ҳам олиш мумкин. Бу имконият индекснинг кўп қиррали ва баркарорлигини кўрсатади [Ху, 2006]. Бироқ, кичик албедаго эга бўлган, масалан, йўллар, булуғлар соялари, тоғлар ёки баланд бинолар каби объектларни ўз ичига олган сунъий йўлдош тасвирларида MNDWI индексидан фойдаланиб сув сиртларини аниқлашда муайян қийинчиликлар пайдо бўлади.

Ушбу камчиликларни бартараф этиш учун Feysa *автоматлаштирилган сув ажратиш индекси AWEI* ни таклиф қилган, унда диапазонни фарқлаш, диапазонни қўшиш ва турли коэффициентларни қўллаш орқали сув пикселлари ва сув бўлмаган пикселларни таснифлашнинг аниқлиги максимал даражада оширилган [Feysa et al., 2014]. Feysa сув пикселлари ва сув деб таснифланиши мумкин бўлган бошқа қоронғи юзалар ўртасидаги контрастни кучайтириш учун иккита алоҳида $AWEI_{nsh}$ ва $AWEI_{sh}$ индексларни таклиф қилган. $AWEI_{nsh}$ индекс сув бўлмаган пикселларни, шу жумладан, қоронғи юзаларни самарали равишда сўндиради. $AWEI_{sh}$ индекси соя пикселларини ҳам олиб ташлаш орқали аниқликни янада яхшилайтиди. $AWEI_{nsh}$ ва $AWEI_{sh}$ индекслари қор ёки муз каби катта албедали сиртлар бўлмаган ҳолатларда фойдаланиш учун тавсия этилади [Feysa et al., 2014].

$AWEI_{nsh}$ ва $AWEI_{sh}$ индекслари қуйидаги ифодалар ёрдамида ҳисобланади:

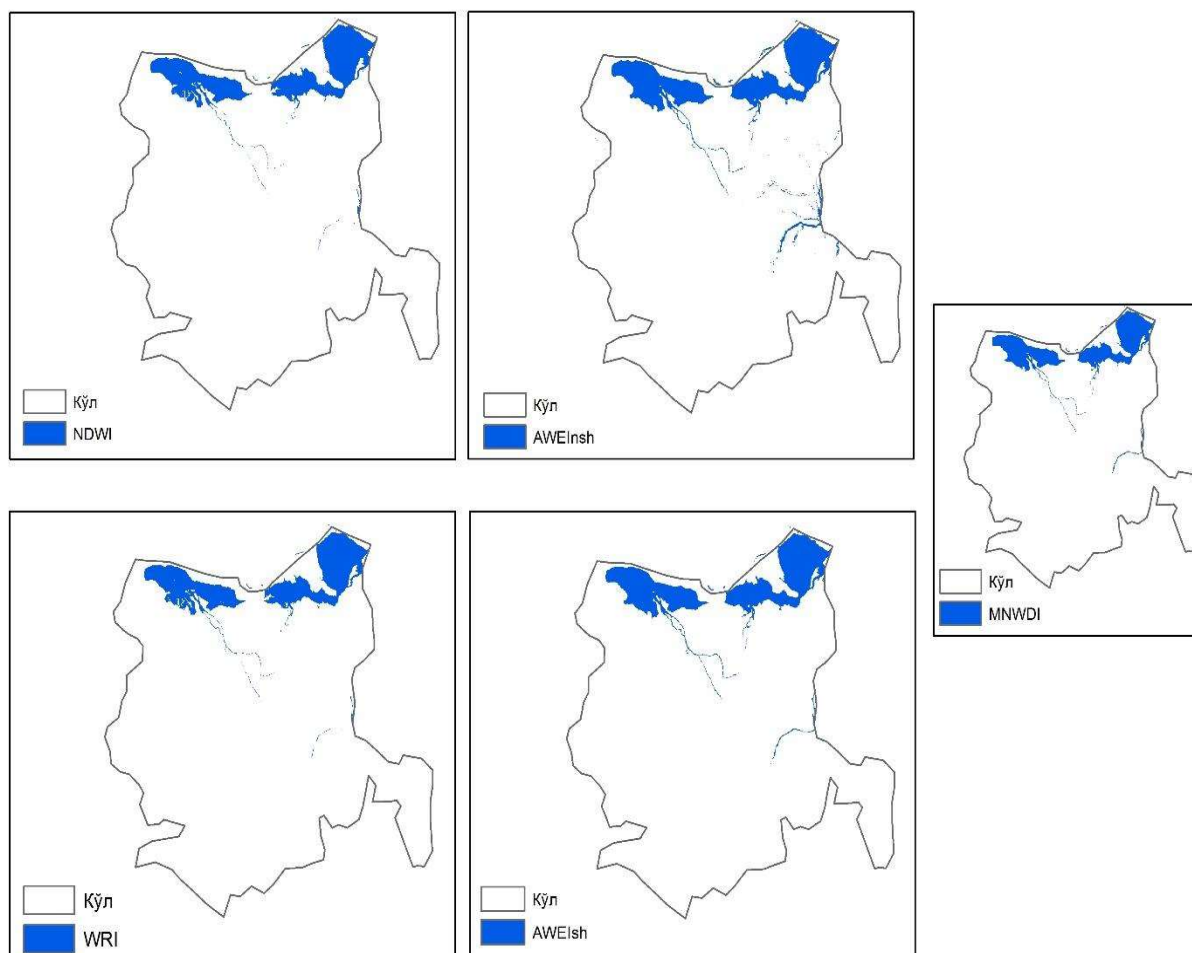
$$AWEI_{nsh} = 4(green - SWIR(1)) - (0,25nir + 2,75SWIR(2)), \quad (4)$$

$$AWEI_{sh} = blue + 2,5green - 1,5(NIR + SWIR(1)) - 0,25SWIR(2), \quad (5)$$

бу ерда: *green* – спектрнинг яшил (0,5-0,6 мкм) қисмидаги нурланиш, *SWIR(1)* – спектрнинг инфрақизил (1,55-1,75 мкм) қисмидаги нурланиш, *SWIR(2)* – спектрнинг инфрақизил (2,09-2,35 мкм) қисмидаги нурланиш, *nir* – спектрнинг инфрақизилга яқин (0,7-0,9 мкм) қисмидаги нурланиш, *blue* – спектрнинг кўк (0,4-0,5 мкм) қисмидаги нурланиш.

Ҳозирги вақтда сунъий йўлдош тасвирларига асосланиб ҳисобланувчи индеклар ёрдамида сув хавзаларининг чегарасини аниқлаш бўйича кўплаб тадқиқотлар олиб борилмоқда. Бироқ, сув индексларининг қай бири қуруқлик-сув чегарасини энг аниқ белгилаши тўғрисида якуний ҳулоса мавжуд эмас. Шу сабабли, ушбу тадқиқот доирасида ўрганилаётган ҳудуд учун сув юзаси чегарасини аниқлашнинг энг мақбул усули аниқланди.

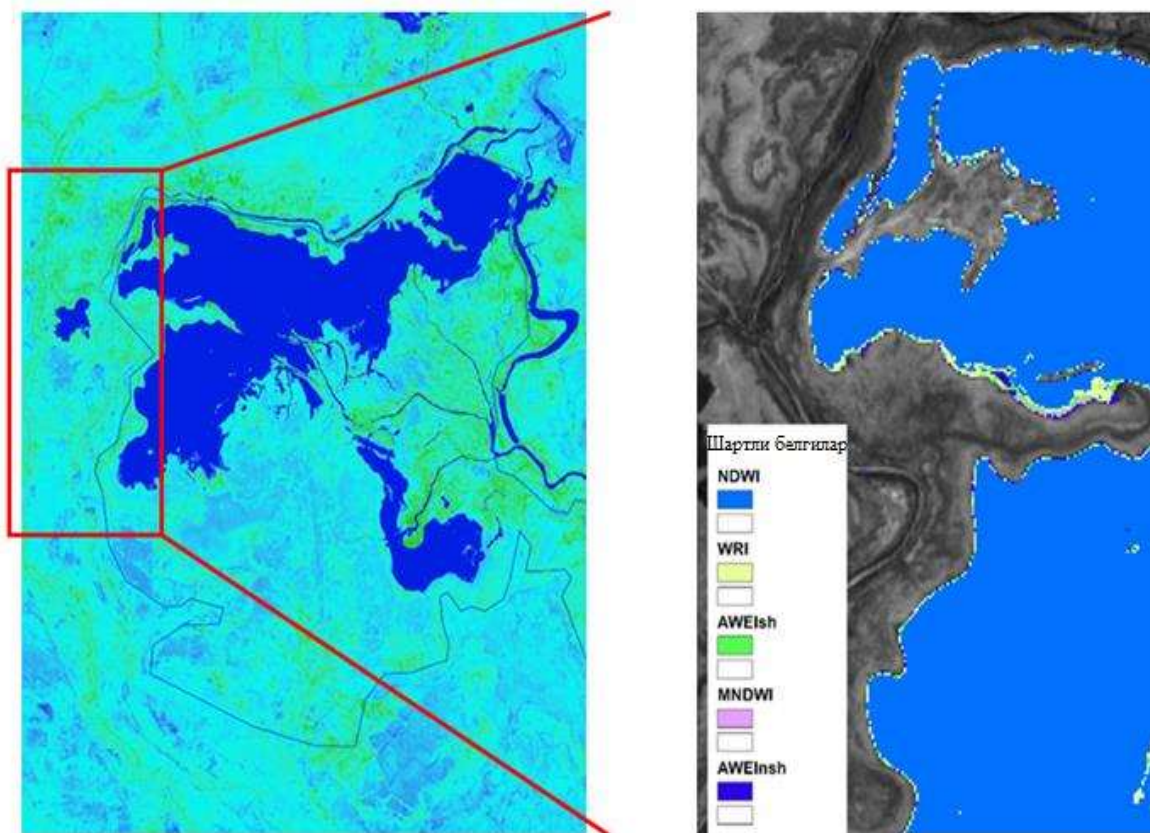
Кўлнинг сирт майдонини минимал хатолик билан ҳисоблаш учун мультиспектрли Landsat 8 серияли сунъий йўлдош тасвирлари универсал кўндаланг Меркатор проекциясига айлантирилди. ArcGIS дастури ёрдамида кўл ҳудудини ҳисоблаш визуал талқин қилиш усули ёрдамида амалга оширилди. Кейинги босқичда ArcGIS дастурида Image Classification ва Spatial Analyst воситалари ва сунъий йўлдош тасвирларини талқин қилишнинг кўриб чиқилган усуллари билан фойдаланган ҳолда кўлнинг майдони ҳисобланди (2-3-расмлар).



2-расм. Междуречье кўли сув юзасининг Landsat сунъий йўлдош маълумотларини дешифрировкалашнинг турли усуллари билан олинган майдони (01.10.2023 й.)

Рис. 2. Площадь водной поверхности озера Междуречье, полученная различными методами дешифрирования данных Landsat (01.10.2023 г.)

Fig. 2. Water surface area of Lake Mezhdurechye, obtained various methods for deciphering Landsat data (01.10.2023)



3-расм. Спектрал индекслардан олинган «қуруқлик-сув» чегараларини солиштириш (02.11.2023 й.)

Рис. 3. Сопоставление границ «суша-вода», полученных по данным спектральных индексов (02.11.2023 г.)

Fig. 3. Comparison of land-water boundaries obtained from spectral indices data (02.11.2023)

Сунъий йўлдош тасвирларини турли усуллар билан талқин қилиш аниқлигининг нисбий хатолиги ΔS қуйидаги ифода ёрдамида ҳисобланади:

$$\Delta S = \frac{S_{i,or} - S_i}{S_{i,or}} \times 100, \quad (6)$$

бу ерда: S_i – кўлнинг сув индекслари ёрдамида Landsat сунъий йўлдош тасвирларини талқин қилиш натижалари бўйича аниқланган майдони, $S_{i,or}$ – кўлнинг сунъий йўлдош тасвирларини визуал талқин қилиш натижалари бўйича аниқланган ўртача майдони.

Междуречье кўли сув юзасининг Landsat сунъий йўлдош маълумотларини дешифрировкалашнинг турли усуллари билан ҳисобланган майдони ва ҳисоблаш хатоликлари 1-жадвалда келтирилган.

Олинган маълумотларни таҳлил қилиш натижасида барча синовдан ўтган усулларнинг сув юзаси чегарасини аниқлаш хатоликлари кичик (8,0% гача) эканлиги аниқланди. Сув юзасини

аниқлашда MNDWI (2,6%) ва $AWEI_{sh}$ (2,3%) спектрал индекслари билан таснифлаш усуллари энг кичик хатоликка эга.

1-жадвал

Междуречье кўли сув юзасининг Landsat сунъий йўлдош маълумотларини дешифрировкалашнинг турли усуллари билан олинган майдони

Таблица 1

Площадь водной поверхности озера Междуречье, полученная различными методами дешифрирования данных Landsat

Table 1

Water surface area of Lake Mezhdurechye, obtained various methods for deciphering Landsat data

Дешифрировкалаш усули	Кўл юзаси майдони, км ²		
	01.10.2023 й.	02.11.2023 й.	$\Delta S, \%$
Ўртача	23,5	94,8	
$AWEI_{sh}$	24,3	95,9	2,3
$AWEI_{nsh}$	25,8	98,9	7,0
NDWI	21,0	88,5	8,6
MNDWI	24,3	96,6	2,6
WRI	22,2	94,0	3,0

Хулоса. Тадқиқотда мультиспектрал тасвирлардан фойдаланиб сув индекслари асосида сув чегарасини аниқлаш ишлари бажарилди. Ушбу ишда Landsat 8 тасвирларидан ер усти сув объектларининг чегарасини аниқлашда WRI, NMWI, MNDWI, $AWEI_{sh}$, $AWEI_{nsh}$ сув индексларининг аниқлиги синовдан ўтказилди.

Синовдан ўтган усуллардан, натижаларнинг аниқлиги ва вақт сарфи бўйича энг мақбули MNDWI спектрал индекси эканлиги аниқланди. Келгуси тадқиқотларда мазкур усулдан фойдаланган ҳолда кўллар сув юзасини мониторинг қилиш мақсадга мувофиқ.

Миннатдорчилик. Мақолани тайёрлашда яқиндан ёрдам берган ва илмий маслаҳатларини аямаган устозларимиз – г.ф.д., доцент Б.Е.Аденбаев, г.ф.д., профессор Б.М.Холматжанов ва қ.х.ф.ф.д., доцент Ф.Ў.Умирзақовларга ўз миннатдорчилигимни билдираман. Муаллиф кўлёманинг нашрга тайёрланган шаклини ўқиб чиқди ва розилик билдирди.

АДАБИЁТЛАР

Калабаев С.Б., Йўлдошбаева М.Р. Қуйи Амударё сув объектларининг гидрографик тавсифи // Ўзбекистон География жамияти ахбороти. 2019. 56-том. – Б. 235-239.

Южное Приаралье – новые перспективы. Под ред. проф. В.А. Духовного и Ю. Де Шуттера. – Ташкент: «Нори», 2003. – 154 с.

Feyisa G.L., Meilby H., Fensholt R., Proud S.R. Automated Water Extraction Index: A New Technique for Surface Water Mapping Using Landsat Imagery // Remote Sensing of Environment. 2014. Volume 140. – P. 23-35. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.029>

McFeeters S.K. The Use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the Delineation of Open Water Features // International Journal of Remote Sensing. 1996. Volume 17. – PP. 1425-1432. <http://dx.doi.org/10.1080/01431169608948714>

Xu H.Q. Modification of Normalised Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery // International Journal of Remote Sensing. 2006. Volume 27. – PP. 3025-3033. <http://dx.doi.org/10.1080/01431160600589179>

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ ИНДЕКСОВ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ГРАНИЦ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ПО ИЗОБРАЖЕНИЯМ LANDSAT

С.Б. КАЛАБАЕВ

Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, salauat.kalabayev@mail.ru

Аннотация: *Подробное изучение гидрологического режима озер является актуальной задачей, однако следует отметить, что этот вопрос осложняется отсутствием систематических наблюдений на озерах. В таких случаях, по космическим снимкам можно получить информацию о водных объектах в труднодоступных районах. С этой целью в данной статье было исследовано несколько методов декодирования космических снимков для определения площади водной поверхности озера. По итогам исследования установлено, что среди спектральных индексов наименьшую ошибку определения водной поверхности имели модифицированный метод классификации нормализованно-разностного индекса воды MNDWI (2,6%) и автоматизированный индекс выделения воды $AWEI_{sh}$ (2,3%). Среди опробованных методов наиболее приемлемым по точности результатов и затратам времени является спектральный индекс MNDWI.*

Ключевые слова: *озеро, площадь водного зеркала, NDWI, MNDWI, WRI, $AWEI_{sh}$, $AWEI_{nsh}$.*

POSSIBILITIES OF USING SPECTRAL INDICES IN DETERMINING OF THE BOUNDARIES OF SURFACE WATER FROM LANDSAT IMAGES

S.B. KALABAEV

National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, salauat.kalabayev@mail.ru

Abstract. *A detailed study of the hydrological regime of lakes is an urgent task, however, it should be noted that this issue is complicated by the lack of systematic observations on lakes. In such cases, satellite images can be used to obtain information about water bodies in difficult to reach areas. This article examined several methods for decoding satellite images to determine the water surface area of a lake. Based on the results of the study, it was found that among spectral indices the modified methods of classifying the normalized-difference water index MNDWI (2.6%) and the automated water extraction index $AWEI_{sh}$ (2.3%) had the smallest error in determining the water surface. Among the tested methods, the spectral index MNDWI is the most acceptable in terms of accuracy of results and time consumption.*

Keywords: *lake, water surface area, NDWI, MNDWI, WRI, $AWEI_{sh}$, $AWEI_{nsh}$.*

REFERENCES

Kalabaev S.B., Yoldoshbaeva M.R. Quyi Amudaryo suv obektlarining gidrografik tavsifi [Hydrographic description of the lower Amudarya water bodies] // Ozbekiston Geografiya jamiyati axboroti. 2019. 56-tom. – B. 235-239. (in Uzbek)

Yujnoe Priarale – novye perspektivy [South Prearalie – new perspectives]. Pod red. prof. V.A.Duxovnogo, Yu. De Shuttera. – Tashkent: "Nori", 2003. – 154 s. (in Russian)