

**ЖАРАТЫЛЫСТАНУ ҒЫЛЫМДАРЫ / ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ /
NATURAL SCIENCES**

ӘОЖ: 911.2:004.9:528.8

**ГАЗ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ НЕГІЗІНДЕ ТЕКЕ КӨЛІНІҢ
(СОЛТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН) СУ АЙДЫНЫ ДИНАМИКАСЫН
ҚАШЫҚТЫҚТАН ЗОНДТАУ ӘДІСІМЕН ЗЕРТТЕУ***Рашитова Н., Срадждадин-Мухаммет М.*

2 курс магистранттары, ғылыми-педагогикалық бағыттағы «География»
білім беру бағдарламасы, Жаратылыстану факультеті,
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,
Астана қ., Қазақстан

Мақалада Солтүстік Қазақстан облысындағы Теке көлінің 2015–2025 жылдар аралығындағы су айдынының өзгеру динамикасы қарастырылады. Google Earth Engine (GEE) платформасында Landsat 8/9 және Sentinel-2 спутниктік мәліметтерін NDWI индексі арқылы өңдеу нәтижелері талданды. Көлдің гидрологиялық режиміне аймақтың климаттық ерекшеліктері мен антропогендік факторлардың әсері бағаланды.

Кілт сөздер: Теке көлі, Солтүстік Қазақстан, Google Earth Engine (GEE), қашықтықтан зондтау, NDWI (Нормализацияланған айырмашылық су индексі), жиынтық булану (ET), су айдынының динамикасы, климаттық өзгерістер, Sentinel-2, Landsat 8/9.

1. Кіріспе

Солтүстік Қазақстанның аридті және субаридті аймақтарындағы тұйық көлдер экожүйесі климаттық өзгерістерге өте сезімтал. Теке көлі аймақтағы ірі су айдындарының бірі ретінде гидрологиялық тұрақтылықты сақтауда маңызды рөл атқарады. Заманауи геоақпараттық жүйелер (ГАЗ) мен қашықтықтан зондтау (ҚЗЗ) әдістері су ресурстарын мониторингілеудің ең тиімді құралы болып табылады.

Географиялық жағдайы және климаты

Теке көлі Солтүстік Қазақстан облысының Уәлиханов ауданында, Солтүстік Қазақ жазығының орталық бөлігінде орналасқан. Көл теңіз деңгейінен шамамен 28-30 метр биіктіктегі тұйық ойпатта жатыр.

Гидрографиясы: Көл негізінен қар суымен және жауын-шашынмен қоректенеді. Жағалауы негізінен жазық, кей жерлері батпақты келеді.

Климаты: Аймақ климаты шұғыл континенттік. Қысы суық, аз қарлы (қаңтардың орташа температурасы -18°C), жазы ыстық және құрғақ (шілденің орташа температурасы $+20^{\circ}\text{C}$ - $+22^{\circ}\text{C}$).

Жауын-шашын: Жылдық жауын-шашын мөлшері 250–300 мм шамасында, бұл булану мөлшерінен (800–900 мм) едәуір аз. Осы теңсіздік көл деңгейінің циклдік ауытқуына тікелей әсер етеді.

2. Зерттеу әдістемесі

Зерттеу жұмысы Google Earth Engine (GEE) бұлттық платформасында орындалды. Негізгі алгоритм ретінде **Нормализацияланған айырмашылық су индексі (NDWI)** қолданылды:

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR}$$

мұндағы Green – спектрдің жасыл каналы, NIR – жақын инфрақызыл канал. Бұл индекс су бетін өсімдік пен топырақтан нақты ажыратуға мүмкіндік береді. Деректер көзі ретінде Landsat 8/9 (30 м) және Sentinel-2 (10 м) кескіндерінің маусым- айларындағы медианалық мәндері алынды.

Зерттеу барысында Теке көлінің 10 жылдық динамикасының екі түрлі деректер базасы бойынша (Кесте 1) айтарлықтай ауытқулары анықталды.

1-кесте. Теке көлінің су айдынының мониторингі (2015–2025 жж.)

Жыл	Қолданылған спутник түрі	Суреттер саны	Орташа су айдыны (км ²)	Ескерту
2015	Landsat 8 / Sentinel-2A	8	245.1	Sentinel-2 деректері жаңадан қосылды
2016	Sentinel-2A / Landsat 8	12	240.5	Тұрақты бақылау кезеңі
2017	Sentinel-2A / Landsat 8	14	252.3	Су деңгейінің максимумы
2018	Sentinel-2A / Landsat 8	11	238.9	Бұлттылыққа байланысты іріктеу жасалды
2019	Sentinel-2A & 2B / Landsat 8	22	230.4	Екі Sentinel спутнигі толық іске қосылды
2020	Sentinel-2A & 2B / Landsat 8	24	225.1	Бақылау жиілігінің артуы
2021	Sentinel-2 / Landsat	26	218.6	Landsat 9 деректері

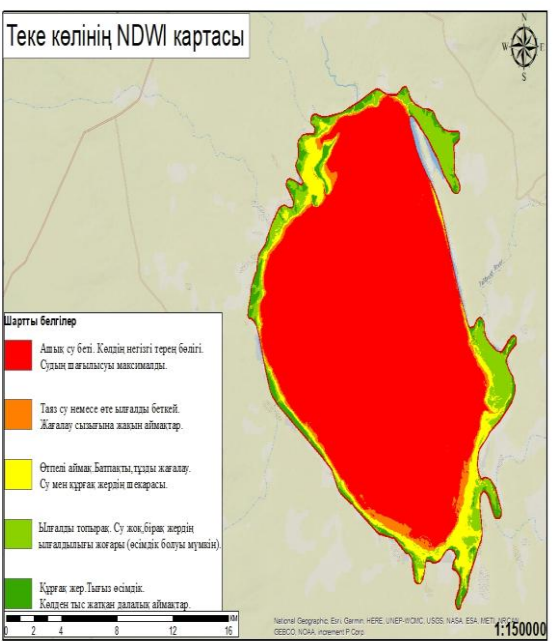
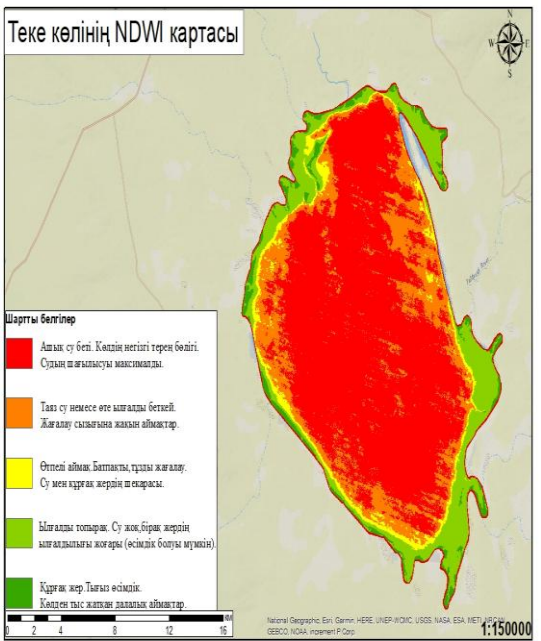
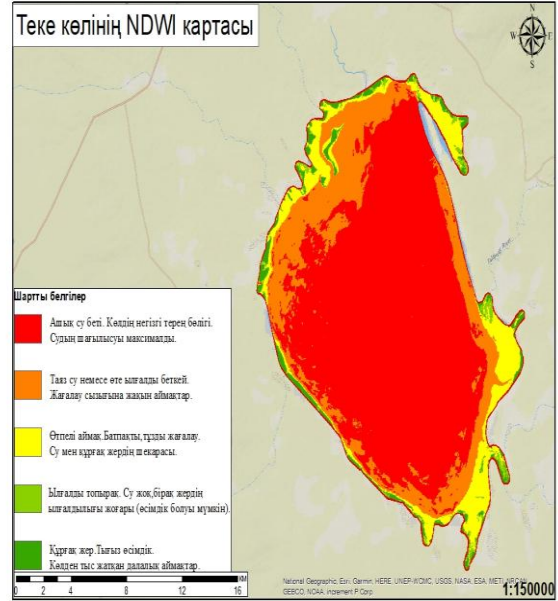
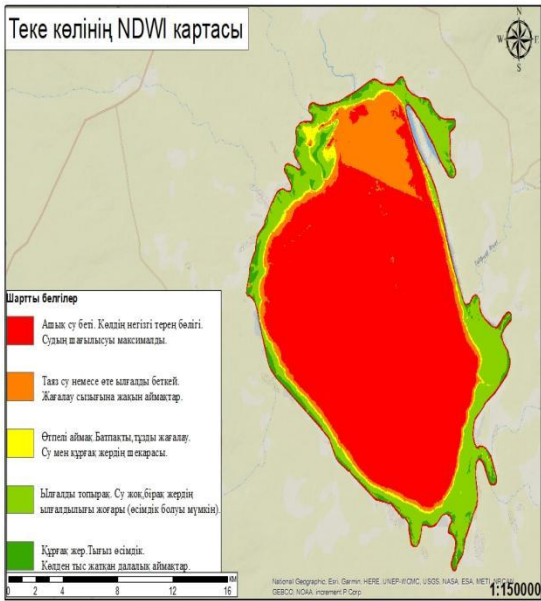
	8 & 9			қосылды
2022	Sentinel-2 / Landsat 8 & 9	28	~222.8	Деректер базасының ең жоғары тығыздығы
2023	Sentinel-2 / Landsat 8 & 9	25	~215.4	Құрғақшылық циклінің басы
2024	Sentinel-2 / Landsat 8 & 9	20	~228.7	Су деңгейінің қалпына келуі
2025	Sentinel-2 / Landsat 9	4-6*	234.8	Ағымдағы жыл, архив толығында

Зерттеу барысында көлдің су айдынын анықтау үшін Landsat-8, Landsat-9 және Sentinel-2A/2B спутниктік деректері пайдаланылды. Әр жыл бойынша өңделген спутниктік суреттер саны 8-ден 28-ге дейін өзгеріп отырған. Бұл қашықтықтан зондтау деректерінің қолжетімділігі мен мониторинг жиілігінің артуымен байланысты.

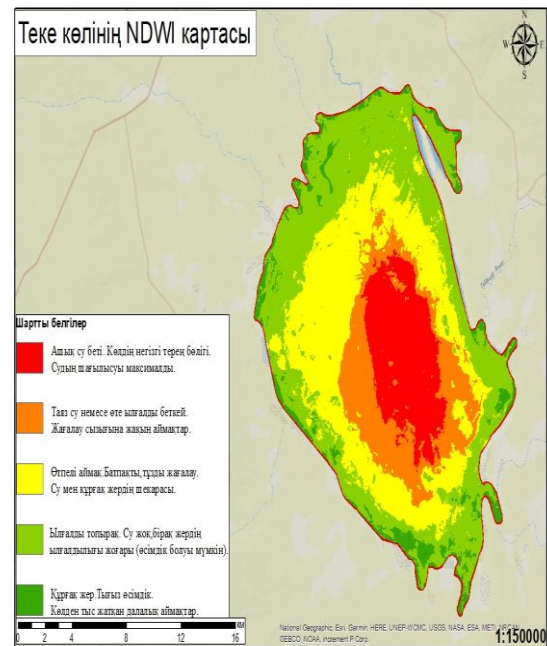
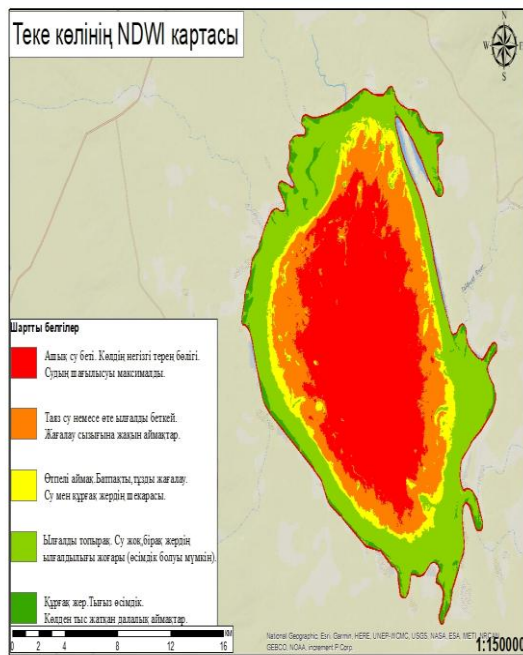
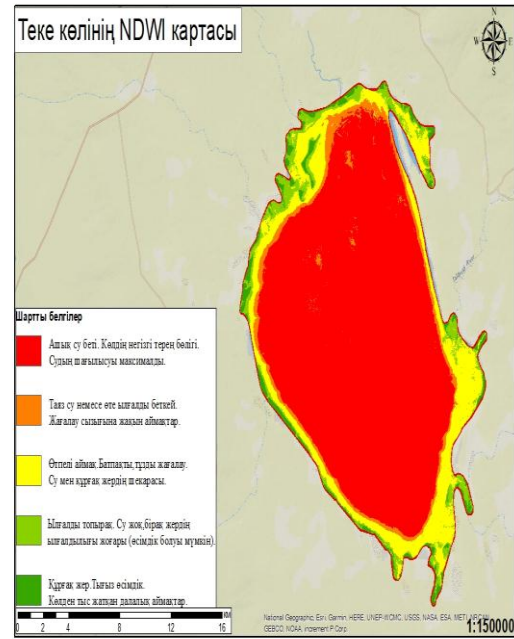
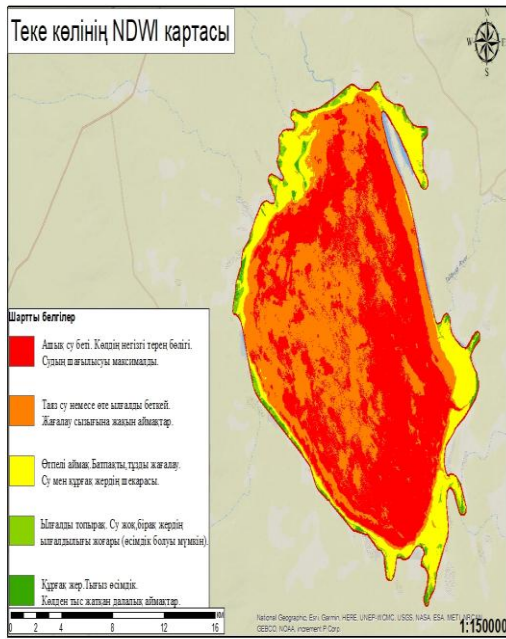
Кестеде көрсетілген мәліметтерге сәйкес, 2017 жылы Теке көлінің су айдыны ең жоғары мәнге жетіп, 252,3 км² құрады. Ал 2021 жылы су айдыны 218,6 км² дейін төмендегені байқалады. Бұл өзгерістер аймақтың климаттық жағдайына, жауын-шашын мөлшеріне және булану процесіне байланысты болуы мүмкін. Сонымен қатар 2019 жылдан бастап Sentinel-2A және Sentinel-2B спутниктерінің толық іске қосылуы зерттеу деректерінің дәлдігі мен жиілігін арттырды.

Алынған нәтижелер Теке көлінің су айдыны уақыт бойынша өзгермелі сипатқа ие екенін көрсетеді. Қашықтықтан зондтау деректері мен ГАЗ технологияларын қолдану көл акваториясының динамикасын ұзақ мерзімді кезеңде тиімді бақылауға мүмкіндік береді.

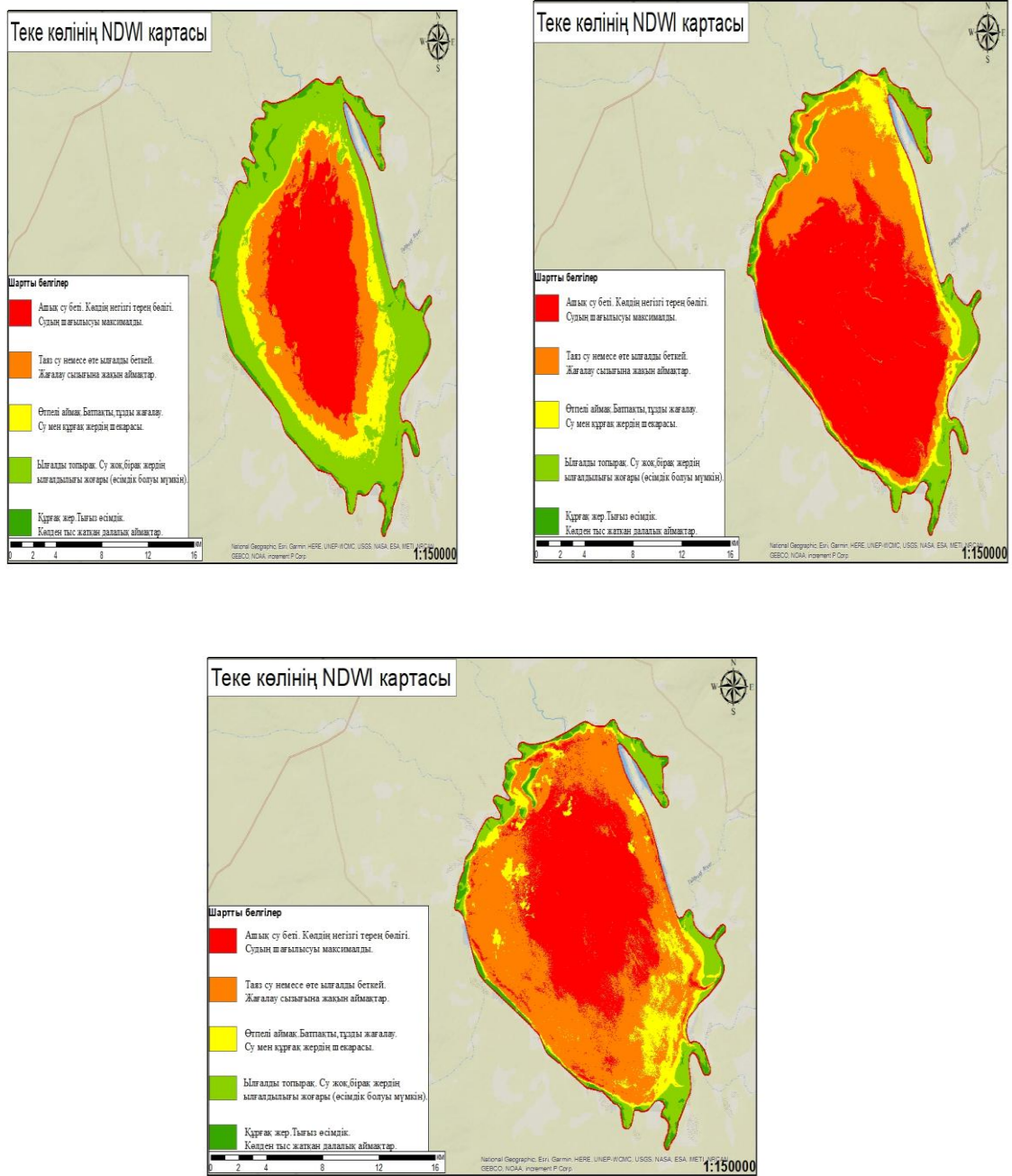
Карталар ArcGIS бағдарламасында қашықтықтан зондтау деректерін өңдеу арқылы құрастырылды. Зерттеу барысында Landsat-8/9 және Sentinel-2 спутниктік суреттері қолданылып, су бетінің шекарасын анықтау үшін NDWI (Normalized Difference Water Index) индексі есептелді. NDWI индексі су нысандарын басқа жер жамылғысы түрлерінен ажыратуға мүмкіндік береді және су айдындарының динамикасын бақылауда кеңінен қолданылады.



1-сурет. 2015-2018 жылдардағы Теке көлінің NDWI көрсеткішінің картасы



2-сурет. 2019-2022 жылдардағы Теке көлінің NDWI көрсеткішінің картасы



3-сурет. 2023-2025 жылдардағы Теке көлінің NDWI көрсеткішінің картасы

3.Талдау



1 – Диаграмма. Теке көлінің су айдынының динамикасы(2015 – 2025жж)

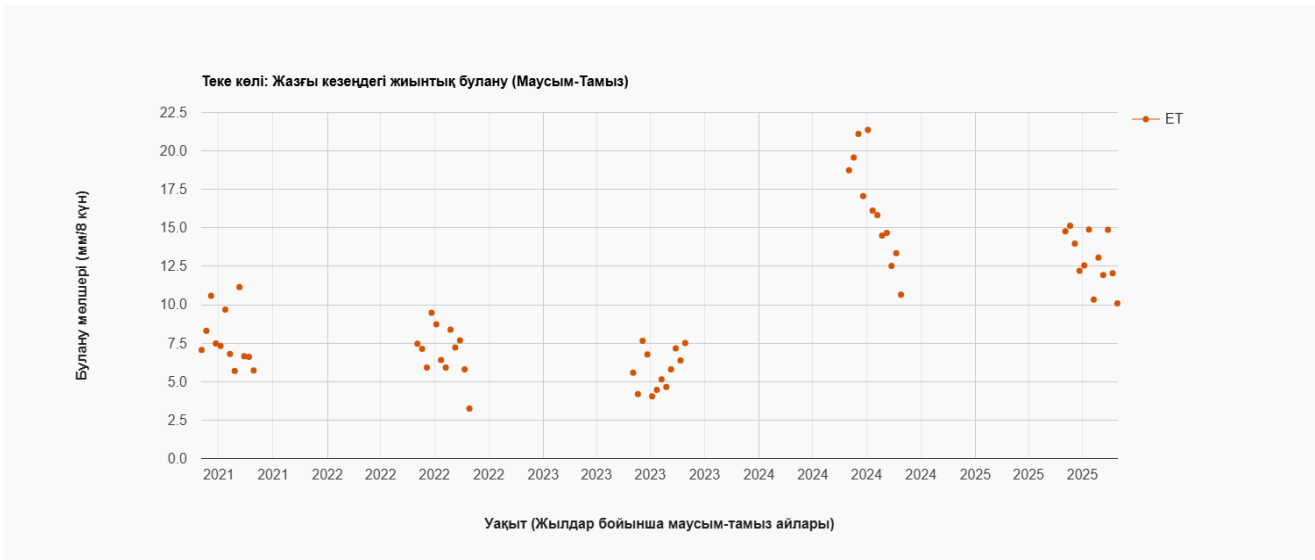
Бұл зерттеуде 2015–2025 жылдар аралығындағы Теке көлінің су айдыны ауданының өзгеру динамикасы талданады. Диаграмма көлдің су айдынының жыл сайынғы көрсеткіштерін көрсетіп, уақыт бойынша өзгеру үрдістерін анықтауға мүмкіндік береді. Су айдынының ауытқуы табиғи-климаттық жағдайлар мен антропогендік ықпалдарды бағалауда маңызды көрсеткіш болып табылады.

2015 жылы Теке көлінің су айдыны 209,8 км² құрап, зерттеу кезеңінің бастапқы нүктесі ретінде алынды. 2016 жылы су айдыны 223,5 км²-ге дейін ұлғайып, оң динамика байқалды. Алайда 2017 жылы көл аумағы күрт азайып, 173,3 км²-ге дейін төмендеді, бұл зерттеу кезеңіндегі елеулі құлдыраудың бірі болып саналады.

2018–2019 жылдары су айдыны қайтадан ұлғайып, тиісінше 216,5 км² және 220,2 км² көрсеткіштеріне жетті. Бұл кезең көл суының уақытша қалпына келуін көрсетеді. Дегенмен, 2020 жылдан бастап су айдынының қайта төмендеу үрдісі байқалды. 2021 жылы көл аумағы 176,7 км²-ге дейін азайса, 2022–2023 жылдары ең төмен деңгейге жетіп, тиісінше 163,7 км² және 163,0 км² мәндерін көрсетті. Бұл кезең көл экожүйесіне түсетін жүктеменің артқанын және қолайсыз гидрологиялық жағдайлардың ықпалын айқындайды.

Соңғы жылдары су айдынының айтарлықтай қалпына келуі байқалады. 2024 жылы көл аумағы 228,9 км²-ге дейін өсіп, 2025 жылы 234,9 км²-ге жетті. Бұл зерттеу кезеңіндегі ең жоғары көрсеткіштердің бірі болып табылады және көл су балансының жақсарғанын көрсетеді.

Жалпы алғанда, 2015–2025 жылдар аралығында Теке көлінің су айдыны айтарлықтай ауытқуларға ұшыраған. Зерттеу кезеңінде бірнеше рет төмендеу мен қалпына келу үрдістері байқалып, 2022–2023 жылдары минимумға жеткен. Ал 2024–2025 жылдардағы оң динамика көлдің ішінара қалпына келу мүмкіндігін көрсетеді. Бұл өзгерістер климаттық факторлармен, табиғи гидрологиялық циклдармен және аймақтағы су ресурстарын пайдалану ерекшеліктерімен байланысты болуы мүмкін.



2 – Диаграмма. Теке көліндегі булану көрсеткіші

ET — бұл Evapotranspiration (Эвапотранспирация немесе жиынтық булану). Ол екі процестің қосындысынан тұрады:

Булану (Evaporation): Су бетінен және топырақтан тікелей буға айналған су мөлшері.

Транспирация (Transpiration): Өсімдіктердің (қамыс, жағалаудағы шөптер) бойымен өтіп, жапырақтар арқылы ауаға бөлінген ылғал.

2024 жылғы нүктелердің 2021-2023 жылдарға қарағанда әлдеқайда жоғары орналасқаны (20-22.5 мм/8 күнге дейін) анық көрінеді. Бұл мынаны білдіреді:

Су айдынының кеңеюі: 2023 жылы көл қатты тартылды (215.4 км^2). Ал 2024 жылы су деңгейі күрт көтеріліп (228.7 км^2), жағалаудағы таяз жерлер суға толды.

Булану бетінің артуы: Физикалық тұрғыдан, су неғұрлым көп болса, соғұрлым буланатын ауданы да үлкен болады. 2024 жылы көл толғандықтан, спутник "көп су буланды" деп тіркейді.

Ыстық жаз: 2024 жылдың жазында Солтүстік Қазақстанда температура жоғары болды. Көлге келетін су (тасқын) буланудан әлдеқайда көп

болғандықтан, булану рекордтық деңгейде болса да, көл тартылған жоқ, керісінше толды.

Зерттеу барысында 2024–2025 жылдары булану көрсеткіштерінің жоғары болуына қарамастан, Теке көлінің су айдынының ұлғаюы байқалды. Бұл құбылыс аймақтағы 2024 жылғы мол қар суы мен қарқынды көктемгі тасқынның әсерінен су балансының кіріс бөлігінің (inflow) шығыс бөлігінен (evaporation) басым түскендігімен түсіндіріледі. Сонымен қатар, су айдыны ауданының кеңеюі булану бетінің ұлғаюына алып келіп, жалпы булану мөлшерінің артуына қосымша фактор болды.

NDWI мәндері негізінде алынған растрлық деректер ArcGIS бағдарламасында 5 класқа жіктелді. Бұл көлдің морфометриялық құрылымын:

- Орталық терең бөлігі;
- Перифериялық таяз сулар;
- Маусымдық су басатын батпақты аймақтарды анықтауға мүмкіндік берді.

4. Қорытынды

Теке көлінің соңғы онжылдықтағы (2015–2025 жж.) гидрологиялық режиміне жүргізілген кешенді мониторингтік зерттеу жұмысы аймақтық экожүйенің климаттық өзгерістерге өте сезімтал екенін көрсетті. Google Earth Engine (GEE) платформасында Landsat 8/9 және Sentinel-2 деректерін NDWI (Нормализацияланған айырмашылық су индексі) әдісімен өңдеу барысында көл айдынының динамикалық тұрақсыздығы анықталды.

Зерттеудің негізгі тұжырымдары:

Су айдынының ауытқу амплитудасы: Зерттеу кезеңінде көлдің ең жоғарғы көрсеткіші 2017 жылы (252.3км²) тіркелсе, ең төменгі деңгейі 2023 жылы (215.4км²) байқалды. Бұл ауытқулар Солтүстік Қазақстанның шұғыл континенттік климатына тән ылғалды және құрғақ циклдардың алмасуын айқын көрсетеді.

Су теңгерімі және булану факторы: 2024–2025 жылдары жиынтық буланудың (ET) рекордтық деңгейге (20-22 мм/8 күн) жеткеніне қарамастан, көл айдынының 234.8км²-ге дейін ұлғаюы маңызды ғылыми дерек болып табылады. Бұл құбылыс 2024 жылғы қарқынды көктемгі тасқын сулары мен мол жауын-шашынның «кіріс» бөлігі булану арқылы кететін «шығыс» бөлігін толығымен өтеп, оң гидрологиялық баланс қалыптастырғанын дәлелдейді.

Әдістемелік тиімділік: ArcGIS ортасында жүргізілген картографиялық классификация нәтижесінде су индексінің мәндеріне сәйкес 5 негізгі класс анықталып, көлдің морфометриялық құрылымы (терең қазаншұңқырлар, таяз жағалаулар мен батпақты аймақтар) нақтыланды. Бұл заманауи ҚЗЗ (қашықтықтан зондтау) әдістерінің дәстүрлі далалық зерттеулерді алмастыра алатын жоғары тиімділігін көрсетті.

Экологиялық болжам: Соңғы екі жылдағы (2024–2025 жж.) оң динамика Теке көлінің көпжылдық орташа деңгейіне қайта оралғанын білдіреді.

Дегенмен, жазғы кезеңдегі булану (ЕТ) көрсеткіштерінің өсу үрдісі болашақта судың минералдануы мен сортаңдану қаупін тудыруы мүмкін.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18-27. (GEE платформасының негізгі әдістемесі).

2. McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425-1432. (NDWI индексінің классикалық әдістемесі).

3. Ахметов, А. С., & Кулик, К. Н. (2020). Мониторинг динамики водных объектов Северного Казахстана с использованием данных дистанционного зондирования. *География и природные ресурсы*, (3), 112-119. (СҚО көлдері бойынша жергілікті зерттеулер).

4. Mu, Q., Zhao, M., & Running, S. W. (2011). Improvements to the MODIS terrestrial evapotranspiration algorithm. *Remote Sensing of Environment*, 115(8), 1781-1800. (Булану – ЕТ деректерін өңдеу алгоритмі).

5. Қазақстан Республикасының Ұлттық атласы. (2010). 1-том: Табиғи жағдайлар мен ресурстар. Алматы. (Теке көлінің географиялық және климаттық сипаттамалары үшін).

6. Pekel, J. F., Cottam, A., Gorelick, N., & Belward, A. S. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, 540(7633), 418-422. (Жер беті суларын Sentinel және Landsat арқылы жаһандық мониторингілеу).

7. Sabol, D. E., et al. (2021). Monitoring lake level changes in Central Asia using satellite altimetry and optical imagery. *Journal of Hydrology*, 598. (Орталық Азиядағы тұйық көлдердің гидрологиялық режимі).

8. Байшоланов, С. С. (2018). Қазақстанның агроклиматтық ресурстары және климаттың өзгеруі. Астана. (СҚО-дағы жауын-шашын мен булану динамикасын талдау үшін).

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОЗЕРА ТЕКЕ (СЕВЕРНЫЙ КАЗАХСТАН) НА ОСНОВЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ И МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Рашитова Н., Сраджадин-Мухаммет М.

В статье рассматривается динамика изменения водной поверхности озера Теке, расположенного в Северо-Казахстанской области, за период 2015–2025

22. В ходе исследования были проанализированы результаты обработки спутниковых данных Landsat 8/9 и Sentinel-2 на платформе Google Earth Engine (GEE) с использованием индекса NDWI. Также была проведена оценка влияния климатических особенностей региона и антропогенных факторов на гидрологический режим озера.

Ключевые слова: озеро Теке, Северный Казахстан, Google Earth Engine (GEE), дистанционное зондирование, NDWI (нормализованный разностный водный индекс), суммарное испарение (ET), динамика водной поверхности, климатические изменения, Sentinel-2, Landsat 8/9.

STUDY OF WATER SURFACE DYNAMICS OF LAKE TEKE (NORTH KAZAKHSTAN) USING GIS TECHNOLOGIES AND REMOTE SENSING METHODS

Rashitova N., Srajadin-Mukhammet M.

The article examines the dynamics of water surface changes of Lake Teke located in the North Kazakhstan region during the period 2015–2025. The results of processing Landsat 8/9 and Sentinel-2 satellite data using the NDWI index on the Google Earth Engine (GEE) platform were analyzed. The influence of regional climatic features and anthropogenic factors on the hydrological regime of the lake was also assessed.

Keywords: Lake Teke, North Kazakhstan, Google Earth Engine (GEE), remote sensing, NDWI (Normalized Difference Water Index), evapotranspiration (ET), water surface dynamics, climate change, Sentinel-2, Landsat 8/9.

REFERENCES

1. Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27.
2. McFeeters S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425–1432.
3. Akhmetov A. S., Kulik K. N. (2020). Monitoring the dynamics of water bodies in Northern Kazakhstan using remote sensing data. *Geography and Natural Resources*, (3), 112–119.

4. Mu Q., Zhao M., Running S. W. (2011). Improvements to the MODIS terrestrial evapotranspiration algorithm. *Remote Sensing of Environment*, 115(8), 1781–1800.

5. National Atlas of the Republic of Kazakhstan. (2010). Volume 1: Natural conditions and resources. Almaty.

6. Pekel J. F., Cottam A., Gorelick N., Belward A. S. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, 540(7633), 418–422.

7. Sabol D. E. et al. (2021). Monitoring lake level changes in Central Asia using satellite altimetry and optical imagery. *Journal of Hydrology*, 598.

8. Baisholanov S. S. (2018). Agroclimatic resources of Kazakhstan and climate change. Astana.