

Ғарыштық альтиметрия негізіндегі Алакөл және Сасықкөл көлдеріндегі су деңгейінің динамикасы (2016-2026 жж.)

Канат Самарханов^{1,2}, Ерболат Муканов^{1,2*}, Жанай Сагин², Сельвина Алиева²

¹Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан;
samarkhanov_kb@enu.kz, mukanov_yen@enu.kz

²Қазақ-Британ техникалық университеті, Алматы, Қазақстан;
j.sagin@kbtu.kz

*Корреспонденция: mukanov_yen@enu.kz

Дәйексөз: Самарханов, К., Муканов, Е., Сагин, Ж., Алиева, С. (2026). Ғарыштық альтиметрия негізіндегі Алакөл және Сасықкөл көлдеріндегі су деңгейінің динамикасы. Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ-нің хабаршысы. Химия. География сериясы, 156(3), 193-203.

<https://doi.org/10.32523/3107-278X-2026-156-3-193-203>

Академиялық редактор:
А.М. Сергеева

Редакцияға түсті: 23.08.2026
Түзетілді: 24.09.2026
Қабылданды: 09.09.2026
Басылымға шықты:
30.09.2026



Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Аңдатпа: Алакөл-Сасықкөл көлдер жүйесі Қазақстанның шығысындағы Балқаш-Алакөл ойысында орналасқан біртұтас гидрологиялық жүйені құрайды, Жетісу Алатауы мен Тарбағатай жоталарынан келетін сумен қоректенеді. Дегенмен, қарастырылып отырған қос көлдің гидрологиялық режимі екі түрлі: Алакөл – ағынсыз ащы көл, ал Сасықкөл Қошқаркөл арқылы Алакөлмен байланысты негізгі суын Тентек өзенінен алатын ағынды тұщы көл. Осы жағдайларды ескере отырып қос көлдің су деңгейінің өзгеруін, олардың өзара байланысының ерекшеліктеріне баға беру гидрологиялық тұрғыдан ерекше маңызды. Зерттеу барысында ДАНИТІ ғарыштық альтиметрия деректері қолданылды: 2016–2026 жж. Алакөлдегі виртуальді бекеттен (ID 14036) алынған 125 бақылау, 2002–2026 жж. Сасықкөлдегі виртуальді бекеттен (ID 229) алынған 796 бақылау жазбасы. Осы уақыт қатарлары «Қазгидромет» РМК Рыбзавод гидрологиялық бекеті арқылы тексерілді. Су деңгейінің трендтері Манн-Кендалл сынағы арқылы бағаланып, олардың өзгеру жылдамдықтары Тейл-Сен көлбеуінің көмегімен есептелді. Алакөл деңгейінің шамамен жылына 13,46 см (Манн-Кендалл сынағы $\tau = -0,511$, $p = 0,0466$) төмендеп жатқаны анықталды. Жылы мезгілдегі медианалық су деңгейі 2016-2018 жылдардағы 350,7 м-ден 2022-2026 жылдары 349,9 м-ге дейін төмендеді, осылайша 0,86 м төмендеген болып шықты. Сасықкөл деңгейі төмендегенімен (2,13 см/жыл) 2002-2026 жж. бақылау кезеңінде статистикалық маңызы бар монотонды үрдіс анықталмады. Осы нәтижелер Алакөлдің төмендеу фазасы Сасықкөлмен синхронды емес екенін көрсетті және регрессивті фазаның алғашқы ғарыштық дәлелі.

Түйін сөздер: ғарыштық альтиметрия; ДАНИТІ; Алакөл; Сасықкөл; көл; су деңгейі; Манн-Кендалл.

1. Кіріспе

Ағынсыз көлдер су жиналатын алқаптардағы ағын судың, жауын-шашынның және буланудың балансынан қалыптасады және климаттың өзгерістеріне, жоғарғы ағыстағы суды тұтынуға тікелей байланысты (J. Wang et al., 2018; Wurtsbaugh et al., 2017). Осындай

көлдерде су балансының жетіспеушілігіне, өзен ағынының азаюы мен буланудың күшеюіне, су деңгейінің төмендеуіне сыртқы ағынның болмауы тікелей әсер етеді. Климаттың қызуы, буланудың артуы, таулардағы мұздық пен қар режимінің өзгеруі, суармалы егіншіліктегі суды артық қолдану ағынсыз (эндорейлік) алаптардың гидрологиялық режимдерінің өзгеруіне әсер етеді (Baigaliyeva et al., 2024). Осындай жағдайда Орталық Азияның тұйық көл жүйелері осындай табиғи және антропогендік әсерлерге ерекше сезімталдық көрсетіп жатыр. Мысалы, Арал теңізінің күрт төмендеп негізгі су көлемін жоғалтуы, трансшекаралық суды пайдаланудың өзгеруі салдарынан Сырдария өзенінің су балансының өзгеруі байқалуда (Massakbayeva et al., 2020). Осыған ұқсас Іле өзенінің суын пайдалану мәселесі де өзекті. Осы сияқты жағдайларда су балансының климаттық компоненті мен антропогендік компонентін ажырату оңайға түспейді, екеуі де бірдей ықпал етеді. Олардың әсерін гидрологиялық режимдегі су нысандарын салыстыру арқылы бағалауға болады (Yariyev, Sagintayev, Inglezakis, et al., 2017; Yariyev, Sagintayev, Verhoef, et al., 2017).

Балқаш-Алакөл ойпатындағы қос көл – Алакөл мен Сасықкөлдің су жинақ алабы және климаттық аумағы бір болғанымен гидрологиялық режимдерінің ерекшеліктері бар (Алимкулов et al., 2023). Сондықтан олар гидрологиялық режим тұрғысынан салыстыруға қолайлы зерттеу нысандары ретінде осы зерттеу жұмысында қарастырылған. Ол туралы қашықтықтан зондтау жұмыстарының нәтижелерінде жарық көрген еңбектерде баяндалған. Мысалы Валеев және т.б. авторлар (Valeyev et al., 2019) Landsat және Sentinel-2 суреттерінен Алакөлдің жағалау сызығын MNDWI индексінің көмегімен картаға түсіріп, су айдынының бастапқы кезеңдегі 2912,3 км²-ден (1990 ж.) кейін 3033,2 км²-ге (2018 ж.) дейін өскенін, жағалау сызығының 422-ден 517 км-ге дейін ұзарғанын хабарлады. Алакөлдің деңгейі қайталана отырып өзгеретінін Бабкин және т.б. (Babkin et al., 2017) хабарлаған, өз еңбектерінде 109 жылдық (1894–2003 жж.) қатарды талдап, айтарлықтай амплитуданы – бір минимумнан екінші минимумға дейінгі 61 жыл арасында (1885–1946 жж.) 23 жылы көтерілу мен 38 жылы төмендеу болғанын, су деңгейінің жылына 4,6 см жылдамдықпен төмендегенін анықтаған. Олардың болжамы көл суының біршама төмендеу мүмкіндігін көрсетті.

Кейінгі зерттеулерде Алакөлдің жағалау аймағының табиғи-географиялық әлсіздігі, көл жағалауының деңгейі өзгерістері мен абразияға қатысты сезімтал екені зерттеліп жарық көрді (Liu et al., 2022; Seitkazy et al., 2025). Бақылау деректерінің жеткіліксіздігі жағдайында ғарыштық альтиметрия мен басқа да дерек көздерін біріктіру зерттеуге қолайлы тәсіл болатыны осыған дейін де баяндалған (Velpuri et al., 2012). Көп мақсаттық ғарыштық альтиметрия деректерінің көмегімен су деңгейінің ұзақ мерзімді динамикасын анықтап, су ресурстарын бақылау мүмкіндігі зерттеуге елеулі үлес қосады.

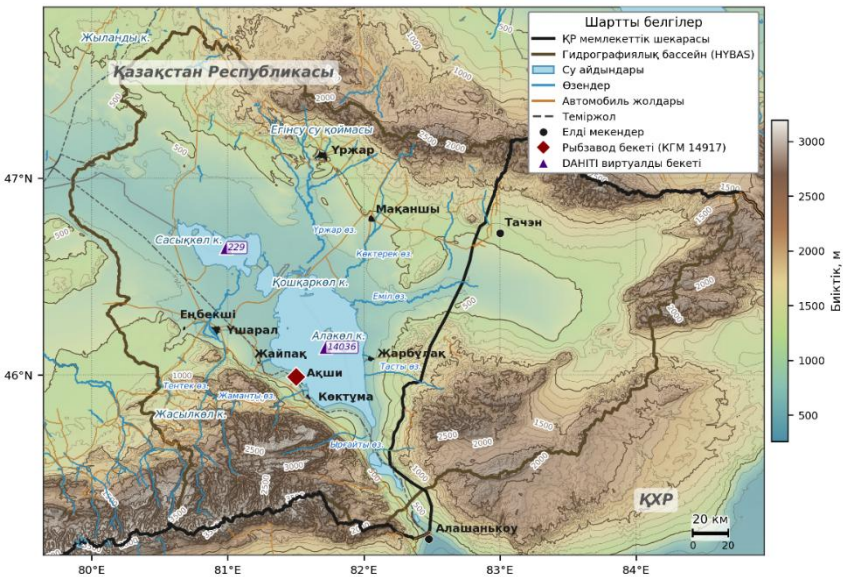
Осы қос көлде трансгрессия немесе регрессия жүріп жатқанын анықтау мәселесі маңызды екенін ескере отырып осы зерттеу жұмысының мақсаты ретінде 2016–2026 жж. аралығындағы Алакөл мен Сасықкөл су деңгейінің траекториясын ғарыштық альтиметрия деректерінің көмегімен сипаттау, бағалауды жаңарту, су жинау алабындағы суару қарқындылығын әсер етуші фактор ретінде бағалау қойылды.

2. Материалдар мен әдістер

Алакөл – теңіз деңгейінен шамамен 350 м биіктікте орналасқан Қазақстандағы екінші үлкен және ағынсыз терең көл (сурет 1) Қытай Халық Республикасының аумағына көрші орналасқан, су ауданы 2650–3030 км², ең терең нүктесі 54 м, орташа тереңдігі 22 м және көлемі шамамен 58,6 км³ (Babkin et al., 2017). Суы ащы, ал су деңгейі құятын ағын мен булану арасындағы теңгерімсіздіктің салдарынан өзгеріп тұрады. Оған құятын негізгі өзендер Үржар (орташа жылдық су шығыны 20 м³/с), Ырғайты (орташа жылдық су шығыны 14,8 м³/с), Еміл (орташа жылдық су шығыны 8,7 м³/с).

Сасықкөл – Алакөлден солтүстік-батысқа қарай шамамен 20 км жерде ұқсас биіктікте орналасқан көл. Суы тұщы, таяз (ең терең жері 9 м шамасында) және ауданы айтарлықтай кішірек (шамамен 736 км²) ағынды көл және оған осы жүйедегі суы ең мол Тентек өзені құяды

(орташа жылдық су шығыны 42 м³/с), көл суы арналар жүйесі арқылы алдымен Қошқаркөлге, содан соң Алакөлге қарай ағады. Қос көлге келетін су ағыны Жетісу Алатауы мен Тарбағатайдың батыс беткейлеріндегі қардың еруі нәтижесінде бастау алады.



Сурет 1. Зерттеу аумағының картасы (OpenStreetMap (Geofabrik GmbH, 2026), SRTM (NASA Jet Propulsion Laboratory, 2013), DANITI (Schwatke et al., 2015) деректерінің негізінде құрастырылған)

Осы зерттеу жұмысында Алакөл мен Сасықкөл су деңгейінің кейінгі динамикасын анықтау мақсатымен ғарыштық альтиметрия, «Қазгидромет» РМК бақылаулары біріктірілді (кесте 1) (Republican State Enterprise Kazhydromet, 2026).

Кесте 1. Зерттеу жұмысында қолданылған деректер

Дерек көзі / көрсеткіштері	Станция нөмірі	Бақылау кезеңі
DANITI / ғарыштық альтиметрия	Алакөл, ID 14036	2016–2026 жж.; 125 жазба
	Сасықкөл, ID 229	2016–2026 жж.; 325 жазба
«Қазгидромет» РМК деректер базасы/ су деңгейі	Рыбзавод гидрологиялық бекеті (№14917)	2000-2024 жж.
NASA/USGS SRTMGL1 v003	Shuttle Radar Topography Mission жер бедерінің сандық үлгісі	2000 ж. ақпан айы
OpenStreetMap; Geofabrik порталы	Қазақстан Республикасы аумағының векторлық карталары	2026 ж. шілде айы

DANITI дерекқорынан су деңгейінің уақыттық қатарлары Алакөл (ID 14036) және Сасықкөл (ID 229) алынды. Алакөл оңтүстік-батыс жағалауында орналасқан Рыбзавод гидрологиялық бекетінен (станция коды 14917) алынған өлшеу нәтижелері ғарыштық альтиметрия өлшеулерінің бағыты мен шамасын тексеру үшін қолданылды. Алакөл үшін

ДАНІТІ деректері 125 бақылаудан (2016-2026 жж. мамыр-маусым) және Сасықкөл көлі үшін 325 бақылаудан (2016-2026 жж. қаңтар-маусым) тұрады. Қарастырылған су деңгейінің динамикасының сенімділігін анықтау мақсатында Mann-Kendall (F. Wang et al., 2020) тренд тесті қолданылды (1):

$$\tau = \frac{S}{N(N-1)/2} \quad (1)$$

Мұндағы S – барлық ықтимал жұптардың айырмашылықтары ретінде есептеледі (2):

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+2}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (2)$$

Мұндағы x_i және x_j уақыт қатарындағы деректердің мәндері ($j > i$), n – деректер нүктелерінің саны. Статистикалық маңыздылығы p -value арқылы бағаланады.

Трендтің көлбеулігін бағалау үшін Сен көлбеуі (Sen's slope, β_{Sen}) (Jiqin et al., 2023) арқылы көлбеулердің медианасы ретінде есептеледі (3).

$$\beta_{\text{Sen}} = \text{median}\left(\frac{y_j - y_i}{x_j - x_i}\right) \quad (3)$$

Мұндағы $x_{i,j}$ – уақыт қатарындағы деректердің мәндері, ал i мен j – уақыт мезеттері. Осы зерттеу жұмысында медианалық көпжылдық уақыт қатарындағы орташа жылдық өзгерісті бақылау мақсатында қолданылды.

3. Нәтижелер

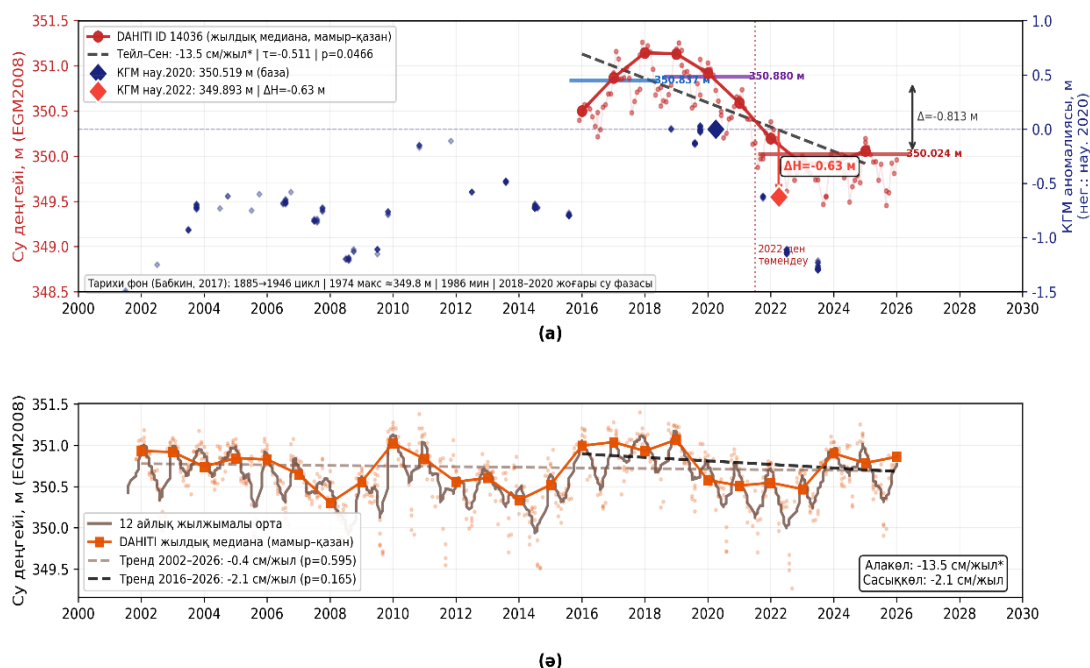
Алакөлге қатысты альтиметрия көрсеткіштері 2016-2026 жж. мамыр-маусым айлары аралығындағы кезеңді қамтыды, су деңгейі EGM2008 вертикальді координат жүйесіне сәйкес 349,46 м (мин.) мен 351,26 м (макс.) аралығында өзгергенін көрсетті. Жылы мезгілдің (мамыр-қазан) көпжылдық орташа көрсеткіштері мұз қату әсерін есептен алып тастаған соң статистикалық тұрғыдан маңызды төмендеу үрдісін көрсететіні анықталды. Манн-Кендалл сынағы $\tau = -0,511$ және $p = 0,0466$, ал су деңгейінің төмендеу жылдамдығы (Тейл-Сен көлбеуі) жылына $-0,1346$ м тең болды (кесте 2).

Кесте 2. Жылы кезеңдегі Алакөл мен Сасықкөлдің 2016–2026 жж. су деңгейлерін ғарыштық альтиметрия деректері бойынша салыстыру

Көл	Кезең	Тренд	Манн-Кендалл	Қорытынды
Алакөл	2016–2026	–13,46 см/жыл	$\tau = -0.511, p = 0.0466$	Трендтің статистикалық мәні бар
Сасықкөл	2002–2026	–0,37 см/жыл	$\tau = -0.080, p = 0.5948$	Мәнді тренд жоқ
Сасықкөл	2016–2026	–2,13 см/жыл	$\tau = -0.345, p = 0.1646$	Мәнді тренд жоқ

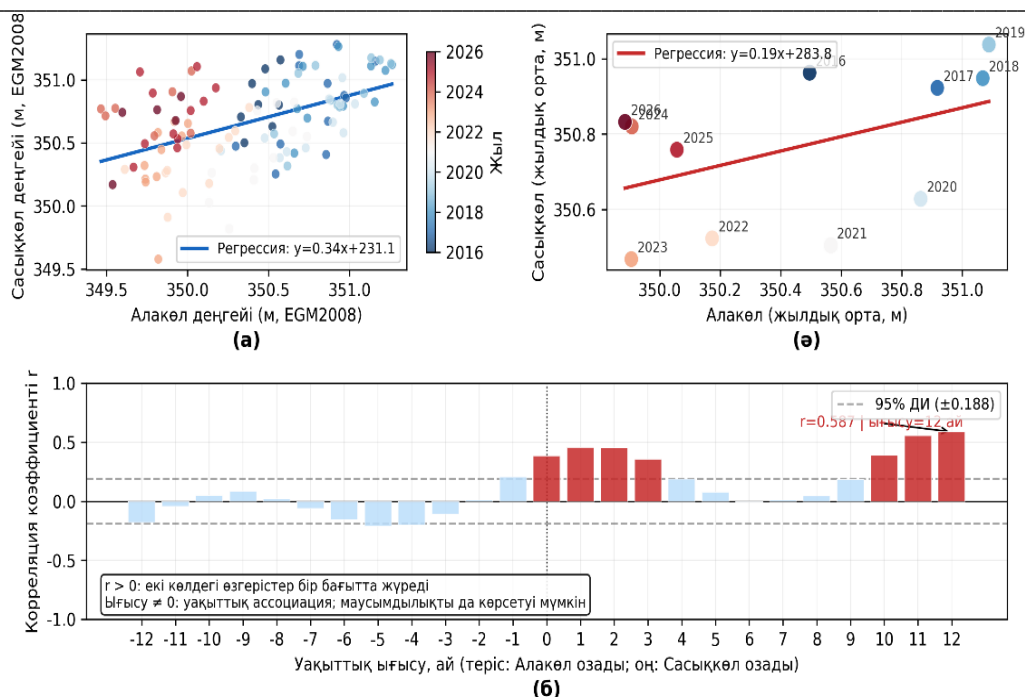
Яғни он жылда су деңгейі 1,35 м шамасына төмендеді, алайда ол біркелкі болған емес. Судың жылдық медиана деңгейі 2016–2018 жылдары 350,736 м, ал 2019–2021 жылдары 350,704 м деңгейінде болды. Кейіннен 2022–2026 жылдары су деңгейі 349,875 м дейін төмендеді. Осылайша, бастапқы және соңғы кезең аралығында жылдық медианалық су деңгейі негізінен 2022 жылдан кейін 0,813 м-ге төмендеді (сурет 2а).

Сасықкөлге қатысты альтиметрия көрсеткіштері ұзақтау аралықты - 2002 ж. ақпаны мен 2026 ж. маусымы аралығындағы кезенді қамтыды, су деңгейі EGM2008 вертикальді координат жүйесіне сәйкес 349,27 м (мин.) мен 351,4 м (макс.) аралығында өзгергенін көрсетті.



Сурет 2 – Алакөл (а) мен Сасықкөлдің (б) су деңгейінің динамикасы Қазгидромет, ДАНИТИ спутниктік альтиметрия, Бабкин және т.б. (Babkin et al., 2017) болжамымен салыстыру

Жылы мезгілдің (2002–2026 жж. мамыр-қазан) көпжылдық жылдық медианалық көрсеткіштері мұз қату әсерін есептен алып тастаған соң статистикалық мәнді төмендеу үрдісі анықталмады. Манн-Кендалл сынағы $\tau = -0,08$ және $p = 0,5948$ (кесте 1), ал су деңгейінің төмендеу жылдамдығы (Тейл-Сен көлбеуі) жылына $-0,37$ см тең болды.



Сурет 3. Алакөл және Сасықкөл су деңгейлерінің корреляциялық талдауы (2016–2026 жж.): а) айлық деңгейлер; ә) мамыр–қазан кезеңінің жылдық медианалары; б) деңгей аномалияларының уақыттық ығысуы бойынша кросс-корреляциясы

Алакөлмен салыстырмалы түрде 2016–2026 жж. аралығында $\tau = -0,345$ және $p = 0,1646$, ал су деңгейінің төмендеу жылдамдығы (Тейл–Сен көлбеуі) жылына $-2,13$ см тең болды. Судың медианалық деңгейі 2016–2018 жылдары 350,954 м, ал 2019–2021 жылдары 350,733 м, 2022–2026 жылдары су деңгейі 350,616 м-ге дейін өзгерді (сурет 2ә). Алайда мұндай айтарлықтай су деңгейінің төмен түсуі статистикалық мәнсіз болып шықты.

Қарастырылған уақыт аралығындағы Алакөл мен Сасықкөлдің ай сайынғы су деңгейлерінің өзара корреляциялық талдауы нәтижесінде (сурет 3а) орташа оң байланыс бар екені анықталды (Пирсон корреляциясы $r = 0,495$, $p < 0,0001$).

Керісінше, жылы мезгілдің жылдық медианалық деңгейлері (сурет 3ә) статистикалық мәнді корреляция көрсетпейді (Пирсон корреляциясы $r = 0,455$, $p = 0,1597$). Сәйкесінше қос көлдің көпжылдық өзгерістері синхронды емес. Сызықтық тренді алып тастағандағы екі көл деңгейлерінің өзара корреляциясы Алакөлдің 12 айға кешігуін қарастырғанда ғана Пирсон корреляциясы $r = 0,587$ мәніне дейін жоғарылады (сурет 3б), алайда бұл тікелей қайталанатын жылдық маусымдық өзгерістер көрсеткіші болуы мүмкін.

Алынған нәтижелер екі көлге ортақ гидроклиматтық күштердің әсерін суреттейді. Алайда қос көл су деңгейлерінің ұзақ мерзімді реакциялары олардың су баланстарының құрылымының айырмашылығына байланысты бірдей емес: Алакөлдің тұйық, ағынсыз, ал Сасықкөлдің ағынды, қос көл ортасындағы Қошқаркөл арқылы өзара гидравликалық байланыста. Сонымен қатар, су әкелетін ағындардың гидрологиялық өзгергістері, су пайдаланудың өзгерістері оларға екі түрлі әсер етуі мүмкін.

4. Талқылау

Қарастырылған кезеңдегі Алакөлдің су деңгейінің айтарлықтай төмендеуі статистикалық тұрғыдан маңызды және бұл көлдің регрессия кезеңіне өтуінің көрсеткіші. Жылы маусымдағы орташа су деңгейі қарастырылған уақыттағы ғарыштық альтиметрия деректерінде байқалған өзгерістің бағыты мен шамасы «Қазгидромет» РМК-ның «Рыбзавод» бекетіндегі бақылаулармен сәйкес келеді. Ал Сасықкөлдегі су деңгейінің динамикасы статистикалық тұрғыдан маңызды өзгерістерді көрсетпеді және қос көл арасындағы

гидрологиялық байланыстың болуы мен режимдерінің ұқсамайтынын көрсетті. Алакөлдегі су деңгейінің айтарлықтай төмендеуі қосымша ағын су, жауын-шашын, су пайдалану деректерін қоса отырып күрделі модель құрастыру қажеттілігін көрсетті.

5. Қорытынды

Осы зерттеу барысында ғарыштық альтиметриялық бақылау деректерінің көмегімен Алакөлдің су деңгейінің статистикалық маңызды төмендеуі анықталды. ДАНИТ миссиясының деректеріне сәйкес 2016-2026 жж. мамыр-маусым аралығында көлдің су деңгейі 349,46-351,26 м (EGM2008) арасында өзгерді. Жылы мезгілдегі су деңгейінің медианалары арқылы айтарлықтай төмендеу трендінің (Манн-Кендалл сынағы $\tau = -0,511$, $p = 0,0466$) бар екендігі, ал су деңгейінің жылына 0,1346 м шамасында (Тейл-Сен көлбеуі) төмендеп жатқандығы анықталды. Су деңгейі 2021 жылға дейін салыстырмалы түрде жоғары болып, ал одан кейінгі кезеңде айқын төмендей бастағаны байқалды және 2016–2025 жж. аралығында медианалық көрсеткіші 0,813 м-ге төмендеді.

Ғарыштық бақылау нәтижесін Қазгидромет ұлттық бақылау жүйесіндегі Алакөл жағасындағы Рыбзавод бекетінен алынған деректер арқылы расталды. Наурыз айындағы су деңгейі 2020 ж. 350,519 м (теңіз деңгейі) 2022 ж. 349,893 м деңгейіне дейін (-0,626 м) төмендегені байқалды. Екі вертикальді координат жүйесіндегі осындай ұқсастық Алакөлдің су деңгейі төмендеуінің гидрологиялық өзгеріс екенін көрсетеді. Осыған дейін тарихи бақылау деректеріне сүйеніп Бабкин және т.б. (2017) су деңгейінің тұрақты төмендеуін болжаған еді. Аталған авторлардың нәтижелерін бақылау көрсеткіштері ретінде қарастырылған кезде зерттеуіміздің Алакөл су деңгейінің сол тұжырымдарға сәйкес төмендеп бара жатқаны анықталды. Дегенмен, төмендеу жылдамдығы тарихи регрессияның орташа қарқынынан біршама жоғары болып шықты.

Сасықкөл мен Алакөлдің ай сайынғы медианалық су деңгейі ғарыштық деректерге сәйкес оң байланыстың барын көрсетті, бұл аймақтық ортақ гидроклиматтық себептерді көрсетеді. Алайда, 2002-2025 жж. арасында Сасықкөл су деңгейінде статистикалық маңызы бар монотондық үрдіс табылмады, яғни екі көлдің аймақтық гидроклиматтық өзгерістерге бірдей жауап бермейтіні анық. Оның себептері қос көлдің екі түрлі гидрологиялық конфигурациясы, араларындағы Қошқаркөл арқылы гидравликалық байланысының болуы мен суды пайдалану қысымының әртүрлігінде болуы мүмкін.

Болашақта зерттеу жұмыстары қос көлдің климаттық өзгергіштік пен суды пайдаланудың рөлін анықтау үшін су ағынын, суды алу деректерін, жауын-шашын мөлшерін, көлдің булануын, қар жинауды бағалауды және жер асты суларының деректерін біріктіруі керек. Қазіргі нәтижелер болашақта су балансын бағалау және аумақтың су ресурстарын басқару үшін ғарыштық және өлшеу құралдарының деректерімен расталған базалық деңгейді ұсынады.

6. Қосымша материалдар: қосымша материалдар жоқ.

7. Авторлық үлестер

Концептуализация - К.С., Е.М.; әдістемесі - К.С.; бағдарламалық қамтамасыз ету - К.С.; валидация - Е.М., Ж.С.; формалды талдау - К.С.; зерттеу - Ж.С.; ресурстар - Е.М.; деректерді өңдеу - К.С.; жазу – түпнұсқа жобасын дайындау - К.С.; жазу – шолу және өңдеу - Е.М.; визуализация - С.А.; жетекшілік - Ж.С.; жоба жетекшілігі - Ж.С.; қаржыландыру - Ж.С. Барлық авторлар қолжазбаның жарияланған нұсқасымен танысып, келісті.

8. Автор туралы ақпарат

Самарханов, Канат – доцент м.а., Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қажымұқан көш., 13, Астана, Қазақстан, 010000; жетекші ғылыми қызметкер, Қазақ-Британ

техникалық университеті, Төле би көшесі, 59, Алматы, Қазақстан, 050000; samarkhanov_kb@enu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-9799-8695>.

Муқанов, Ерболат – доцент м.а., Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қажымұқан көш., 13, Астана, Қазақстан, 010000; жетекші ғылыми қызметкер, Қазақ-Британ техникалық университеті, Төле би көшесі, 59, Алматы, Қазақстан, 050000; mukanov_yen@enu.kz, <https://orcid.org/0009-0003-3132-6388>.

Сагин, Жанай – профессор, Қазақ-Британ техникалық университеті, Төле би көшесі, 59, Алматы, Қазақстан, 050000; j.sagin@kbtu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-0386-888X>.

Алиева, Сельвина – ғылыми қызметкер, Қазақ-Британ техникалық университеті, Төле би көшесі, 59, Алматы, Қазақстан, 050000; salieval120@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7793-7016>.

9. Қаржыландыру: Зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің «Жамбыл, Алматы, Жетісу, Абай және Шығыс Қазақстан облыстары үшін сулы горизонттарды басқарылатын толықтырудың гидрогеологиялық стратегияларымен су тасқыны-кұрғақшылық салдарын төмендету инновациялары» (ЖТН: BR27197639) бағдарламалық-мақсатты қаржыландыру жобасы аясында жүргізілді.

10. Алғыстар: Авторлар DANITI, Google Earth Engine платформаларының Жерді қашықтықтан зерделеу деректерінің мұрағаттарына, оларды өңдеу мен талдауда қолданылған есептеу ресурстарына қол жеткізуді қамтамасыз еткені үшін алғыс білдіреді. «Қазгидромет» РМК-на гидрологиялық бақылау нәтижелерін қолжетімді еткені үшін ерекше алғыс білдіреді.

11. Мүдделер қақтығысы: Авторлар мүдде қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

12. Әдебиеттер тізімі

1. Aizen, V. B., Aizen, E. M., Melack, J. M., & Dozier, J. (1997). Climatic and hydrologic changes in the Tien Shan, Central Asia. *Journal of Climate*, 10(6). [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1997\)010<1393:CAHCIT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1997)010<1393:CAHCIT>2.0.CO;2)
2. Babkin, A. V., Madibekov, A. S., Musakulkyzy, A., & Cherednichenko, A. V. (2017). Verification and actual forecast of the water level of Lake Alakol for the near future. *Hydrometeorology and Ecology. Almaty*, 3, 60–71.
3. Baigaliyeva, M., Mount, N., Gosling, S. N., & McGowan, S. (2024). Unravelling long-term impact of water abstraction and climate change on endorheic lakes: a case study of Shortandy Lake in Central Asia. *PLoS ONE*, 19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0305721>
4. Geofabrik GmbH. (2026). *Data Extracts – Technical Details*. <https://download.geofabrik.de/technical.html>
5. Jiqin, H., Gelata, F. T., & Gameda, S. C. (2023). Application of MK trend and test of Sen's slope estimator to measure impact of climate change on the adoption of conservation agriculture in Ethiopia. *Journal of Water and Climate Change*, 14(3). <https://doi.org/10.2166/wcc.2023.508>
6. Liu, Y., Ye, Z., Jia, Q., Mamat, A., & Guan, H. (2022). Multi-source remote sensing data for lake change detection in Xinjiang, China. *Atmosphere*, 13(5). <https://doi.org/10.3390/atmos13050713>
7. Makhmudova, L., Alimkulov, S., Talipova, E., Birimbayeva, L., Moldakhanova, N., Dautaliyeva, M., Alzhanov, O., Dostayeva, A., Zhunissova, M., & Akzharkynova, A. (2026). Climate-Driven Shifts in Drought Dynamics in the Balkhash–Alakol Water Management Basin Revealed by Integrated Satellite and Ground Observations. *Applied Sciences*, 16(15), 7606. <https://doi.org/10.3390/app16157606>
8. Massakbayeva, A., Abuduwaili, J., Bissenbayeva, S., Issina, B., & Smanov, Z. (2020). Water balance of the Small Aral Sea. *Environmental Earth Sciences*, 79(3), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8739-5>

9. Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., & Gomis, M. I. (2021). Climate change 2021: the physical science basis. *Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2(1), 2391.
10. Mukanov, Y., Arystanova, R., Sagin, J., Samarkhanov, K., Usmanov, T., Baisholanov, S., & Zhukonova, A. (2026). A statistical analysis of multi-decadal trends in temperature, precipitation and drought indices in eastern and southeastern Kazakhstan between 1981 and 2023. *Agronomy*, 16(11), 1097. <https://doi.org/10.3390/agronomy16111097>
11. NASA Jet Propulsion Laboratory. (2013). *NASA Shuttle radar topography mission global 1 arc second*. NASA EOSDIS land processes distributed active archive center. <https://doi.org/10.5067/MEASURES/SRTM/SRTMGL1.003>
12. Nurakynov, S., Kaldybayev, A., Zulpikharov, K., Sydyk, N., Merekeyev, A., Chepashev, D., Nyssanbayeva, A., Issanova, G., & Fang, G. (2023). Accelerated glacier area loss in the Zhetysu (Dzhungar) Alatau Range (Tien Shan) for the period of 1956–2016. *Remote Sensing*, 15(8). <https://doi.org/10.3390/rs15082133>
13. Republican State Enterprise Kazhydromet. (2026). *Hydrological Database of the Republic of Kazakhstan*. RSE Kazhydromet. https://meteo.kazhydromet.kz/database_hydro_kz/
14. Schwatke, C., Dettmering, D., Bosch, W., & Seitz, F. (2015). DAHITI – an innovative approach for estimating water level time series over inland waters using multi-mission satellite altimetry. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(10), 4345–4364. <https://doi.org/10.5194/hess-19-4345-2015>
15. Seitkazy, M., Genc, L., Aktymbayeva, A., Valeyev, A., Taukebayeva, M., Kaliyeva, A., & Beisekenov, N. (2025). The effect of changing the shoreline on the east recreation area of Alakol lake (Kazakhstan). *Geojournal of Tourism and Geosites*, 59(2). <https://doi.org/10.30892/gtg.59243-1475>
16. Sorg, A., Bolch, T., Stoffel, M., Solomina, O., & Beniston, M. (2012). Climate change impacts on glaciers and runoff in Tien Shan (Central Asia). *Nature Climate Change*, 2(10), 725–731. <https://doi.org/10.1038/nclimate1592>
17. Valeyev, A., Karatayev, M., Abitbayeva, A., Uxukbayeva, S., Bektursynova, A., & Sharapkhanova, Z. (2019). Monitoring coastline dynamics of Alakol Lake in Kazakhstan using remote sensing data. *Geosciences*, 9(9), 404.
18. Velpuri, N. M., Senay, G. B., & Asante, K. O. (2012). A multi-source satellite data approach for modelling Lake Turkana water level: calibration and validation using satellite altimetry data. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(1). <https://doi.org/10.5194/hess-16-1-2012>
19. Wang, F., Shao, W., Yu, H., Kan, G., He, X., Zhang, D., Ren, M., & Wang, G. (2020). Re-evaluation of the power of the Mann-Kendall test for detecting monotonic trends in hydrometeorological time series. *Frontiers in Earth Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00014>
20. Wang, J., Song, C., Reager, J. T., Yao, F., Famiglietti, J. S., Sheng, Y., MacDonald, G. M., Brun, F., Schmied, H. M., Marston, R. A., & Wada, Y. (2018). Recent global decline in endorheic basin water storages. *Nature Geoscience*, 11(12). <https://doi.org/10.1038/s41561-018-0265-7>
21. Wurtsbaugh, W. A., Miller, C., Null, S. E., Justin De Rose, R., Wilcock, P., Hahnenberger, M., Howe, F., & Moore, J. (2017). Decline of the world's saline lakes. *Nature Geoscience*, 10(11). <https://doi.org/10.1038/NGEO3052>
22. Yapiyev, V., Sagintayev, Z., Inglezakis, V. J., Samarkhanov, K., & Verhoef, A. (2017). Essentials of endorheic basins and lakes: a review in the context of current and future water resource management and mitigation activities in Central Asia. *Water (Switzerland)*, 9(10). <https://doi.org/10.3390/w9100798>
23. Yapiyev, V., Sagintayev, Z., Verhoef, A., Kassymbekova, A., Baigaliyeva, M., Zhumabayev, D., Malgazhdar, D., Abudanash, D., Ongdas, N., & Jumassultanova, S. (2017). The changing water

- cycle: Burabay National Nature Park, Northern Kazakhstan. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 4(5). <https://doi.org/10.1002/wat2.1227>
24. Zhang, X., Wang, L., & Chen, D. (2019). Changes in precipitation extremes in Central Asia. *Journal of Hydrometeorology*, 20, 459–475.
25. Alimkulov, S. K., Myrzakhmetov, A. B., Tursunova, A. A., Isakan, G., Dostaeva, A. Zh., & Kanay, M. A. (2023). Basic hydrographic information on the rivers and temporary watercourses of the Balkhash–Alakol Basin (Osnovnyye gidrograficheskiye svedeniya o rekakh i vremennykh vodotokakh Balkhash-Alakol'skogo basseyna in Russian). *Bulletin of the Karaganda University. Biology Medicine Geography Series*, 109(1), 195–205. <https://doi.org/10.31489/2023bmg1/195-205>

Dynamics of water level in Alakol and Sasykkol lakes based on space altimetry (2016-2026)

Kanat Samarkhanov, Yerbolat Mukanov, Zhanay Sagin, Selvina Aliyeva

Abstract: The Alakol-Sasykkol lake system forms a single hydrological system located in the Balkhash-Alakol basin in eastern Kazakhstan, fed by the waterflows from the Zhetysu-Alatau and Tarbagatai ranges. However, the hydrological regimes of the two lakes differ: Alakol is a brackish-water endorheic lake, while Sasykkol is a freshwater lake with an inflow, receiving its main water supply from the Tentek River and connected to Lake Alakol via Lake Koshkarkol. Under these conditions, assessing water level changes in the two lakes and the characteristics of their interconnections is of hydrological significance. The study used DAHITI satellite altimetry data: 125 observations from a virtual station in Alakol (ID 14036) for 2016–2026, and 796 observations from a virtual station in Sasykkol (ID 229) for 2002–2026. These series were compared with data from the Rybzavod hydrological station of the KazHydromet Republican State Enterprise. Water level trends were assessed using the Mann-Kendall test, and the rates of change were calculated using the Theil-Sen slope. It was found that the Alakol level has been decreasing by approximately 13.46 cm per year (Mann-Kendall test $\tau = -0.511$, $p = 0.0466$). The median water level in the warm season decreased from 350.7 m in 2016-2018 to 349.9 m in 2022-2026; thus, the decrease amounted to 0.86 m. Although the Sasykkol level decreased (2.13 cm/year), no statistically significant monotonic trend was detected over the observation period of 2002-2026. These results indicate that the phase of Alakol level decline is not synchronous with the phase of Sasykkol level decline and provide evidence of a regressive phase.

Keywords: space altimetry; DAHITI; Alakol; Sasykkol; lake; water level; Mann-Kendall.

Динамика уровня воды в озерах Алаколь и Сасыккол на основе космической альтиметрии (2016-2026)

Канат Самарханов, Ерболат Муканов, Жанай Сагин, Сельвина Алиева

Аннотация: Озерная система Алаколь-Сасыкколь образует единую гидрологическую систему, расположенную в бассейне Балхаш-Алаколь на востоке Казахстана, питаемую водами хребтов Жетысу-Алатау и Тарбагатай. Однако гидрологический режим двух рассматриваемых озер различается: Алаколь – солоноватоводное озеро без притока, а Сасыкколь – пресноводное озеро с притоком, получающее основную воду из реки Тентек и соединено с озером Алаколь через озеро Кошкарколь. В этих условиях особое

гидрологическое значение имеет оценка изменений уровня воды в двух озерах и особенностей их взаимосвязи. В исследовании использованы данные космической альтиметрии DАNІTІ: 125 наблюдений с виртуальной станции в Алаколе (ID 14036) за 2016–2026 годы, 796 наблюдений с виртуальной станции в Сасыкколе (ID 229) за 2002–2026 годы. Данные временные ряды были сопоставлены с данными гидрологической станции «Рыбзавод» РГП «Казгидромет». Тренды уровня воды оценивались с помощью теста Манна-Кендалла, а темпы их изменения рассчитывались с использованием коэффициента наклона Тейла-Сена. Установлено, что уровень Алаколя снижается примерно на 13,46 см в год (тест Манна-Кендалла $\tau = -0,511$, $p = 0,0466$). Медианный уровень воды в теплый сезон снизился с 350,7 м в 2016-2018 годах до 349,9 м в 2022-2026 годах, таким образом, снижение составило 0,86 м. Хотя уровень Сасыкколя снизился (2,13 см/год), статистически значимого монотонного тренда за период наблюдений 2002-2026 годов обнаружено не было. Эти результаты указывают на то, что фаза снижения уровня Алаколя не синхронна с фазой снижения уровня Сасыкколя и предоставляют данные о регрессивной фазе первого озера.

Ключевые слова: космическая альтиметрия; DАNІTІ; Алаколь; Сасыкколь; озеро; уровень воды; Манн-Кендалл.