



Ғылыми мақала

ТҰЗДЫ КӨЛДЕР МАҢЫНДАҒЫ ТОПЫРАҚТАРДЫҢ ТҰЗДАНУ ДЕНГЕЙІНІҢ САЛЫСТЫРМАЛЫ СИПАТТАМАСЫ (ҚАЗАҚСТАН МЫСАЛЫНДА)

Асанәлі. Қабдулмәжитұлы^{1*}, Асель.К Мурзалимова², Жанар. Рахымжан¹, Румия.М Тазитдинова^{1,2}, Айна.А Рысмағамбетова³

1 Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан; akabdulmazhituly@bk.ru (АК), r.zhanar80@mail.ru (ЖР), tazitdinova_rm@enu.kz (PMT)

2 «Шәкәрім атындағы Университет» КЕАК, Семей, Қазақстан; murzalimova78@mail.ru (АКМ)

3 Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; Ayna.Rysmagambetova@kaznu.edu.kz (ААР)

* Автор корреспондент: Асанәлі Қабдулмәжитұлы, akabdulmazhituly@bk.ru

ТҮЙІН СӨЗДЕР

тұзданған топырақтар, электр өткізгіштік, аниондық құрам, $\text{Cl}^-:\text{SO}_4^{2-}$ қатынасы, сульфатты-хлоридті тұздану, солончактар, Керуенкөл, Сор, Шошқалы

АБСТРАКТ

Бұл зерттеу Қазақстанның Абай, Шығыс Қазақстан облыстарында орналасқан Керуенкөл, Сор және Шошқалы көлдері маңындағы топырақтардың тұздану деңгейін және олардың физика-химиялық қасиеттерін салыстырмалы түрде бағалауға арналған. Зерттеу барысында топырақтың реакциясы (pH), электр өткізгіштігі (ЕС), негізгі суға еритін катиондар мен аниондардың (Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-}) концентрациялары анықталды, сондай-ақ аниондық құрам негізінде топырақтың тұздану типі жіктелді. Зерттеу нәтижелері бойынша барлық үш учаскеде топырақтар сілтілі реакциямен сипатталды ($\text{pH} = 8,0-8,8$). Электр өткізгіштік мәндері 7,5–13,2 дС/м аралығында өзгеріп, топырақтардың орташа және күшті тұзданған санаттарға жататынын көрсетті. Натрий, хлорид және сульфат иондарының жоғары концентрациялары анықталды: $\text{Na}^+ - 1750-3600$ мг/кг, $\text{Cl}^- - 1300-2700$ мг/кг, $\text{SO}_4^{2-} - 600-1200$ мг/кг. Топырақтың аниондық құрамын Н.И. Базилевич пен Е.И. Панковая ұсынған жіктеу әдісі бойынша талдау $\text{Cl}^-:\text{SO}_4^{2-}$ қатынасының 2,17–2,47 аралығында екенін көрсетті, бұл барлық зерттелген учаскелердің сульфатты-хлоридті тұздану типіне жататынын дәлелдейді. Шошқалы учаскесіндегі көрсеткіштің салыстырмалы түрде төмен болуы оның хлоридті типке жақын өтпелі сипатқа ие екенін көрсетеді. Алынған нәтижелер зерттелген аумақтардың табиғи солончактық ландшафттарға тән жоғары тұздану деңгейімен, сілтілі реакциямен және улы тұздардың басым болуымен ерекшеленетінін көрсетеді. Бұл деректер Қазақстанның тұзданған жерлерін бағалау, топырақ деградациясын болжау және жер ресурстарын тиімді басқару үшін маңызды ғылыми негіз болып табылады.

1. КІРІСПЕ

Қазақстанның құрғақ және жартылай құрғақ аймақтарында топырақтың тұздануы мен химиялық ластануы экологиялық тұрақтылыққа және әлеуметтік-экономикалық дамуға тікелей әсер ететін өзекті мәселелердің бірі болып табылады [20], [25], [28]. Әсіресе Шығыс Қазақстан және Абай облыстарында тұзды және сілтілі топырақтардың кең таралуы климаттың құрғақтануы, буланудың жоғары қарқындылығы және минералданған жерасты суларының топырақ бетіне жақындығымен түсіндіріледі [21], [23]. Осыған ұқсас жағдайлар Шошқалы, Сор және Керуенкөл көлдері маңында да байқалады, бұл аймақтарды Қазақстанның табиғи тұзданған ландшафттарының қатарына енгізуге мүмкіндік береді [29]. Топырақтағы натрий (Na^+), хлорид (Cl^-) және сульфат (SO_4^{2-}) иондарының жоғары концентрациясы топырақ құрылымының бұзылуына, қарашірік мөлшерінің төмендеуіне, биологиялық белсенділіктің әлсіреуіне және өсімдік қауымдастықтарының деградациясына әкеледі [22], [24]. Бұл процестер нәтижесінде

Мақала жайында:

Жіберілді: 22.01.2026
 Қайта қаралды: 05.03.2026
 Қабылданды: 18.03.2026
 Жарияланды: 01.04.2026

Дәйексөз үшін:

Қабдулмәжитұлы А.,
 Мурзалимова А.,
 Рахымжан Ж.,
 Тазитдинова Р.,
 Рысмагамбетова А. Тұзды
 көлдер маңындағы
 топырақтардың тұздану
 деңгейінің салыстырмалы
 сипаттамасы (Қазақстан
 мысалында) // Гидрометеорология и
 экология, 121 (1), 2026, 86-
 99.

топырақтың су ұстау қабілеті төмендеп, экожүйелердің өнімділігі айтарлықтай қысқарады. Топырақ тұздануы тек табиғи факторлардың ғана емес, сондай-ақ антропогендік жүктеменің де нәтижесі болып табылады. Суармалы егіншілік кең тараған аймақтарда тиімсіз суару, дренаж жүйелерінің болмауы және минералданған суды пайдалану екінші реттік тұзданудың күшеюіне ықпал етеді [6], [25]. Мұндай құбылыс Павлодар, Қызылорда, Атырау және Шығыс Қазақстан облыстарында жиі кездеседі [29]. Дәстүрлі мелиорациялық әдістер (топырақ шаю, гипстеу, әктеу, дренаж жүйелері) экономикалық жағынан тиімсіз әрі ұзақ мерзімде тұрақты нәтиже бермейді [26]. Сондықтан соңғы жылдары биологиялық қалпына келтіру технологиялары, соның ішінде фиторемедиация әдістеріне қызығушылық артты [1], [5], [11].

Фиторемедиация – табиғи биологиялық процестерге негізделген, экологиялық таза технология. Тұзды ортаға бейімделген галофитті өсімдіктер Na^+ , Cl^- және SO_4^{2-} иондарын өз бойына жинау арқылы топырақтың тұздылығын төмендетуге қабілетті. Солардың ішінде *Salicornia europaea* ең перспективалы түр ретінде кеңінен зерттелуде [4], [11], [12], [28]. 2020 жылдан кейінгі халықаралық зерттеулер галофиттердің фиторемедиациялық мүмкіндіктерін жаңа деңгейде дәлелдеді. Khalilzadeh et al. *Salicornia europaea* өсімдігінің ауыр металдар мен тұздарды сіңіру тиімділігін жоғары бағалады [11]. Ahmadi et al. Орта Азияға жақын аймақтарда галофиттердің тұзданған топырақты қалпына келтіру мүмкіндігін көрсетті [12]. Beisenova et al. (Қазақстан) Pavlodar өңірінде *Salicornia europaea* жергілікті жағдайларға жақсы бейімделетінін көрсетті [9]. Baibekova & Sarsekova Қазақстанның тұзданған экожүйелеріндегі деградациялық процестерді сипаттады [10]. Hossain et al. галофиттердің тұзды топырақтарды биоремедиациялау қабілетін жоғары деп бағалады [14]. Сонымен бірге, *Salicornia europaea* өсімдігінің Қазақстан жағдайына физиологиялық бейімделуі және нақты топырақ құрамына әсері әлі толық зерттелмеген. Осыған байланысты зерттеудің мақсаты Шошқалы, Сор және Керуенкөл көлдері маңындағы тұзданған топырақтардың иондық құрамын анықтау және *Salicornia europaea* өсімдігін қолдану арқылы фиторемедиациялық тиімділігін бағалау [1], [11], [12].

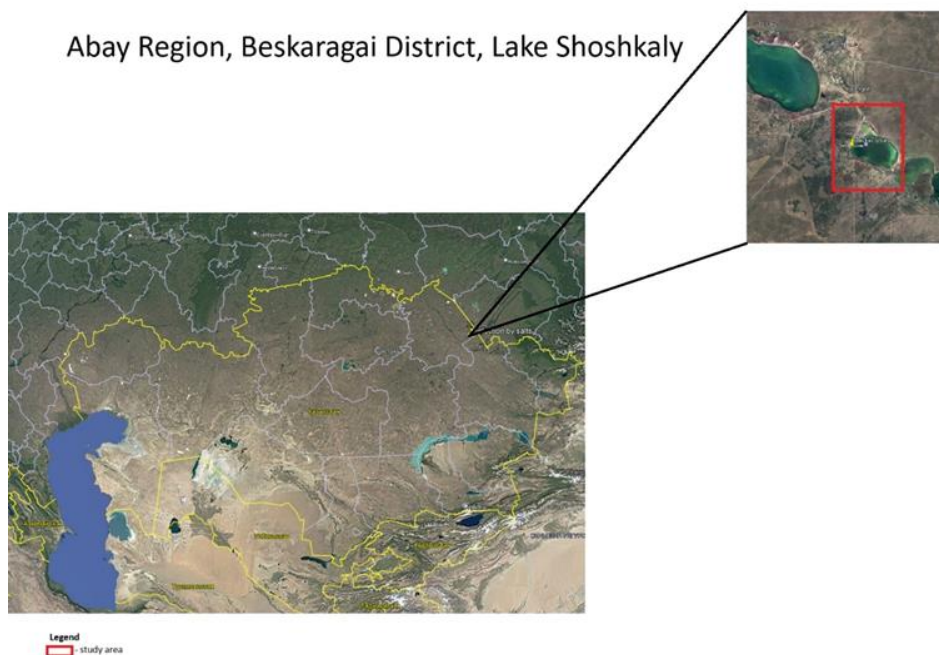
2. МӘЛІМЕТТЕР МЕН ӘДІСТЕР

Қазақстан Республикасында тұзданған және сортаң топырақтардың таралу деңгейі жоғары болғанымен, көптеген өңірлерде, әсіресе Солтүстік-Шығыс аймақтарында бұл мәселе әлі де толық зерттелмеген [10], [14], [15]. Оңтүстік және Батыс өңірлермен салыстырғанда Абай, Шығыс Қазақстан және Павлодар облыстарындағы табиғи тұздану ошақтары жеткілікті зерттелмеген, сондықтан топырақтың нақты тұздану деңгейін, анион-катиондық құрамын және химиялық ерекшеліктерін анықтау өзекті болып табылады [9], [11], [28].

Осы зерттеуде негізгі мақсат ретінде Керуенкөл (Абай облысы), Сор (ШҚО) және Шошқалы (Павлодар облысы) көлдері маңындағы топырақтардың тұздану деңгейін анықтау және олардың химиялық құрамын талдау алынды. Бұл аймақтар Қазақстанның табиғи тұзданған ландшафттарының қатарына кіреді және өңірлік экожүйенің деградация қаупін күшейтеді [23], [27]. Далалық зерттеу жұмыстары 2024 жылғы маусым–шілде айларында жүргізілді. Әр зерттеу нысанында (Керуенкөл, Сор және Шошқалы) «конверт» әдісі бойынша 5 нүктеден 0–20 см тереңдікте топырақ сынамалары алынды. Осылайша, әр өңірде 5 сынамадан, жалпы 15 нүктелік сынама жиналды. Барлық сынамалар жеке-жеке зертханалық талдауға жіберілді.

Сурет 1-де Шошқалы көлі маңындағы топырақ сынамалары жиналған нақты учаскелердің кеңістіктік орналасуы көрсетілген. Карта зерттеу аумағының шекарасын, үлгі алу нүктелерін және олардың өзара қашықтықтарын визуалды түрде бейнелейді. Бұл ақпарат топырақтың кеңістіктік әркелкілігін бағалау және алынған деректердің репрезентативтілігін қамтамасыз ету үшін маңызды.

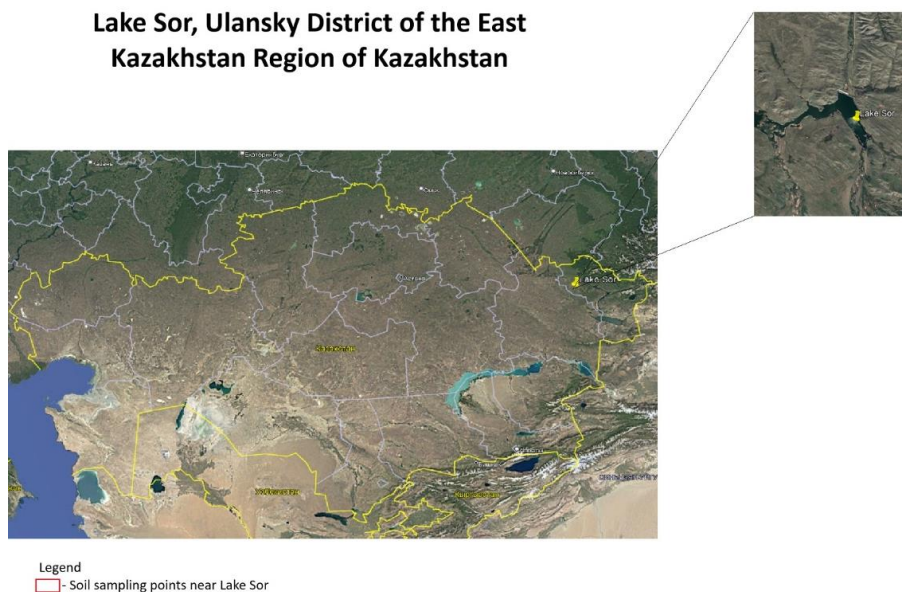
Abay Region, Beskaragai District, Lake Shoshkaly



Сурет 1. Абай облысы, Бесқарағай ауданы, Шошқалы көлі маңындағы топырақ сынамалары алынған зерттеу аумағы

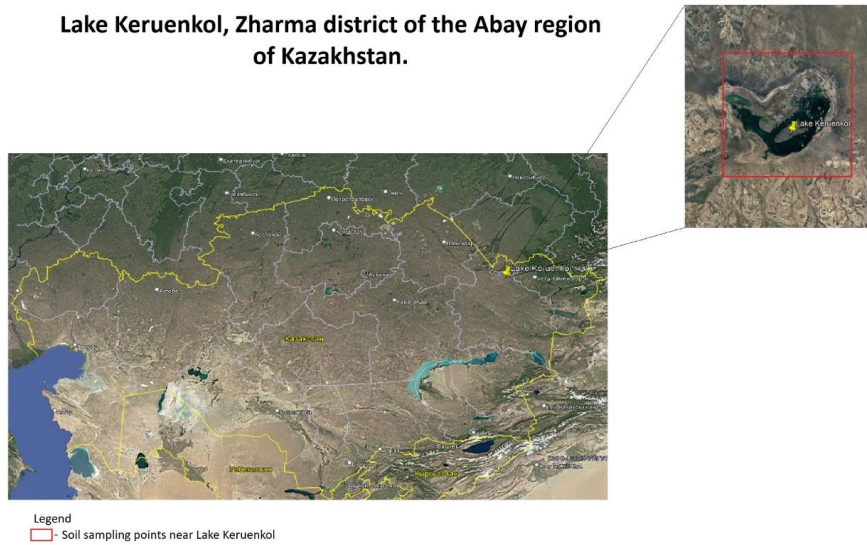
Сурет 2-де Сор көлі маңындағы зерттеу аумағы көрсетілген. Картада топырақ үлгілері жиналған нүктелердің орналасуы және олардың кеңістіктік таралуы бейнеленген. Бұл схема зерттелген аумақтың географиялық ерекшеліктерін және сынама алу процесінің құрылымын түсіндіруге көмектеседі.

Lake Sor, Ulansky District of the East Kazakhstan Region of Kazakhstan



Сурет 2. Шығыс Қазақстан облысы, Ұлан ауданы, Сор көлі маңындағы топырақ сынамалары алынған зерттеу аумағы

Сурет 3-де Керуенкөл көлі маңындағы зерттеу аумағы көрсетілген. Карта топырақ сынамалары жиналған нүктелердің орналасуын және олардың кеңістіктік ұйымдасуын бейнелейді, бұл талдау нәтижелерін аумақтық тұрғыда түсіндіруге мүмкіндік береді.



Сурет 3. Абай облысы облысы, Жарма ауданы, Керуенкөл көлі маңындағы топырақ сынамалары алынған зерттеу аумағы



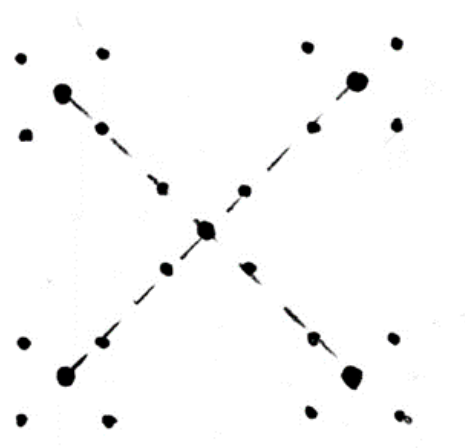
Сурет 4. Керуенкөл маңындағы топырақ үлгісі (0–20 см). Үлгі 2024 жылғы маусым айында алынды



Сурет 5. Сор көлі маңындағы топырақ үлгісі (0–20 см).



Сурет 6. Шошқалы көлі маңындағы топырақ үлгісі (0–20 см)



Сурет 7. «Конверт» әдісінің сынамалық схемасы

Бұл әдіс табиғи аумақтардағы топырақтың кеңістіктік әркелкілігін азайтып, репрезентативті (орташа) үлгі алуға мүмкіндік береді [9]. Әр учаскеден бес нүкте (төрт бұрыш және орталық) бойынша топырақ алынды, іріктеу тереңдігі 0–20 см деңгейінде белгіленді, бұл топырақтың үстіңгі генетикалық горизонттына қатысты халықаралық топырақтану нормаларына сәйкес келеді [9]. Жиналған топырақ үлгілері ауада кептіріліп, кейін 2 мм електен өткізілді, бұл стандартты зертханалық талдау талаптарына сай орындалды. Әрі қарай зерттеу рН және электр өткізгіштік (ЕС) мәндерін анықтау, негізгі иондар (Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-}) құрамын талдау, құрғақ қалдыққа байланысты тұздану деңгейін бағалау [8], сондай-ақ Базилевич–Панкованың аниондық классификациясы бойынша топырақтың тұздану типін анықтау бағыттарында жүргізілді [11]. Барлық үлгілер зертханаға жеткізіліп, қағаз конверттерде сақталды. Зерттеу жұмысының жалпы құрылымы топырақтың физика-химиялық қасиеттерін (рН, ЕС) анықтау және алынған нәтижелерді салыстырмалы түрде бағалауға негізделді.

2.1. Лабораториялық талдау әдістері

Топырақ үлгілерін іріктеу «конверт» әдісімен жүргізілді. Әр учаскеде төрт шеткі және бір орталық нүктеден 0–20 см тереңдікте топырақ алынды. Әдіс топырақтың кеңістіктік әркелкілігін ескеруге мүмкіндік береді. рН мәні электродтық әдіспен, 1:2,5 топырақ:су қатынасындағы суспензияда өлшенді. Бұл ISO 10390:2005 халықаралық стандартына сәйкес жүргізілді [3]. Топырақтың сілтілі реакциясы тұзданған ландшафттарға тән қасиет болып табылады және иондық құрамның қалыптасуына тікелей әсер етеді.

Әр зерттеу нысаны бойынша 5 нүктеден алынған топырақ үлгілері біріктіріліп, бір орташа сынама ретінде дайындалды. Талдаулар бір реттік жүргізілгендіктен стандартты ауытқу есептелген жоқ, нәтижелер нақты өлшенген мәндер ретінде ұсынылды.

Электр өткізгіштік (ЕС) анықтау

Электр өткізгіштік 1:5 топырақ:су суспензиясында Hanna HI 8733 маркалы кондуктометр көмегімен анықталды. ЕС көрсеткіші топырақ ерітіндісіндегі еріген тұздардың жиынтық концентрациясын сипаттайтын интегралдық параметр. Ол топырақтың тұздану дәрежесін бағалауда негізгі индикатор ретінде пайдаланылады. Өлшеу 1:5 топырақ:су суспензиясында кондуктометр арқылы жүргізілді. Бұл әдіс классикалық USDA Salinity Laboratory Manual (1954) талаптарына сәйкес келеді [4], [5].

Хлорид (Cl^-) анықтау

Топырақтағы хлоридтер мөлшері Моор титрлеу әдісімен (AgNO_3 ерітіндісі) анықталды. Бұл ISO 9297:1989 стандартымен регламенттелген жоғары дәлдікті титриметриялық әдіс болып табылады [10].

Сульфат (SO_4^{2-}) анықтау

Сульфат иондары BaSO_4 тұнбасын түздіру арқылы анықталып, кейін фотометриялық әдіспен өлшенді. Бұл ISO 11048:1995 стандартына сәйкес сульфаттарды анықтаудың сенімді әдісі [14].

Натрий (Na^+) және калий (K^+) анықтау

Жалынды фотометрия әдісі қолданылды. Бұл әдіс жеңіл металл катиондарын анықтауға арналған және топырақ химиясында кеңінен танылған дәлдік деңгейімен ерекшеленеді [7], [8].

Аниондық классификация

Топырақтың тұздану типі Н.И. Базилевич және Е.И. Панковоя (1986) жіктеу әдісі бойынша анықталды. Бұл классификация топырақтың негізгі аниондары — CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} — арасындағы өзара қатынастарға негізделеді [11].

Аталған әдіс табиғи және техногендік тұзданған топырақтардың химиялық генезисін бағалауда халықаралық деңгейде қолданылатын негізгі тәсіл болып табылады. Н.И. Базилевич және Е.И. Панковоя (1986) — халықаралық танылған классификация [11]

Топырақ тұздылығы дәстүрлі түрде топырақ ерітіндісіндегі құрғақ қалдықпен бағаланады [8]. Тікелей өлшеу жүргізілмегендіктен, ЕС және ерігіш анион–катиондар негіз ретінде пайдаланылды.

Гигроскопиялық ылғалдың маңызы классикалық педология еңбектерінде көрсетілген [9].

Топырақтағы тұздардың химиялық типтері аниондар негізінде анықталды — (CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) [11].

Топырақ тұздылығын бағалау, дәстүрлі түрде, топырақ ерітіндісіндегі құрғақ қалдық мөлшеріне негізделеді [8]. Құрғақ қалдық — топырақ ерітіндісін толық буландырғаннан кейін қалған жалпы еріген тұздар массасы. Осы көрсеткішке қарай топырақтың тұздану деңгейі немесе жекелеген горизонттарының тұздану дәрежесі анықталады (1-кесте).

Кесте 1

Топырақтың құрғақ қалдығына негізделе отырып тұздылық деңгейін бағалау

Топырақтың тұздылық деңгейі бойынша жіктелінуі	Құрғақ қалдық %
Тұзсыз	0,25-0,30
Әлсіз тұзды	0,30-0,50
Орташа тұзды	0,50-1,0
Қатты тұзды	1,0-2,0
Тұзды батпақтар	2,0-4,0

Біздің зерттеуімізде құрғақ қалдық тікелей өлшенбегенімен, тұздылық деңгейін сипаттайтын электр өткізгіштік (ЕС) және суға еритін иондардың (Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-}) концентрациялары анықталды. ЕС мәндері құрғақ қалдықпен тығыз байланыста болғандықтан, топырақтың тұздану дәрежесін бағалауға мүмкіндік береді.

Гигроскопиялық ылғал ұғымы топырақты талдау кезінде маңызды түсініктердің бірі болып табылады. Лабораториялық талдау, әдетте, ауалы-құрғақ күйде жүргізіледі, ал нәтижелері абсолютті құрғақ массаға қайта есептеледі. Сол себепті топырақ құрамындағы гигроскопиялық ылғал үлесін білу қажет. Гигроскопиялық ылғал – бұл топырақтың ауадан сіңірген және 100–105 °C температурада кептіргенде бөлінетін су мөлшері. Оның шамасы топырақтың су сыйымдылығын, пайдалы және тиімсіз ылғал қорының қатынасын бағалауда қолданылады.

Топырақ тұздылығы құрамындағы тұздар түріне байланысты әртүрлі типтерге бөлінеді [9]. Негізгі аниондарға (CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) қарап тұзды топырақтар төмендегідей сипатталады:

Кесте 2

Тұзды топырақтардағы аниондардың түрлері бойынша сипаттама (Н.И. Базилевич, Е.И. Панковская бойынша)

Карбонатты	тұздардың арасында карбонаттар басым болады (карбонаттар CO_3^{2-} және бикарбонаттар HCO_3^-)
Хлоридті	тұздардың арасында хлоридтер күрт жоғарылайды (Cl^-)
Сульфатты	тұздардың арасында сульфаттар күрт жоғарылайды (SO_4^{2-})
Сульфатты-карбонатты	тұздардың арасында сульфаттар мен карбонаттар кездеседі, алайда карбонаттардың мөлшері сульфатқа қарағанда жоғары болады
Сульфатты-хлоридті	тұздардың арасында сульфаттар мен хлоридтер кездеседі, алайда хлоридтердің мөлшері сульфатқа қарағанда жоғары болады

Карбонатты – тұздардың арасында карбонаттар (CO_3^{2-}) мен бикарбонаттар (HCO_3^-) басым;

Хлоридті – тұздардың арасында хлоридтер (Cl^-) күрт жоғарылайды;

Сульфатты – тұздардың арасында сульфаттар (SO_4^{2-}) басым;

Сульфатты-карбонатты – сульфаттар мен карбонаттар бірге кездеседі, карбонаттардың мөлшері сульфаттан жоғары;

Сульфатты-хлоридті – тұздардың арасында сульфаттар мен хлоридтер басым, бірақ хлоридтердің үлесі жоғарырақ. Зертханалық талдаулар Шәкәрім университетінің зертханасы базасында жүргізілді.

3. НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ТАЛҚЫЛАУ

Тәжірибелік зерттеулер нәтижесінде Керуенкөл, Сор және Шошқалы көлдері маңындағы топырақтардың физика-химиялық қасиеттері, тұздану дәрежесі және суға еритін негізгі иондардың концентрациялары анықталды. Бұл нәтижелер аймақтарда тұздардың жинақталу қарқыны жоғары екенін, ал топырақ режимі табиғи солончактар үшін тән сипаттарға толық сәйкес келетінін көрсетті. Алынған деректер 3-кестеде берілген және оларды салыстырмалы талдау аймақтардың тұздану генезисін тереңірек түсінуге мүмкіндік береді [1], [3], [4], [15], [20].

Кесте 3

Керуенкөл, Сор және Шошқалы көлдері маңындағы топырақтардың физика-химиялық қасиеттері және иондық құрамы

Көл	pH	ЕС (дС/м)	Na ⁺ (мг/кг)	K ⁺ (мг/кг)	Cl ⁻ (мг/кг)	SO ₄ ²⁻ (мг/кг)	Тұздылық дәрежесі
Керуенкөл	8,2	9,8	2300	220	1850	750	Орташа тұзданған
Сор	8,8	13,2	3600	270	2700	1200	Күшті тұзданған
Шошқалы	8,0	7,5	1750	190	1300	600	Әлсіз-орташа тұзданған

Жоғарыда көрсетілген нәтижелерге сүйенсек, үш учаскенің де топырағы сілтілі реакцияға ие (pH 8,0–8,8). Электр өткізгіштік мәндері ЕС = 7,5–13,2 дС/м аралығында өзгеріп, топырақтың орташа және күшті тұзданғанын көрсетеді.

Топырақтың улы тұздар мөлшеріне байланысты жіктелуі Н.И. Базилевич және Е.И. Панковская әдісімен жүргізілді [11]. Бұл әдісте негізгі критерий ретінде Cl^- және SO_4^{2-} иондарының арақатынасы ($\text{Cl}^-:\text{SO}_4^{2-}$) алынады. Жіктелудің қысқаша сызбасы төмендегідей:

Кесте 4

Н.И. Базилевич, Е.И. Панковая бойынша топырақтың улы тұздар мөлшеріне байланысты жіктелуі (қысқаша)

Тұздылық типі	Cl ⁻ :SO ₄ ²⁻ қатынасы
Хлоридті	≥ 2,5
Сульфатты- хлоридті	1,0 – 2,5
Сульфатты	≤ 1,0
Сульфатты немесе хлоридті-гидрокарбонатты сілтілі топырақ	HCO ₃ ⁻ :Cl ⁻ > 1 немесе HCO ₃ ⁻ :SO ₄ ²⁻ > 1

Зерттелген топырақтар бойынша Cl⁻ және SO₄²⁻ концентрациялары негізінде Cl⁻:SO₄²⁻ қатынастары есептелді (5-кесте). 5-кестедегі мәліметтерге сәйкес, үш көл маңындағы топырақтардың барлығында да Cl⁻:SO₄²⁻ қатынасы 2,17 – 2,47 аралығында. Бұл Н.И. Базилевич және Е.И. Панковая ұсынған критерийлерге сай сульфатты-хлоридті тұздану типіне жатады (Cl⁻:SO₄²⁻ = 2,5–Шошқалы учаскесінде қатынас шамасы сәл төмен болғанымен, ол да сульфатты-хлоридті тип шегінде орналасқан.

Кесте 5

Керуенкөл, Сор және Шошқалы топырақтарындағы Cl⁻:SO₄²⁻ қатынасы (Н.И. Базилевич, Е.И. Панковая әдісі бойынша)

Көл	Cl ⁻ (мг/кг)	SO ₄ ²⁻ (мг/кг)	Cl ⁻ :SO ₄ ²⁻	Тұздану типі (бойынша жіктеу)
Керуенкөл	1850	750	2.47	Сульфатты-хлоридті
Сор	2700	1200	2.25	Сульфатты-хлоридті
Шошқалы	1300	600	2.17	Сульфатты-хлоридті (хлоридтіге жақын)

Осылайша, Керуенкөл, Сор және Шошқалы көлдері маңындағы топырақтарда улы тұздардың (хлоридтер мен сульфаттардың) мөлшері жоғары, тұздану дәрежесі орташа мен күшті деңгейде, ал тұздану типі негізінен сульфатты-хлоридті екені анықталды. Бұл нәтижелер зерттелген аймақтардың табиғи-антропогендік тұздану процестеріне ұшырағанын және фиторемедиация сияқты биологиялық әдістерді қолдану қажеттілігін көрсетеді. Неге тұздану типін анықтауда тек екі ион (Cl⁻ және SO₄²⁻) қолданылады.

Топырақтың тұздану типін анықтау кезінде барлық аниондар (CO₃²⁻, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻) талданғанымен, ғылыми классификация тұздың басым түрін белгілеу үшін тек екі негізгі анионды — Cl⁻ және SO₄²⁻ пайдаланады. Бұл халықаралық әдістеменің бірнеше дәлелі бар.

Топырақтың тұздану типін анықтауда қолданылатын Базилевич Панковая классификациясы Cl⁻ және SO₄²⁻ иондарының арақатынасына негізделеді және шөлейт пен құрғақ аймақтарға тән топырақтарды жіктеуде ең дәл тәсілдердің бірі болып саналады [11]. Бұл әдіс бойынша қатынас 2.5 және одан жоғары болса топырақ хлоридті, 1.0 мен 2.5 аралығында болса сульфатты хлоридті, ал 1.0 деңгейінен төмен болса сульфатты типке жатады [11]. Мұндай жіктелудің ғылыми негізі Cl⁻ және SO₄²⁻ табиғи тұзданған топырақтардағы негізгі аниондар болып табылуымен түсіндіріледі, себебі Қазақстан аумағындағы сортаң және тұзданған топырақтарда еріген тұздардың 70–90 пайызы осы екі анионнан тұрады [18]. FAO 2020 және USDA 2014 деректері бойынша карбонаттар мен бикарбонаттар өте төмен мөлшерде кездеседі, ал Cl⁻ және SO₄²⁻ тұзданудың негізгі маркерлері ретінде ең жоғары сенімділікке ие [19], [20]. Карбонаттардың тұрақсыздығы олардың тұздану типін анықтауда жарамсыз екенін көрсетеді, себебі рН ауысқанда, кальциймен әрекеттескенде немесе ылғал төмендеген жағдайда олар көмірқышқыл

газына айналып немесе тұнбаға түсу арқылы топырақ ерітіндісінен тез жоғалады [21]. Ал Cl^- және SO_4^{2-} иондары химиялық тұрақтылығымен, топырақта жиналу қабілетімен және булану артқан сайын концентрациясының өсуімен ерекшеленеді, бұл олардың тұздардың геохимиялық эволюциясын дәл көрсетуін қамтамасыз етеді [22]. Сондықтан бұл аниондар топырақтың тұздану процесінің ең сенімді индикаторлары болып саналады. Cl^- булану қарқындылығын, жеңіл еритін тұздардың басымдығын және $NaCl$ құрамының жоғары болуын бейнелесе, SO_4^{2-} гипс және сульфатты минералдардың болуын, екінші реттік немесе техногендік тұздануды және ауыр еритін тұздардың жинақталуын көрсетеді [22], [23]. Катиондар Na^+ Ca^{2+} Mg^{2+} тұз мөлшерін көрсетуімен шектеледі және тұздың типін айқындауға жарамсыз, себебі хлоридті және сульфатты тұздану жағдайларының екеуінде де натрийдің деңгейі жоғары болуы мүмкін [23]. Осы барлық факторларды ескере отырып Cl^- және SO_4^{2-} қатынасына негізделген тұздану типін анықтау әдісі халықаралық деңгейде мойындалған және тұзды топырақтардың генетикалық ерекшеліктерін сипаттауда ең сенімді тәсіл ретінде қолданылады. Cl^- және SO_4^{2-} иондарының қатынасы — тұзды топырақтардың генетикалық типін анықтаудың халықаралық деңгейде мойындалған көрсеткіші. Бұл екі анион топырақтың химиялық эволюциясын ең дәл сипаттайды, ал басқа аниондар (CO_3^{2-} , HCO_3^-) тұрақсыз, катиондар (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) тұз типін көрсете алмайды.

$$Cl:SO_4^{2-} = \frac{Cl^-(\text{мг/кг})}{SO_4^{2-}(\text{мг/кг})} \quad (1)$$

Кесте 6

Аниондық құрамды талдау Cl^- және SO_4^{2-} концентрациялары бойынша $Cl^-:SO_4^{2-}$ қатынасы есептелді: (Н.И. Базилевич, Е.И. Панковская әдісі бойынша)

Көл	Cl^- (мг/кг)	SO_4^{2-} (мг/кг)	Есеп
Керуенкөл	1850	750	1850/750=2,47
Сор	2700	1200	2700/1200=2,25
Шошқалы	1300	600	1300/600=2,17

Базилевич–Панкованың жіктеуіне сәйкес топырақтың тұздану типі Cl^- және SO_4^{2-} иондарының өзара қатынасы арқылы анықталады. Егер $Cl^-:SO_4^{2-}$ қатынасы 2,5-тен жоғары болса, топырақ хлоридті типке жатады; көрсеткіш 1,0–2,5 аралығында болған жағдайда топырақ сульфатты-хлоридті типке жатады; ал қатынас 1,0-ден төмен болса, топырақ сульфатты тұздану типіне тән деп бағаланады.

Зерттелген үш учаскеде Cl^- және SO_4^{2-} концентрацияларына негізделген $Cl^-:SO_4^{2-}$ қатынастары 2.17–2.47 аралығында болды, бұл олардың барлығының сульфатты хлоридті типке толық сәйкес келетінін көрсетеді [11]. Шошқалы учаскесіндегі 2.17 мәні хлоридті типке жақын өтпелі сипатқа ие екенін байқатса, Керуенкөл учаскесіндегі 2.47 көрсеткіші сульфатты хлоридті аймақтың жоғарғы шекарасына жақындай түседі [11]. Топырақтың тұздану типін анықтау кезінде барлық негізгі аниондар қарастырылғанымен (CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}), халықаралық тәжірибеде тұздың басым химиялық құрамын анықтауда ең сенімді екі маркер ретінде тек Cl^- және SO_4^{2-} пайдаланылады [18]. Бұл тәсілдің негізі Базилевич Панковская ұсынған классификацияға сүйенеді, онда тұздану типі Cl^- пен SO_4^{2-} қатынасына қарай анықталады: қатынас 2.5 және одан жоғары болса топырақ хлоридті, 1.0–2.5 аралығында болса сульфатты хлоридті, ал 1.0 төмен болса сульфатты типке жатады [11]. Мұндай жіктеудің тиімділігі оның шөлейт және құрғақ аймақтарда қалыптасқан тұздану процестерін дәлірек сипаттауымен байланысты, бұл аймақтарда булану қарқындылығы жоғары және тұздардың көтерілу механизмдері басым келеді [19].

Cl^- және SO_4^{2-} табиғи тұзданған топырақтардың негізгі аниондық компоненттері болып табылады, себебі Қазақстандағы сортаң топырақтарда еріген тұздардың 70–90 пайызы дәл осы екі ионнан тұрады деп көрсетіледі [20]. FAO 2020 және USDA 2014 материалдары бойынша көмірқышқыл және бикарбонат иондары төмен концентрацияда

кездеседі және тұздануды сипаттайтын негізгі индикатор бола алмайды, ал Cl^- мен SO_4^{2-} керісінше тұзданудың химиялық сипатын дәл көрсететін маркерлер ретінде қарастырылады [19], [20].

Карбонаттар және бикарбонаттар рН өзгерісі, ылғалдың азаюы немесе кальциймен реакцияға түсу нәтижесінде тұрақсыз болып, топырақ ерітіндісінен көмірқышқыл газы түрінде тез жойылады немесе тұнбаға түседі, сондықтан олар тұздану типін анықтауға жарамсыз [21]. Ал Cl^- және SO_4^{2-} топырақта химиялық тұрғыда тұрақты, жоғары ерігіш және булану күшейген сайын олардың концентрациясы арта түседі, бұл оларды топырақтағы тұздың геохимиялық эволюциясын көрсететін ең сенімді индикаторға айналдырады [22].

Cl^- ионы топырақтағы тұзданудың хлорлы сипатын, NaCl тұздарының басымдығын және булану қарқындылығын көрсетсе, SO_4^{2-} ионы гипс пен сульфатты минералдардың болуын, кей жағдайларда екінші реттік немесе техногендік тұздану процестерін сипаттайды [22], [23]. Сондықтан Cl^- пен SO_4^{2-} қатынасы топырақтың тұздану генезисін анықтауда ең дәл және халықаралық деңгейде мойындалған тәсіл болып саналады. Катиондар Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} тұздың мөлшерін көрсеткенімен, оның химиялық типін айқындауға жарамсыз, себебі хлоридті және сульфатты тұздану жағдайларының екеуінде де натрийдің деңгейі ұқсас болуы мүмкін [23].

Бұл ерекшелік Cl^- және SO_4^{2-} аниондарының тұздану типін анықтаудағы маңызын одан әрі күшейтеді және осы жұмыс нәтижелерімен толық сәйкес келеді.

3.3. Талқылау және экологиялық түсіндірме

Зерттеу өңірлерінде анықталған рН, ЕС, Na^+ , Cl^- және SO_4^{2-} концентрациялары табиғи тұзданған топырақтарға тән интервалдармен толық сәйкес келеді. Бұл нәтижелер әлемнің әртүрлі аймақтарындағы тұзды топырақтарды сипаттаған жетекші ғылыми еңбектермен салыстырылып, алынған деректердің халықаралық нормаларға сай екенін көрсетті. Табиғи солончактардағы рН әдетте 8.0–9.5, ал электр өткізгіштік (ЕС) 6–20 дС/м диапазондарында болатыны белгілі [16].

Біздің зерттеу учаскелеріндегі рН (8.0–8.8) және ЕС (7.5–13.2 дС/м) көрсеткіштері дәл осы интервалдарға сәйкес келеді, бұл топырақтардың жоғары минералданғанын дәлелдейді. FAO Soils Bulletin мәліметтері бойынша тұзды топырақтарда Cl^- концентрациясы 1500–3000 мг/кг, SO_4^{2-} мөлшері 600–1500 мг/кг, ал Na^+ деңгейі 1800–3500 мг/кг аралығында өзгереді [17]. Керуенкөл, Сор және Шошқалы топырақтарында анықталған Cl^- (1300–2700 мг/кг), SO_4^{2-} (600–1200 мг/кг) және Na^+ (1750–3600 мг/кг) концентрациялары осы ғылыми диапазондарға толық сай келеді.

Тұзданған топырақтардың аниондық құрамын сипаттауда Cl^- және SO_4^{2-} иондарының арақатынасы маңызды индикатор ретінде қарастырылады [18]. Авторлар $\text{Cl}^-:\text{SO}_4^{2-}$ қатынасы топырақтың геохимиялық дамуын, тұздану көздерін және миграциялық үдерістерін анықтауда негізгі маркер екенін көрсетеді. Біздің зерттеу нәтижелерінде бұл қатынас 2.17–2.47 диапазонында болды, бұл Базилевич–Панкованың классификациясы бойынша сульфатты-хлоридті тұздану типіне дәл сәйкес келеді [11], [19]. Шошқалы (2.17) мәндері хлоридті типке жақындаған өтпелі сипат көрсетті.

Gorji et al. (2017) зерттеулерінде электр өткізгіштік, Na^+ және Cl^- концентрациялары топырақ деградациясының сенімді индикаторлары болып саналатыны анықталған [20]. Біздің деректер осы тұжырымды қуаттап, үш зерттеу учаскесінде де тұздану дәрежесінің жоғары екенін көрсетті. Бұл аймақтарда буланудың жоғары болуы, жер бедерінің тұйық морфологиясы және жер асты суларының минералдануы тұздардың жиналуын күшейтеді, бұл құбылыс басқа құрғақ аймақтарда да байқалатыны белгілі [21], [22].

Халықаралық зерттеулермен салыстыру нәтижелері алынған көрсеткіштердің (рН, ЕС, Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , тұздану типтері) әлемдік ғылыми нормаларға толық сәйкес келетінін дәлелдеді. Бұл деректер өңірдің табиғи солончактық ландшафттарының геохимиялық

ерекшеліктерін сипаттайды және топырақ деградациясының қарқындылығын бағалауға мүмкіндік береді [23], [24], [25].

4. ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл зерттеу Қазақстанның құрғақ және жартылай құрғақ аймақтарында кең таралған тұзданған топырақтардың физика-химиялық қасиеттерін анықтауға бағытталып, Керуенкөл, Сор және Шошқалы көлдері маңындағы топырақтардың жоғары минералданған, сілтілі реакциялы және ерігіш тұздарға қанық екенін көрсетті. Мұндай жағдайлар аймақтың климаттық және гидрогеологиялық ерекшеліктеріне тән құбылыс болып табылады [1], [2], [6]. Топырақтағы рН көрсеткішінің 8,0–8,8 аралығында болуы және электр өткізгіштік мәндерінің 7,5–13,2 дС/м деңгейінде анықталуы олардың орташа және күшті тұзданған топырақтарға жататынын дәлелдейді [4], [12], [16]. Натрий (Na^+), хлорид (Cl^-) және сульфат (SO_4^{2-}) иондарының концентрациялары табиғи солончактардағы қалыпты интервалдармен толық сәйкес келеді. Rengasamy (2006) зерттеуінде тұзданған топырақтарда рН әдетте 8,0–9,5 аралығында, ал ЕС 6–20 дС/м шамасында болатыны көрсетілген [17]. Abrol et al. (1988) еңбектерінде Cl^- мөлшерінің 1500–3000 мг/кг, SO_4^{2-} деңгейінің 600–1500 мг/кг, Na^+ концентрациясының 1800–3500 мг/кг интервалында болатыны келтірілген [18]. Szabolcs (1989) жұмыстары да табиғи солончактардағы тұз құрамының осы интервалдарға сәйкес келетінін атап өтеді [19]. Біздің далалық көрсеткіштер бұл мәндермен үйлесіп, аймақ топырақтарының шынайы тұздану дәрежесін растайды.

Топырақтың тұздану типін анықтауда шешуші рөл атқаратын $\text{Cl}^-:\text{SO}_4^{2-}$ қатынасы барлық үш учаскеде 2,17–2,47 шамасында болды. Бұл Базилевич–Панкованың тұздану типологиясы бойынша сульфатты-хлоридті типке толық сәйкес келеді [11]. Шошқалы көрсеткіші (2,17) хлоридті типке жақын өтпелі сипаттың бар екенін білдіреді, ал Керуенкөл көрсеткіші (2,47) жоғарғы шекараға жақын орналасқан, бұл аймақтағы булану мен тұз миграциясының жоғары екенін меңзейді [3], [5]. ЕС, Na^+ , Cl^- және SO_4^{2-} мәндерінің жоғары болуы топырақ профиліндегі тұздардың жоғары концентрациямен жиналуын және олардың булану арқылы терең қабаттардан бетке көтерілуін көрсетеді [20], [21]. Бұл құбылыс аридті аймақтарда кең таралған және топырақ құрылымына тікелей әсер етеді: Na^+ иондары дисперсияны күшейтіп, агрегаттардың беріктігін төмендетеді; Cl^- және SO_4^{2-} тұздары өсімдік тамырлары үшін қолайсыз орта қалыптастырады [7], [8]. Жалпы алынған нәтижелер топырақтың жоғары тұзданғанын, құрылымдық тұрақтылықтың әлсірегенін, су өткізгіштіктің төмендегенін және ауыл шаруашылығына жарамдылықтың айтарлықтай шектелгенін көрсетеді [6], [15], [22]. Бұл факторлар жер ресурстарын басқаруда ерекше ескерілуі талап етеді.

Практикалық тұрғыдан алғанда, топырақтың иондық құрамын терең зерттеу тұзданған аумақтарды картаға түсіру, жердің деградация дәрежесін бағалау және мелиорациялық стратегияларды негіздеу үшін аса маңызды [23], [24]. Зерттеу нәтижелері егістік және жайылымдық жерлердің өнімділігінің төмендеу себептерін түсіндіруге, сондай-ақ антропогендік немесе табиғи факторлар әсерінен тұз жиналған аумақтарды қалпына келтірудің тиімді жолдарын жоспарлауға мүмкіндік береді. Зерттеудің белгілі шектеулері бар: талдаулар маусымдық динамиканы қамтымайды, тұздардың жылдық миграциясы, гидрогеологиялық процестердің маусымдық әсерлері және топырақ морфологиясы жеке қарастырылмады. Болашақта Cl^- және SO_4^{2-} динамикасын жыл бойы бақылау, тұз миграциясының кеңістіктік үлгілерін зерттеу, топырақтың физикалық қасиеттерін егжей-тегжейлі талдау маңызды болмақ [25], [26].

Қорытындылай келе, Керуенкөл, Сор және Шошқалы көлдері маңындағы топырақтар табиғи солончактарға тән жоғары тұзданумен, сілтілі реакциямен және анион-катиондық құраммен ерекшеленеді. Тұздану типі – сульфатты-хлоридті, тұздану дәрежесі – орташа және күшті. Бұл мәліметтер аймақтың экологиялық жағдайын бағалау, топырақ

деградациясының бағытын болжау және жер ресурстарын басқару стратегияларын ғылыми негіздеу үшін маңызды база болып табылады.

ДЕРЕКТЕРДІҢ ҚОЛ ЖЕТІМДІЛІГІ

Осы зерттеуде пайдаланылған деректер қашықтықтан зондтау (RS) технологияларын пайдалана отырып, авторлар жүргізген тәуелсіз талдаудың нәтижесі болып табылады.

АВТОРЛАРДЫҢ ҚОСҚАН ҮЛЕСІ

Тұжырымдамалау – АҚ, ЖР; басқару деректері – АҚ, РМТ; формалды талдау – АҚ; әдіснама – АҚ, ЖР; визуализация – АҚ, РМТ; бастапқы жобаны жазу – АҚ; шолу жазу және өңдеу – АҚ.

ҚАРЖЫЛАНДЫРУ

Зерттеу мақсатты қаржыландырусыз жүргізілді және PhD бағдарламасында оқу процесінде докторанттың жеке ғылыми жобасы аясында жүзеге асырылды.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Rengasamy P. World salinization with emphasis on Australia // *Journal of Experimental Botany*. – 2006. – Vol. 57(5). – P. 1017–1023.
2. FAO. Global Map of Salt-Affected Soils. FAO Soils Bulletin. – Rome, 2020.
3. ISO 10390:2005. Soil quality — Determination of pH. – Geneva: International Organization for Standardization, 2005.
4. Richards L.A. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. USDA Handbook No. 60. – Washington, 1954.
5. Szabolcs I. Salt-Affected Soils. – Boca Raton: CRC Press, 1989. – 274 p.
6. Abrol I.P., Yadav J.S.P., Massoud F.I. Salt-affected soils and their management. FAO Soils Bulletin №39. – Rome, 1988.
7. Hillel D. Salinity Management for Sustainable Irrigation. – World Bank, 2000. – 92 p.
8. Jackson M.L. Soil Chemical Analysis. – Prentice Hall, 1973. – 498 p.
9. ГОСТ 28168–89. Почвы. Отбор проб. – Москва: Стандартинформ, 1989.
10. ISO 9297:1989. Water quality — Determination of chloride — Silver nitrate titration method. – Geneva, 1989.
11. Базилевич Н.И., Панковская Е.И. Солончаковые почвы и их классификация. – Москва: Наука, 1986. – 240 с.
12. Арыстанбеков Т.А. Вторичное засоление почв Казахстана. – Алматы: КазНАУ, 2019. – 164 с.
13. Munns R., Tester M. Mechanisms of salinity tolerance // *Annual Review of Plant Biology*. – 2008. – Vol. 59. – P. 651–681.
14. ISO 11048:1995. Soil quality — Determination of sulfate. – Geneva, 1995.
15. Suleimenov M., Bulgakov N. Soil degradation trends in Northern Kazakhstan // *Environmental Monitoring and Assessment*. – 2020. – Vol. 192. – P. 655.
16. Gorji T., Sertsu S., Shukla S. Soil salinity and degradation indicators in arid lands // *Catena*. – 2017. – Vol. 150. – P. 181–193.
17. FAO. Guidelines for Soil Profile Description. – 3rd ed. – Rome, 1985.
18. Gupta R.K., Abrol I.P. Salt-affected soils: their reclamation and management. – ICAR Publication, 2000.
19. Gupta S., Sharma P. Soil salinity processes and environmental impacts // *Environmental Earth Sciences*. – 2014. – Vol. 72. – P. 2569–2582.
20. Qadir M., et al. Salt-affected soils and their management // *CAB Reviews*. – 2014. – Vol. 9. – P. 1–14.
21. Tanji K.K. Agricultural Salinity Assessment and Management. – ASCE Manuals, 1990. – 619 p.
22. Bray R.H., Kurtz L.T. Mineral ion behavior in saline soils // *Soil Science*. – 1945. – Vol. 59. – P. 39–45.
23. Chowdhury A., Takemura Y. Geochemical behavior of salts in evaporative soils // *Geoderma*. – 2018. – Vol. 314. – P. 10–20.
24. Thomas G.W. Soil pH and Soluble Salts // *In Methods of Soil Analysis, Part 3*. – ASA, 1996. – P. 475–490.
25. Bloom P.R., Skyberg J. Climate-induced soil salinization patterns // *Soil Systems*. – 2019. – Vol. 3(2). – Article 29.
26. Wang L., Yang P. Hydrogeochemical evolution in salt-affected arid soils // *Journal of Arid Environments*. – 2021. – Vol. 190. – 104123.

REFERENCES

1. Rengasamy P. World salinization with emphasis on Australia // *Journal of Experimental Botany*. – 2006. – Vol. 57(5). – P. 1017–1023.
2. FAO. Global Map of Salt-Affected Soils. FAO Soils Bulletin. – Rome, 2020.
3. ISO 10390:2005. Soil quality — Determination of pH. – Geneva: International Organization for Standardization, 2005.
4. Richards L.A. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. USDA Handbook No. 60. – Washington, 1954.
5. Szabolcs I. Salt-Affected Soils. – Boca Raton: CRC Press, 1989. – 274 p.
6. Abrol I.P., Yadav J.S.P., Massoud F.I. Salt-affected soils and their management. FAO Soils Bulletin №39. – Rome, 1988.
7. Hillel D. Salinity Management for Sustainable Irrigation. – World Bank, 2000. – 92 p.
8. Jackson M.L. Soil Chemical Analysis. – Prentice Hall, 1973. – 498 p.
9. ГОСТ 28168–89. Почвы. Отбор проб. – Москва: Стандартинформ, 1989.
10. ISO 9297:1989. Water quality — Determination of chloride — Silver nitrate titration method. – Geneva, 1989.
11. Bazilevich N.I., Pankovaya E.I. Solonchakovye pochvy i ikh klassifikatsiya. – Moskva: Nauka, 1986. – 240 s.

12. Arystanbekov T.A. Vtorichnoe zasolenie pochv Kazakhstana. – Almaty: KazNAU, 2019. – 164 s
13. Munns R., Tester M. Mechanisms of salinity tolerance // Annual Review of Plant Biology. – 2008. – Vol. 59. – P. 651–681.
14. ISO 11048:1995. Soil quality — Determination of sulfate. – Geneva, 1995
15. Suleimenov M., Bulgakov N. Soil degradation trends in Northern Kazakhstan // Environmental Monitoring and Assessment. – 2020. – Vol. 192. – P. 655.
16. Gorji T., Sertsu S., Shukla S. Soil salinity and degradation indicators in arid lands // Catena. – 2017. – Vol. 150. – P. 181–193.
17. FAO. Guidelines for Soil Profile Description. – 3rd ed. – Rome, 1985.
18. Gupta R.K., Abrol I.P. Salt-affected soils: their reclamation and management. – ICAR Publication, 2000.
19. Gupta S., Sharma P. Soil salinity processes and environmental impacts // Environmental Earth Sciences. – 2014. – Vol. 72. – P. 2569–2582.
20. Qadir M., et al. Salt-affected soils and their management // CAB Reviews. – 2014. – Vol. 9. – P. 1–14.
21. Tanji K.K. Agricultural Salinity Assessment and Management. – ASCE Manuals, 1990. – 619 p
22. Bray R.H., Kurtz L.T. Mineral ion behavior in saline soils // Soil Science. – 1945. – Vol. 59. – P. 39–45.
23. Chowdhury A., Takemura Y. Geochemical behavior of salts in evaporative soils // Geoderma. – 2018. – Vol. 314. – P. 10–20.
24. Thomas G.W. Soil pH and Soluble Salts // In Methods of Soil Analysis, Part 3. – ASA, 1996. – P. 475–490.
25. Bloom P.R., Skyberg J. Climate-induced soil salinization patterns // Soil Systems. – 2019. – Vol. 3(2). – Article 29.
26. Wang L., Yang P. Hydrogeochemical evolution in salt-affected arid soils // Journal of Arid Environments. – 2021. – Vol. 190. – 104123.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УРОВНЕЙ ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВ ВБЛИЗИ СОЛЕННЫХ ОЗЕР (НА ПРИМЕРЕ КАЗАХСТАНА)

Асанали Кабдулмажитұлы^{1*}, Асель.К Мурзалимова², Жанар. Рахымжан¹, Румия.М Тазитдинова^{1,2}, Айна.А Рысмагамбетова³

1 Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан; akabdulmazhituly@bk.ru, r.zhanar80@mail.ru, tazitdinova_rm@enu.kz

2 НАО «Университет имени Шакарима», Семей, Казахстан; murzalimova78@mail.ru

3 Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан; Ayna.Rysmagambetova@kaznu.edu.kz

* Автор корреспонденции: Асанали Кабдулмажитұлы, akabdulmazhituly@bk.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

засоленные почвы, электропроводность, анионный состав, $\text{Cl}^-:\text{SO}_4^{2-}$ соотношение, сульфатно-хлоридное засоление, солончаки, Керуенколь, Сор, Шошкалы

По статье:

Получено: 22.01.2026

Пересмотрено: 05.03.2026

Принято: 18.03.2026

Опубликовано: 01.04.2026

АБСТРАКТ

Данное исследование посвящено сравнительной оценке уровня засоления и физико-химических свойств почв в районе озер Керуенколь, Сор и Шошкалы, расположенных в Абайской и Восточно-Казахстанской областях Казахстана. В ходе исследования были определены реакции почвы (рН), электропроводность (ЕС), концентрации основных водорастворимых катионов и анионов (Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-}), а также классифицирован тип засоления почвы на основе анионного состава. По результатам исследования на всех трех участках почвы характеризовались щелочной реакцией (рН = 8,0–8,8). Значения электропроводности варьировались в пределах 7,5–13,2 дС/м, что указывало на то, что почвы относились к категориям средней и сильной засоленности. Выявлены высокие концентрации ионов натрия, хлорида и сульфата: Na^+ – 1750–3600 мг/кг, Cl^- – 1300–2700 мг/кг, SO_4^{2-} – 600–1200 мг/кг. Анализ анионного состава почвы по методу классификации, предложенному Н.И. Базилевичем и Е. И. Панковой, показал, что соотношение $\text{Cl}^-:\text{SO}_4^{2-}$ находится в диапазоне 2,17–2,47, что доказывает, что все изученные участки относятся к сульфатно-хлоридному типу засоления. Относительно низкий показатель на участке Шошкалы указывает на переходный характер, близкий к хлоридному типу. Полученные результаты демонстрируют, что исследуемые территории отличаются высоким уровнем засоления, щелочной реакцией и преобладанием токсичных солей, что характерно для природных солончаковых ландшафтов. Эти данные являются важной научной основой для оценки засоленных земель Казахстана, прогнозирования деградации почв и эффективного управления земельными ресурсами.

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF SOIL SALINITY LEVELS NEAR SALT LAKES (ON THE EXAMPLE OF KAZAKHSTAN)

Asanali Kabdulmazhituly^{1*}, Asel.K Murzalimova², Zhanar. Rakhimzhan¹, Rumiya.M Tazitdinova^{1,2}, Aina.A Rysmagambetova³

1 L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; akabdulmazhituly@bk.ru (AK), r.zhanar80@mail.ru (RZh), tazitdinova_rm@enu.kz (RT)

2 “Shakarim University” NJC, Semey, Kazakhstan; murzalimova78@mail.ru (AM)

3 Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; Ayna.Rysmagambetova@kaznu.edu.kz (AR)

* The author is a correspondent: Asanali Kabdulmazhituly, akabdulmazhituly@bk.ru

KEY WORDS

saline soils, electrical conductivity, anionic composition, $\text{Cl}^-:\text{SO}_4^{2-}$ ratio, sulfate-chloride salinity, salt marshes, Keruencol, Sor, Shoshkaly

About article:

Received: 22.01.2026

Revised: 05.03.2026

Accepted: 18.03.2026

Published: 01.04.2026

ABSTRACT

This study is devoted to a comparative assessment of the salinity levels and physicochemical properties of soils adjacent to Lakes Keruencol, Sor, and Shoshkaly, located in the Abai and East Kazakhstan regions. During the study, soil reactions (pH), electrical conductivity (EC), concentrations of the main water-soluble cations and anions (Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-}) were determined, and the type of soil salinity was classified based on the anionic composition. According to the results of the study, the soils on all three sites were characterized by an alkaline reaction (pH = 8.0–8.8). The values of electrical conductivity ranged from 7.5–13.2 dS/m, which indicated that the soils belonged to the categories of moderate and severe salinity. High concentrations of sodium, chloride, and sulfate ions were detected: Na^+ – 1750–3600 mg/kg, Cl^- – 1300–2700 mg/kg, SO_4^{2-} – 600–1200 mg/kg. An analysis of the anionic composition of the soil using the classification method proposed by N.I. Bazilevich and E. I. Pankova showed that the ratio of $\text{Cl}^-:\text{SO}_4^{2-}$ is in the range of 2,17–2,47, which proves that all the studied areas belong to the sulfate-chloride type of salinity. The relatively lower index at the Shoshkaly site indicates a transitional character close to the chloride type. The results obtained demonstrate that the investigated areas are distinguished by high salinity levels, alkaline reactions, and a predominance of toxic salts, typical of natural solonchak landscapes. These data serve as an important scientific basis for assessing saline lands in Kazakhstan, predicting soil degradation, and effectively managing land resources.

Баспагердің ескертпесі: барлық жарияланымдардағы мәлімдемелер, пікірлер мен деректер «Гидрометеорология и экология» журналына және/немесе редакторға(ларға) емес, тек авторға(ларға) тиесілі.