

Код МРНТИ 87.35.91

*О. Байтурбай¹, М. Б. Нұрпейісова¹, А. Т. Салқынов², Дж. Сагин³

¹Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті (Алматы қ., Қазақстан),

²«АлГеоРитм» ҒӨК (Қарағанды қ., Қазақстан),

³Батыс Мичиган университеті (Мичиган, АҚШ)

СУ РЕСУРСТАРЫНЫҢ ЛАСТАНУЫ ЖӘНЕ ОНЫ ШЕШУДІҢ ЖОЛДАРЫ

Аннотация. Мақалада Қазақстанның су ресурстарының, оның ішінде жерасты суларының негізгі ластану көздері қарастырылып, олардың жай-күйін бағалауға арналған қашықтан мониторингтеу әдісі ұсынылған. Зерттеудің мақсаты – Балқаш көлі жағалауындағы кен өндіру және кен байыту кәсіпорындарының қызметінен туындайтын ауыр металдармен ластану ерекшеліктерін анықтау және оның алдын алуға бағытталған инженерлік қолжетімді әрі экономикалық тиімді әдісті әзірлеу. Зерттеу барысында дренаждық жүйелер мен бақылау ұңғымаларын пайдалана отырып, ластанушы заттардың таралу бағытын бақылау тәсілі қарастырылды. Ұсынылған әдіс дренаждық арналар мен көл аралығында орналасқан бақылау ұңғымалары арқылы ластанушы заттардың миграциясын үздіксіз бақылауға мүмкіндік береді. Нәтижелер тау-кен кәсіпорындарында енгізіліп, Satbayev University оқу үдерісінде қолданылуда.

Түйінді сөздер: су ресурстары, судың ластануы, ауыр металдар, қашықтықтан мониторинг.

Water resources pollution and ways to address it

Abstract. This paper examines the major sources of water pollution in Kazakhstan, including groundwater, and proposes a remote monitoring method for assessing their condition. The aim of the study is to identify the characteristics of heavy metal pollution caused by the activities of mining and ore-processing enterprises in the coastal zone of Lake Balkhash and to develop an engineering-feasible and economically efficient method for preventing such pollution. The proposed method enables continuous monitoring of contaminant migration through observation wells installed between drainage channels and the lake, providing information on changes in water quality. The research results have been implemented at mining enterprises in Kazakhstan and are used in the educational process at Satbayev University.

Key words: water resources, water pollution, heavy metals, groundwater, remote monitoring.

Загрязнение водных ресурсов и пути его решения

Аннотация. В статье рассмотрены основные источники загрязнения водных ресурсов Казахстана, включая подземные воды, и предложен метод дистанционного мониторинга их состояния. Цель исследования – выявление особенностей загрязнения тяжелыми металлами, обусловленного деятельностью горнодобывающих и горно-обогатительных предприятий, расположенных на побережье озера Балхаш, и разработать инженерно доступный и экономически эффективный метод, направленный на предупреждение данного загрязнения. В исследовании рассмотрен подход, основанный на использовании дренажных систем и наблюдательных скважин для контроля миграции загрязняющих веществ. Предлагаемый метод обеспечивает непрерывный контроль распространения загрязнителей с использованием скважин, размещенных между дренажными каналами и озером, что позволяет отслеживать изменения качества воды. Результаты исследования внедрены на горнодобывающих предприятиях и используются в образовательном процессе Satbayev University.

Ключевые слова: водные ресурсы, загрязнение воды, тяжелые металлы, подземные воды, дистанционный мониторинг.

Кіріспе

Қазақстан су ресурстары бойынша әлемдегі су тапшылығы байқалатын елдердің қатарына жатады. Елдің су қоры жер үсті және жер асты сулары есебінен қалыптасады. Жер үсті суларының 44,3%-ы көршілес мемлекеттер аумағынан келетін трансшекаралық өзендердің ағыны есебінен қалыптасқан.

Сараптамалық деректер бойынша, республика аумағында жан басына шаққандағы жылдық су ресурстарының көлемі орта есеппен шамамен 6 мың м³ құрайды, бұл көрсеткіш Ресей Федерациясымен салыстырғанда шамамен алты есе төмен. Қазақстан табиғи және минералдық ресурстарға бай мемлекет болғанымен, су ресурстарының шектеулілігі елдің тұрақты әлеуметтік-экономикалық дамуына әсер ететін маңызды факторлардың бірі болып есептеледі. Қазақстанның су ресурстарының едәуір бөлігі трансшекаралық өзендер ағыны есебінен қалыптасады. Жалпы су қорының шамамен 50%-ы Ресей, Қытай, Қырғызстан, Өзбекстан және Тәжікстан аумақтарынан бастау алатын өзендер арқылы келеді. Осыған байланысты трансшекаралық су ресурстарын тиімді басқару мәселесі республиканың су қауіпсіздігін қамтамасыз етудегі негізгі бағыттардың бірі болып табылады [1–3]. Қазақстан аумағы 8 негізгі су шаруашылығы бассейніне бөлінеді (1-сурет): Арал-Сырдария су бассейні, Балқаш-Алакөл, Ертіс, Есіл, Нұра-Сарысу, Тобыл-Торғай, Шу-Талас және Жайық-Каспий бассейндері.

Аталған бассейндер су ресурстарын есепке алу, бөлу, пайдалану және қорғау саласындағы мемлекеттік саясатты іске асырудың негізгі аумақтық бірліктері болып табылады.



Сурет 1. Қазақстан Республикасының су шаруашылығы бассейндері.

Figure 1. Water Management Basins of the Republic of Kazakhstan.

Рис. 1. Водохозяйственные бассейны Республики Казахстан.

Сонымен қатар, Қазақстан Республикасы жер асты суларына аса бай мемлекеттердің бірі саналады. Зерттеулерге сүйенсек, еліміздегі пайдалануға жарамды жерасты су қоры жылына 55 млрд текше метрге жуықтайды және 2026 жылы Қазақстан Республикасының Су ресурстары және ирригация министрлігі елде 4803 барланған жер асты су кен орны бар екенін жариялады. Бұл – құрғақшылық жиілеп, климаттық өзгеріс күшейген кезеңде ерекше маңызға ие көрсеткіш және баға жетпес байлығымыз. Бұл байлық миллиондаған тұрғынның ауыз суға деген сұранысын өтеп қана қоймай, ауыл шаруашылығы, өндіріс және өңдеу салаларының тұрақты жұмыс істеуін қамтамасыз

етеді. Оны ұқыпты пайдалану, қорын сақтау, ластанудан қорғау – келешек ұрпақ алдындағы үлкен міндет. Жерасты су қорын ғылыми негізде бағалау және оны тиімді пайдалану – Қазақстан үшін күн тәртібінен түспейтін маңызды міндеттердің бірі [4, 5].

Осы мақсатта елімізде алғаш рет Қазақстанның жерасты суларына арналған кешенді гидрогеологиялық атлас әзірленді. Бұл іргелі еңбекті ҚР Ғылым және жоғары білім министрлігінің қолдауымен Сәтбаев университетінің Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институтының ғалымдары дайындады. Атлас – жерасты суы туралы бұрын-соңды болмаған көлемді әрі жүйеленген ғылыми база. Қазақстанның жерасты сулары – елдің табиғи қоры. Сонымен қатар, ел экономиканың жетекші салаларының бірі болып саналатын тау-кен металлургия кешені, жерасты суларының сапасына айтарлықтай әсер етеді. Негізгі ластану көздеріне шахталық және карьерлік сулар, қалдық сақтау қоймалары, үйінділер, булану тоғандары, атмосфералық жауын-шашын сулары және металлургиялық қалдықтар жатады. Бұл мәселе бойынша Қазақстан Республикасының «Жер қойнауы және жер қойнауын пайдалану туралы», заңында мұнай-газ кәсіпорындарына жер қойнауының өнеркәсіптік және экологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз ету мақсатында жер бетінің жайкүйіне тұрақты мониторинг жүргізу міндеті жүктелген [6].

Зерттеудің мақсаты мен әдістемесі

Зерттеудің мақсаты – Балқаш көлі жағалауындағы кен өндіру және кен байыту кәсіпорындарының қызметінен туындайтын ауыр металдармен ластану ерекшеліктерін анықтау және оның алдын алуға бағытталған инженерлік қолжетімді әрі экономикалық тиімді әдісті әзірлеу.

Зерттеу Балқаш өңірінің әртүрлі техногендік жүктемеге ұшыраған аумақтарының өнеркәсіптік және экологиялық қауіпсіздігін бағалаудың кешенді тәсіліне негізделген. Әдіснамалық тұжырымдама геодезиялық, геомеханикалық, геоакпараттық және гидрогеологиялық мониторинг әдістерін бірлесіп қолдануды көздейді. Ұсынылып отырған тәсілдің жекелеген элементтері Ақбақай алтын кенді аймағы мен Балқаш байыту фабрикасының ықпал ету аумағы мысалында сынақтан өткізілді.

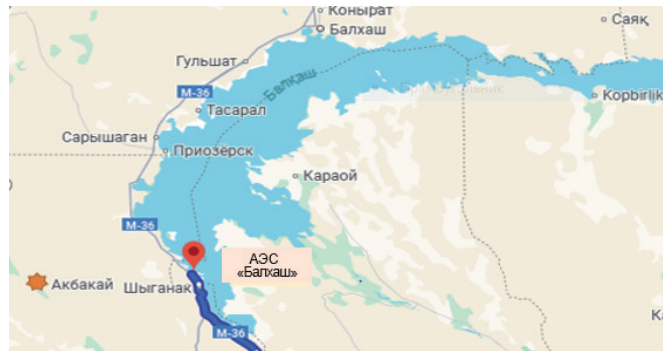
Зерттеу нәтижелері және талдау

Экологиялық жағдай

Қазақстанның экологиялық жүйелері антропогендік әсерлерге төзімділігінің төмендігімен ерекшеленеді. Ең күрделі экологиялық өңірлерге Арал маңы, Семей сынақ полигонының аумағы, Каспий теңізінің жағалауы, сондай-ақ Орталық және Оңтүстік Қазақстанның шөл және шөлейт аймақтары жатады. Қоршаған ортаға ұзақ жылдар бойы техногендік әсердің ықпалы табиғи орта компоненттерінің тұрақты мониторингін қажет ететін экологиялық қауіп деңгейі жоғары аймақтардың қалыптасуына алып келді. Осыған байланысты табиғи экожүйелердің жайкүйін бағалауға және экологиялық мониторинг әдістерін әзірлеуге бағытталған зерттеулердің маңызы ерекше артып отыр.

Қазақстанның стратегиялық маңызы бар табиғи нысандарының бірі – Балқаш көлі (2-сурет). Ол – елдегі ең

ірі ағынсыз ішкі көл және Қазақстанның оңтүстік-шығысындағы қуаң аймақтарды су ресурстарымен қамтамасыз ететін маңызды су айдыны. Көлдің бірегейлігі оның екі бөліктен тұратын гидрологиялық құрылымымен сипатталады: көлдің батыс бөлігі Іле өзенінің суымен қоректенетіндіктен тұщы су болып табылады, ал шығыс бөлігі бассейндер арасындағы су алмасудың шектеулі болуына байланысты минералдану деңгейінің жоғарылығымен ерекшеленеді. Көлдің гидрологиялық режимін сақтауда табиғи қоры 255,3 м³/с деп бағаланатын жер асты сулары маңызды рөл атқарады [7].



Сурет 2. Балқаш көлінің айналасында орналасқан өнеркәсіптік нысандары.

Figure 2. Location of Industrial Facilities Around Lake Balkhash.

Рис. 2. Расположение промышленных объектов вокруг озера Балхаш.

Соңғы онжылдықтарда Балқаш көлінің экологиялық жағдайы ғылыми қауымдастықтың елеулі алаңдаушылығын туғызуда. Су айдынының гидрологиялық режиміне 1970-жылдары салынған және пайдалануға берілген Қапшағай су қоймасы айтарлықтай әсер етті. Іле өзенінің ағынының азаюы көлге келетін су көлемінің төмендеуіне, су деңгейінің кемуіне және табиғи су теңгерімінің бұзылуына әкелді. Бұл үдерістердің одан әрі жалғасуы Арал теңізі бассейнінде орын алған экологиялық зардаптарға ұқсас жағымсыз салдарға алып келуі мүмкін. Сонымен қатар, көл экожүйесіне оның су жинау алабында орналасқан тау-кен металлургия кешені кәсіпорындарының өндірістік қызметі де елеулі антропогендік жүктеме түсіруде.

Осыған байланысты Арал теңізі экологиялық апатының салдарларына ұқсас қолайсыз үдерістердің даму қаупі артып келеді.

Экологиялық тұрғыдан аса қауіпті нысандардың қатарына тау-кен металлургия кәсіпорындары жатады. Олардың қызметі көп мөлшерде өндірістік қалдықтардың түзілуімен және қоршаған ортаның ауыр металдармен ластануымен қатар жүреді. Ауыр металдар жоғары уыттылығына, тірі ағзаларда биожинақталу қабілетіне және қоршаған ортада ұзақ уақыт сақталуына байланысты ең қауіпті ластаушы заттардың қатарына жатады [8].

Зерттелетін аумақ Балқаш тау-кен металлургия комбинаты (БТМК) мен оның байыту фабрикасының ықпал ету аймағында орналасқан. Бұл кәсіпорындардың қызметі өңірдің су ресурстарына елеулі техногендік әсерін тигізу-

де. Балқаш байыту фабрикасының қалдық сақтау қоймасы Балқаш көлінің солтүстік-батыс жағалауында, Торанғалық шығанағына тікелей жақын жерде орналасқан және 1937 жылдан бері пайдаланылып келеді. Пайдаланудың бастапқы кезеңінде технологиялық ағын сулар тікелей Торанғалық шығанағының акваториясына ағызылған. Қазіргі уақытта жинақталған қалдықтардың жалпы көлемі 428 млн тоннадан асады, бұл жерүсті және жерасты суларының ауыр металдармен ластану қаупін арттырады (3-сурет).

Балқаш байыту фабрикасының қалдық сақтау қоймасы – байыту қалдықтарын гидравликалық әдіспен төгу арқылы қалыптасқан жыра-сай түріндегі үйіндісі болып табылады. Оның ауданы шамамен 18,8 км², ал оған іргелес орналасқан қалдық суларын жинақтаушы тоғанның ауданы 14,03 км² құрайды. Қалдық сақтау қоймаларының дренаждық жүйесі сүзінді суларды жинау және бұрып әкетуді қамтамасыз ететін екі дренаждық канал мен сорғы станцияларынан тұрады. Ұзындығы 8600 м дренаждық арна қалдық сақтау қоймасының оңтүстік және буландыру тоғанының бойымен жүргізілген (3-суретте дренаждық арна қызыл сызықпен белгіленген).



Сурет 3. Балқаш байыту фабрикасының (ББФ) орналасуының шолу-картасы.

Figure 3. Overview map showing the location of the Balkhash Concentrator Plant (BCP).

Рис. 3. Обзорная карта расположения Балхашской обогатительной фабрики (БОФ).

Гидрогеологиялық ортаның жай-күйін бақылау дренаждық ұңғымалар арқылы жүргізіледі. «Су ресурстарын ұтымды пайдалану және қорғау, оның ішінде Балқаш көлі» жобалық бағдарламасын іске асыру мақсатында 2014–2025 жылдар аралығында «Қазақмыс корпорациясы» ЖШС-нің қолдауымен бірқатар ғылыми жобалар жүзеге асырылуда. Жерасты суларының сапасын бақылау гидрогеологиялық және гидрогеохимиялық көрсеткіштерді аспаптық әдістермен тоқсан сайын дренаждық ұңғымалар арқылы өлшеу жолымен жүргізіледі. Алайда қолданыстағы бақылау әдістері су ресурстарының ластануын жедел анықтауға мүмкіндік бермейді.

Қалдық сақтау қоймасына жіберілетін байыту қалдықтарының сұйық фазасындағы химиялық компоненттердің концентрациясы мен *минералдану дәрежесіне* талдау жүргізілді. Мыс, хром, мырыш және мышьяк сияқты ме-

талдардың мөлшері рұқсат етілген шекті концентрациялар шегінде болғанымен, қалдық сақтау қоймасының санитариялық-қорғау аймағындағы жерасты суларындағы олардың мөлшерінен жоғары екені анықталды [8].

Міне осындай жағдайда, әр тоқсан сайын емес, жүйелі түрде үздіксіз мониторинг жүйесін енгізу экологиялық тәуекелдерді уақтылы бағалауға, табиғатты қорғау шараларын тиімді іске асыруға және Балқаш көлінің су ресурстарын сақтауды қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Жерасты суларының жай-күйін бақылау тау-кен өндіру және металлургия кәсіпорындарының, қалдық сақтау қоймаларының және өндірістік қалдықтар полигондарының экологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз етудегі маңызды міндеттердің бірі болып табылады. Мониторингтің дәстүрлі әдістері сынамаларды мерзімді түрде алып, зертханалық талдау жүргізуге негізделген, сондықтан олар авариялық ластану жағдайларын дер кезінде анықтауға және гидрогеохимиялық көрсеткіштердің өзгеру динамикасын үздіксіз бақылауға мүмкіндік бермейді.

Осыған орай, Балқаш өңірінің жерасты суларындағы ауыр металдардың көші-қон үдерістерін жедел бақылау әдістерінің жеткіліксіздігі сымсыз байланыс технологиялары негізінде қашықтан мониторинг жүргізу жүйесін әзірлеу қажеттілігін айқындайды.

Заттар интернеті (IoT) технологияларының қарқынды дамуына байланысты нақты уақыт режимінде деректерді үздіксіз жинау мен беруді қамтамасыз ететін қашықтан автоматтандырылған мониторинг жүргізу әдісі ұсынылды.

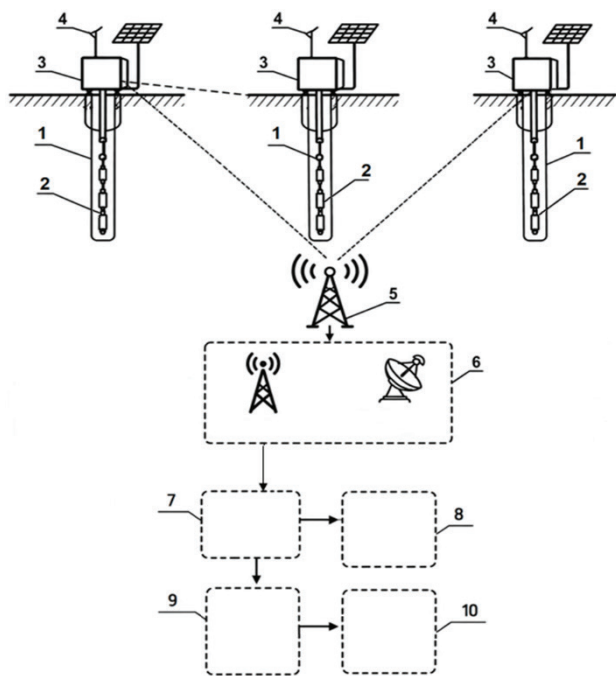
Ластануды оқшаулаудың ең тиімді инженерлік шешімдерінің бірі – қолданыстағы дренаждық арна мен Балқаш көлі арасындағы аймақта түпкі тау жыныстарына дейін қосымша дренаждық ұңғымалар бұрғылау және үздіксіз қадағалап отыру [9].

Жерасты суларының қашықтан мониторинг жүргізу әдісі

Балқаш өңірінің жерасты суларына экологиялық бақылаудың тиімділігін арттыру мақсатында *Satbayev University* ғалымдары сымсыз байланыс технологиялары негізінде жерасты суларының ластануын қашықтан мониторингтеу әдісін әзірледі. Ұсынылған жүйе қалдық сақтау қоймалары мен өзге де ықтимал ластану көздерінің әсер ету аймағында орналасқан бақылау ұңғымаларындағы гидрогеологиялық және гидрогеохимиялық көрсеткіштерді үздіксіз бақылауға арналған.

Ұсынылған әдісті енгізу жерасты суларының ластану ошақтарын ерте кезеңде анықтауға, мониторингтің жеделдігі мен дәлдігін арттыруға, экологиялық бақылаудың еңбек сыйымдылығын төмендетуге және Балқаш өңірінің су ресурстарының экологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді (4-сурет).

Әдіс автономды өлшеу тораптарын пайдалануға негізделген. Олардың құрамына көппараметрлі батырмалы зондтар, деректерді жинау және өңдеу контроллерлері, LoRaWAN *стандартының сымсыз байланыс модульдері және автономды қоректендіру көздері* кіреді. Мониторинг барысында жерасты суларының деңгейі, температурасы, рН көрсеткіші, электрөткізгіштігі және ластанушы заттардың концентрациясы автоматты түрде өлшенеді.



Сурет 4. Жерасты суларының ластануын қашықтан бақылаудың тәсілі: 1 – бақылау ұңғымалары; 2 – батырмалы көппараметрлі зондтар; 3 – деректерді жинау және өңдеу контроллерлері; 4 – сымсыз байланыс модульдері; 5 – базалық станция; 6 – деректерді беру коммуникациялық модулі; 7 – деректерді өңдеу сервері; 8 – деректерді талдаудың бағдарламалық модулі; 9 – пайдаланушы интерфейсі; 10 – автоматты хабарландыру жүйесі.

Figure 4. Method for Remote Monitoring of Groundwater Contamination: 1 – observation wells; 2 – submersible multiparameter probes; 3 – data acquisition and processing controllers; 4 – wireless communication modules; 5 – base station; 6 – data transmission communication module; 7 – data processing server; 8 – data analysis software module; 9 – user interface; 10 – automatic notification system.

Рис. 4. Способ дистанционного мониторинга загрязнения подземных вод: 1 – наблюдательные скважины; 2 – погружные многопараметрические зонды; 3 – контроллеры сбора и обработки данных; 4 – модули беспроводной связи; 5 – базовая станция; 6 – коммуникационный модуль передачи данных; 7 – сервер обработки данных; 8 – программный модуль анализа данных; 9 – пользовательский интерфейс; 10 – система автоматического оповещения.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Brindha K., Schneider M. Урбанизацияның жер асты суларының сапасына әсері: тұрақты басқаруға шолу // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2019. – Т. 26. – Б. 22368–22394 (ағылшын тілінде)
2. Varol M., Şen B. Түркияның жоғарғы Тигр Өзенінің жер үсті сулары мен шөгінділеріндегі қоректік заттар мен ауыр металдардың ластануын бағалау // *Catena*. – 2021. – Т. 96. – 104921 (ағылшын тілінде)
3. Barinova S., Krupa E., Romanova S. Планктондық балдырлардың Іле-Балқаш бассейніндегі су қоймаларының экологиялық жағдайын бағалаудағы рөлі (Қазақстан) // *Transylvanian Review of Systematical and Ecological Research*. – 2018. – Т. 20. – № 2. – Б. 1–14 (ағылшын тілінде)

Өлшеу нәтижелері контроллерлерде алдын ала өңделіп, **LoRaWAN** желісі арқылы базалық станцияға жеткізіледі. Базалық станция көптеген бақылау ұңғымаларынан 10–15 км радиустағы ақпаратты қабылдап, оны GSM, 4G, Ethernet немесе спутниктік байланыс арналары арқылы орталық серверге жібереді. Серверде деректер жинақталып, сақталады, өңделеді, нормативтік және фондық мәндермен салыстырылады, сондай-ақ графиктер, кестелер және картографиялық материалдар түрінде визуализацияланады [10, 11].

Жүйенің маңызды ерекшелігі – нақты уақыт режимінде үздіксіз мониторинг жүргізу және бақыланатын көрсеткіштердің шекті рұқсат етілген мәндерден ауытқуы анықталған жағдайда пайдаланушыларға автоматты түрде ескерту хабарламаларын (электрондық пошта, SMS немесе бағдарламалық интерфейс арқылы) жіберу мүмкіндігі.

LoRaWAN технологиясын пайдалану энергия шығынын азайтып, ақпаратты алыс қашықтыққа сенімді жеткізуді қамтамасыз етеді. Техникалық нәтижесі жерасты суларының ластануын мониторингтеу дәлдігі мен жеделдігін арттыруға, экологиялық бақылаудың еңбек сыйымдылығын төмендетуге, деректерді берудің сенімділігін күшейтуге және бақыланатын объектілердің экологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз етуге бағытталған.

Қорытынды

1. Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде жерасты суларының ластануын төмендетуге бағытталған инженерлік шешімдер ұсынылып, өндіріске енгізілді. Атап айтқанда, қолданыстағы дренаждық канал мен Балқаш көлі аралығында түпкі тау жыныстарына дейін қосымша дренаждық ұңғымалар бұрғыланып, ластаушы заттардың таралуын шектеу қамтамасыз етілді.

2. LoRaWAN сымсыз байланыс технологиясына негізделген жерасты суларының қашықтан мониторингтеу жүйесі әзірленді. Ұсынылған жүйе гидрогеологиялық және гидрогеохимиялық көрсеткіштерді нақты уақыт режимінде үздіксіз бақылауға, ақпаратты автоматты түрде өңдеуге және экологиялық қауіпті жағдайлар туралы жедел хабарлауға мүмкіндік береді.

3. Болжамдық бағалау бойынша, қабылданған шараларды іске асыру нәтижесінде қалдық сақтау қоймасынан таралатын ластаушы заттардың Балқаш көліне және жерасты суларының негізгі су көтергіш горизонтына жету қаупі едәуір төмендейді. Бұл өңірдің су ресурстарының экологиялық қауіпсіздігін арттыруға және өндірістік объектілердің қоршаған ортаға әсерін тиімді басқаруға мүмкіндік береді.

4. Жирков В. Балқаш бассейнінің жерасты суларын мониторингтеу. – Қарағанды: «Биосфера Қазақстан» ЖШС, 2019 (орыс тілінде)
5. Әлімбаев Д. Ө., Омарова Б., Төлеубаева С., Камзаев Б., Айпов Н., Мәжитова З. Қазақстандағы су ресурстарының экологиялық мәселелері // *E3S Web of Conferences*. – 2021. – Т. 244. – 01004 (орыс тілінде)
6. Қазақстан Республикасының гидрогеологиялық карталар атласы / В. А. Смоляр, Л. Ю. Трушель, О. Л. Мирошниченко және т. б.; бас ред. М. К. Абсаметов. – Алматы: «У. М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС, 2022. – 188 б. (қазақ тілінде)
7. Смоляр В. А., Буров Б. В., Мұстафаев С. Т. Қазақстанның жерасты сулары: қамтамасыз етілуі және пайдаланылуы. – Қарағанды: «Арно» ЖШС, 2012. – 402 б. (орыс тілінде)
8. Байтурбай О., Әуелхан Е. С., Нұрпейісова М. Б. Су ресурстарының ластануы – Қазақстандағы табиғатты ұтымды пайдаланудың басты мәселесі // «Молодой ученый» халықаралық журналы. – 2026. – № 10.1 (613.1). С. 12–15 (қазақ тілінде)
9. «Жасыл Қазақстан» ұлттық жобасы: Қазақстан Республикасы Үкіметінің 2021 жылғы 12 қазандағы № 731 қаулысы (қазақ және орыс тілдерінде)
10. Қазақстан Республикасы патентіне өтінім № 2026-46515. Жерасты суларының ластануын қашықтан мониторингтеу тәсілі / Нұрпейісова М. Б., Әуелхан Е. С., Байтурбай О., Нукарбекова Ж. М. – 2026 (қазақ тілінде)
11. Балқаш байыту фабрикасының (ББФ) қалдықтарды жинақтау цехының қалдық қоймасындағы № 1 дренаждық арнаны тік дренаж құрылғысымен қайта жаңғырту туралы есеп. – Қарағанды: «Биосфера Қазақстан» F3O ЖШС, 2016. – 185 б. (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Brindha K., Schneider M. Impact of Urbanization on Groundwater Quality: A Review toward Sustainable Management // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2019. – Vol. 26. – P. 22368–22394 (in English)
2. Varol M., Şen B. Assessment of Nutrient and Heavy Metal Contamination in Surface Water and Sediments of the Upper Tigris River // *Catena*. – 2021. – Vol. 196. – Article 104921 (in English)
3. Barinova, S., Krupa, E., & Romanova, S., 2018. The role of planktonic algae in the ecological assessment of storage-reservoirs of the Ile-Balkhash basin (Kazakhstan) // *Transylvanian Review of Systematical and Ecological Research*. – 2018. – No. 2. – P. 1–14 (in English)
4. Zhirkov V. Monitoring podzemnykh vod Balkhashskogo basseina [Groundwater Monitoring of the Balkhash Basin]. – Karaganda: Biosfera Kazakhstan LLP, 2019 (in Russian)
5. Alimbaev D. O., Omarova B., Toleubayeva S., Kamzaev B., Aipov N., Mazhitova Z. Ekologicheskie problemy vodnykh resursov Kazakhstana [Environmental Problems of Water Resources in Kazakhstan] // *E3S Web of Conferences*. – 2021. – Vol. 244. – Article 01004 (in Russian)
6. Atlas of Hydrogeological Maps of the Republic of Kazakhstan / V. A. Smolyar, L. Yu. Trushel, O. L. Miroshnichenko [et al.]; edited by M. K. Absametov. – Almaty: U. M. Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Geoecology LLP, 2022. – 188 p. (in Kazakh)
7. Smolyar V. A., Burov B. V., Mustafayev S. T. Podzemnye vody Kazakhstana: obespechennost i ispolzovanie [Groundwater of Kazakhstan: Availability and Use]. – Karaganda: Arno LLP, 2012. – 402 p. (in Russian)
8. Baiturbay O., Auelkhan E. S., Nurpeissova M. B. Pollution of Water Resources as One of the Main Problems of Rational Nature Management in Kazakhstan // *International Journal «Young Scientist»*. – 2026. – No. 10.1 (613.1). – P. 12–15 (in Kazakh)
9. Natsionalnyi projekt «Zhasyl Kazakhstan» [National Project «Zhasyl Kazakhstan»]. Postanovlenie Pravitelstva Respubliki Kazakhstan No. 731 ot 12 oktiabria 2021 goda [Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan No. 731 dated October 12, 2021] (in Kazakh and Russian)
10. Application for a Patent of the Republic of Kazakhstan No. 2026-46515. Method for Remote Monitoring of Groundwater Pollution / M. B. Nurpeissova, E. S. Auelkhan, O. Baiturbay, Zh. M. Nukarbekova. – 2026 (in Kazakh)
11. Otchet o rekonstruktsii drenazhnogo kanala No. 1 khvostokhranilishcha tsekha skladirovaniya otkhodov Balkhashskoi obogatitel'noi fabriki (BOF) s ustroystvom vertikal'nogo drenazha [Report on the Reconstruction of Drainage Channel No. 1 of the Tailings Storage Facility of the Balkhash Ore Processing Plant with the Installation of a Vertical Drainage System]. – Karaganda: NITs «Biosfera Kazakhstan» LLP, 2016. – 185 p. (in Russian)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Brindha K., Schneider M. Влияние урбанизации на качество подземных вод: обзор на пути к устойчивому управлению. *Environmental Science and Pollution Research*. – 2019. – Т. 26. – С. 22368–22394 (на английском языке)

2. Varol M., Şen B. Оценка загрязнения поверхностных вод и донных отложений в верховьях реки Тигр биогенными веществами и тяжелыми металлами // *Catena*. – 2021. – Т. 196. – Ст. 104921 (на английском языке)
3. Barinova S., Крива Е., Romanova S. Роль планктонных водорослей в экологической оценке водохранилищ Или-Балхашского бассейна (Казахстан) // *Transylvanian Review of Systematical and Ecological Research*. – 2018. – Т. 20. – № 2. – С. 1–14 (на английском языке)
4. Жирков В. Мониторинг подземных вод Балхашского бассейна. – Караганда: ТОО «Биосфера Казахстан», 2019 (на русском языке)
5. Алимбаев Д. Ø., Омарова Б., Толеубаева С., Камзаев Б., Айпов Н., Мажитова З. Экологические проблемы водных ресурсов Казахстана // *E3S Web of Conferences*. – 2021. – Т. 244. – Ст. 01004 (на русском языке)
6. Атлас гидрогеологических карт Республики Казахстан / В. А. Смоляр, Л. Ю. Трушель, О. Л. Мирошниченко [и др.]; под общ. ред. М. К. Абсаметова. – Алматы: ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии имени У. М. Ахмедсафина», 2022. – 188 с. (на казахском языке)
7. Смоляр В. А., Буров Б. В., Мустафаев С. Т. Подземные воды Казахстана: обеспеченность и использование. – Караганда: ТОО «Арно», 2012. – 402 с. (на русском языке)
8. Байтурбай О., Ауелхан Е. С., Нурпеисова М. Б. Загрязнение водных ресурсов – одна из основных проблем рационального природопользования в Казахстане // *Международный журнал «Молодой ученый»*. – 2026. – № 10.1 (613.1). – С. 12–15 (на казахском языке)
9. Национальный проект «Зеленый Казахстан»: постановление Правительства Республики Казахстан от 12 октября 2021 г. № 731 (на казахском и русском языках)
10. Заявка на патент Республики Казахстан № 2026-46515. Способ дистанционного мониторинга загрязнения подземных вод / Нурпеисова М. Б., Ауелхан Е. С., Байтурбай О., Нукарбекова Ж. М. – 2026 (на казахском языке)
11. Отчет о реконструкции дренажного канала № 1 хвостохранилища цеха складирования отходов Балхашской обогатительной фабрики (БОФ) с устройством вертикального дренажа. – Караганда: ТОО НИЦ «Биосфера Казахстан», 2016. – 185 с. (на русском языке)

Авторлар туралы мәліметтер:

Байтурбай О., докторант, Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті (Алматы қ., Қазақстан), o.baiturbay@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-7654-2610>

Нұрпейісова М. Б., т. ф. д., «Маркшейдерия және геодезия» кафедрасының профессоры, Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті (Алматы қ., Қазақстан), marzhan-nurpeisova@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3956-5442>

Салқынов А. Т., Ph.D, «АлГеоРитм» ӨЖ бас директоры (Қарағанды қ., Қазақстан), arnat@algeoritm.kz; <https://orcid.org/0000-0001-8177-1293>
Сәгин Дж., Ph.D, «Геоматика инженериясы» кафедрасының профессоры, Ақпараттық технологиялар және инженерия мектебі (SITE), Батыс Мичиган университеті (Мичиган, АҚШ), jay.sagin@wmich.edu; <https://orcid.org/0000-0002-0386-888X>

Information about the authors:

Baiturbay O., Doctoral Student, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Nurpeisova M. B., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Mine Surveying and Geodesy, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Salkynov A. T., Ph.D, General Director of the AlGeoRhythm Research and Production Complex (Karaganda, Kazakhstan)

Sagin J., Ph.D, Professor, Department of Geomatics Engineering, School of Information Technology and Engineering (SITE), Western Michigan University (Michigan, USA)

Сведения об авторах:

Байтурбай О., докторант, Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан)

Нурпейісова М. Б., доктор техн. наук, профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан)

Салқынов А. Т., Ph.D, генеральный директор Научно-производственного комплекса «АлГеоРитм» (г. Караганда, Казахстан)

Сәгин Дж., Ph.D, профессор кафедры «Геоматическая инженерия», Школа информационных технологий и инженерии (SITE), Западный Мичиганский университет (Мичиган, США)