



ӨОЖ 556.18:504.5(574)
ҒТАХР 34.33.19; 87.41.37
DOI 10.37238/2960-1371.2960-138X.2026.101(1).45

Г.С. Жолмуратова, Б.А. Капсаямов

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

E-mail: zholmuratova.enu@mail.ru, kapsalyamov_ba@enu.kz

ЕЛЕК ӨЗЕНІ БАССЕЙНІНДЕГІ ЛАСТАНУ ДЕНГЕЙІН ИНТЕГРАЦИЯЛАНҒАН ТАЛДАУ ЖӘНЕ СУ РЕСУРСТАРЫН ТҰРАҚТЫ БАСҚАРУ МӘСЕЛЕЛЕРІ

Аңдатпа. Бұл зерттеу Қазақстан мен Ресей Федерациясының аумағын қамтитын трансшекаралық су жүйесі – Елек өзені бассейнінің экологиялық жағдайына интеграцияланған ғылыми бағалау жүргізуді мақсат етеді. Су сапасын талдау аккредиттелген зертханада ГОСТ және ұлттық санитарлық-эпидемиологиялық нормаларға сәйкес жүргізілді. Зерттеу барысында судағы 42 физикалық-химиялық көрсеткіш анықталды, оның ішінде: рН, еріген оттегі, БПК₅, ХПК, тұнба, негізгі иондар, биогенді элементтер, фенолдар, мұнай өнімдері, беттік-белсенді заттар және ауыр металдар.

Алынған нәтижелер ҚР СанПиН, ДДСҰ (WHO) және ЕО Су саясатының шеңберлік директивасының нормативтерімен салыстырылды. Зерттеу нәтижелері Елек өзенінің жекелеген учаскелерінде бірқатар қауіпті ластанушы заттардың шекті рұқсат етілген концентрациясынан айтарлықтай асқанын көрсетті. Атап айтқанда, хром (VI), аммоний азоты, фенолдар және магнийдің концентрациясы нормадан бірнеше есе жоғарылаған.

Бұл деректер өңірдегі ластану бір реттік немесе тарихи құбылыс емес, әлі де жалғасып жатқан жүйелі техногендік әсердің нәтижесі екенін көрсетеді. Су ресурстарын қорғау мақсатында кәріз жүйелерін жаңғырту, тұрақты мониторинг жүргізу және трансшекаралық экожүйелік басқаруды күшейту ұсынылады.

Кілт сөздер: Елек өзені; су ресурстарын басқару; трансшекаралық ластану; экологиялық мониторинг; антропогендік әсер; хром (VI).

Кіріспе

Су ресурстарының ластануы қазіргі заманның ең өзекті жаһандық экологиялық мәселелерінің бірі болып табылады [1]. Өнеркәсіптік өндірістің артуы, ауыл шаруашылығының кеңеюі, халық санының өсуі және климаттық өзгерістер су экожүйелеріне түсетін антропогендік қысымды күшейтуде [2]. Бұл су сапасының төмендеуіне, экожүйелік тепе-теңдіктің бұзылуына және халық денсаулығына қауіп төндіреді [3]. Әсіресе Орталық Азия мен Қазақстанда су тапшылығы мен ластанудың қатар жүруі өңірдегі экологиялық тәуекелдерді күшейтіп отыр [4].

Қазақстан мен Ресей Федерациясының аумағында орналасқан Елек өзені бассейні экологиялық тұрғыдан осал әрі стратегиялық маңызы бар трансшекаралық су жүйесі болып табылады [5]. Тарихи деректер мен мемлекеттік мониторинг нәтижелері бұл аумақта бор мен алты валентті хромның (Cr(VI)) концентрациясы рұқсат етілген нормадан бірнеше есе жоғары екенін көрсетеді [6]. Бұл қосылыстардың химиялық тұрақтылығы, уыттылығы және биожинақталу қасиеті су экожүйесіне және адам денсаулығына елеулі қауіп төндіреді [7, 9].

Соңғы зертханалық өлшеулер ластану деңгейінің тарихи сипатта ғана емес, әрі қарай жалғасып жатқан техногендік процесс екенін дәлелдейді [6]. Алынған деректер ҚР СанПиН талаптарымен [8], Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымы ұсынымдарымен [10] және Еуропалық одақтың «Су жөніндегі шеңберлік директивасымен» салыстырылды [11].

Осыған байланысты, бұл зерттеу Елек өзені бассейніндегі қазіргі су сапасын бағалауға, ластану динамикасын анықтауға және су ресурстарын тұрақты басқаруға арналған ғылыми негізделген ұсыныстар әзірлеуге бағытталды.

Зерттеу өзектілігі

Су ресурстарының ластануы қазіргі таңда әлемдік деңгейдегі ең маңызды экологиялық сын-қатерлердің бірі болып отыр. Бұл құбылыс климаттық өзгерістер, урбандалу, өнеркәсіптік өндірістің артуы және ауыл шаруашылығы жүктемесінің күшеюі нәтижесінде жылдан жылға күрделенуде [1, 2].

Аталған проблема Елек өзені бассейнінде ерекше өзектілікке ие, өйткені су жүйесі ұзақ жылдар бойы әртүрлі антропогендік әсердің ықпалында қалып келеді. Негізгі ластану көздеріне:

- өнеркәсіптік кәсіпорындардың ағызынды сулары,



- коммуналдық-тұрмыстық қалдықтар,
- ауыл шаруашылығының диффуздық ластануы,
- тарихи техногендік шөгінділер мен қалдықтар жатады [5, 6].

Бұл факторлар су экожүйесінің табиғи тазару механизмдерін әлсіретіп, экологиялық деградацияның үдеуіне, биоалуантүрліліктің төмендеуіне және жергілікті халықтың денсаулығына тікелей қауіп төндіруде [3, 7].

Осындай жағдайда **интеграцияланған ғылыми талдаудың маңызы артады**, себебі:

- ластаушы заттардың табиғаты,
- олардың кеңістіктегі таралу динамикасы,
- экожүйеге және адам денсаулығына әсер ету механизмдері

кешенді түрде бағалануы тиіс. Бұл тәсіл зерттелетін аумақтағы экологиялық тәуекел деңгейін дұрыс анықтауға және тиімді шешімдер қабылдауға мүмкіндік береді [11].

Қазіргі кезеңде су ресурстарын басқару ұзақ мерзімді экологиялық қауіпсіздік қағидаттарына сүйенуі қажет. Сондықтан басқару стратегиялары тек ластануды азайтуға ғана емес, су ресурстарын болашақ ұрпаққа қауіпсіз жеткізуге бағытталуы тиіс — бұл Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымының және Еуропалық су саясатының негізгі талаптарына сәйкес келеді [10, 11].

Зерттеу аймағының сипаттамасы

Елек өзені бассейнінің экологиялық жағдайын зерттеу аймақтық деңгеймен шектелмейді, себебі өзен суы Қазақстаннан Ресей Федерациясына бағытталып, ақырында Жайық және Каспий теңізі бассейндерінің гидрологиялық жүйесіне кіреді [5, 6]. Осы себепті Елек өзені трансшекаралық су нысаны ретінде стратегиялық экологиялық маңызға ие.

Жайық өзені бассейні — халықаралық деңгейде экологиялық маңызды аймақ, себебі ол Каспий теңізі экожүйесінің негізгі табиғи жаңартушы элементі болып табылады. Әсіресе Жайықтың төменгі атырауы көптеген гидробионттардың, соның ішінде бұрын және қазіргі кезеңде шектеулі түрде Каспий бекіре тұқымдас балықтарының уылдырық шашатын аймақтарының бірі болып саналады. [1, 4]. Осы аймаққа түсетін химиялық ластаушы заттар биоаккумуляцияға ұшырап, азық-түлік қауіпсіздігіне және балық шаруашылығына ұзақ мерзімді зиян келтіру қаупі бар.

Қазақстан аумағында су ресурстары жеткілікті болғанымен, олардың кеңістіктік таралуы біркелкі емес және климаттық факторларға байланысты су балансы маусымдық өзгерістерге ұшырайды [2]. Ақтөбе облысының гидрологиялық жүйесінде маңызды өзендер бар: Сағыз (510 км), Ембі (712 км), Үлкен Қобда (349 км), Елек (623 км), сондай-ақ Торғай (825 км), Ойыл (800 км), Жем (712 км), Ырғыз (593 км) және Орь (314 км). Осы өзендердің ішінде Елек өзені су алабы бойынша ең ірісі болып табылады және өңірдің сумен қамтамасыз ету жүйесінде шешуші рөл атқарады.

Өңірдегі беткі сулардың сапасын мемлекеттік бақылау Қазақстан Республикасының Экология және табиғи ресурстар министрлігіне қарасты РМК «Қазгидромет» тарапынан жүзеге асырылады. Мониторингтік жүйе 6 су нысанында орналасқан 13 стационарлық өлшеу пунктінен тұрады [6], (кесте 1).

Материалдар мен әдістер

Бұл зерттеу 2024–2025 жылдары Елек өзені бассейнінде жүргізіліп, су сапасының қазіргі экологиялық жағдайын бағалауға бағытталды. Сынамалар өзеннің гидрологиялық құрылымын толық қамту мақсатында 21 бақылау нүктесінен алынды. Оларға алты валентті хроммен тарихи ластанған өнеркәсіптік аймақ (АФЗ маны), ал аймақтағы тарихи ластану көзі — бұрынғы АХКЗ., коммуналдық-ағынды су төгінділері шоғырланған қалалық учаскелер, табиғи фондық бақылау нүктелері және өзеннің Жайыққа құяр тұсы кірді.

Су сынамалары ГОСТ 31861–2012 стандартына сәйкес жиналып, 4–6 сағат ішінде аккредиттелген зертханаға жеткізілді. Металдардың құрамын анықтау мақсатында алынған су үлгілері азот қышқылымен консервіленді. Органикалық ластаушы заттарды талдау үшін сынамалар шыны ыдыстарда сақталды, ал жалпы химиялық көрсеткіштерді анықтауға арналған үлгілер салқындатылған полиэтилен контейнерлерде зертханаға жеткізілді. Зерттеу барысында су сапасын сипаттайтын 42 физика-химиялық көрсеткіш талданды. Олардың қатарына рН, еріген оттегі, БПК₅, ХПК, негізгі макроиондар (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-}), биогенді қосылыстар (NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-}), сондай-ақ фенолдар мен мұнай өнімдері [30] енгізілді. Сондай-ақ ауыр металдар: Cr(VI), Fe, Pb, Zn және Mn бар. Хром (VI) концентрациясы ГОСТ 4245–72 әдісімен, органикалық қосылыстар ГОСТ ISO 6060–2019 және ГОСТ 31859–2012 стандарттарына сәйкес анықталды. Металдар құрамын анықтау атомдық-абсорбциялық спектрометрия әдісімен орындалды.

Алынған нәтижелер ҚР СанПиН нормаларымен [8], ДДСҰ нұсқаулығымен [10], сондай-ақ Еуропалық Одақтың Су жөніндегі рамалық директивасымен (2000/60/ЕС) салыстырылды [11]. Сандық деректер статистикалық тұрғыдан OriginLab 2023 және Microsoft Excel 365 бағдарламаларында өңделді.



Зерттеу барысында орташа арифметикалық мән, стандарттық ауытқу және нормадан асу коэффициенті $K_{exceed} = C_{fact} / MPC$ есептелді,

Мұндағы:

K_{exceed} — нормадан асу коэффициенті,

C_{fact} — өлшенген нақты концентрация,

MPC — шекті рұқсат етілген концентрация.

Зерттеу нәтижелері диаграммалар, салыстырмалы аналитикалық кестелер және тәуекел деңгейін визуализациялауға арналған интегралды бағалау индексі арқылы ұсынылды.

Нәтижелер

2021–2022 жылдардағы ҚР РМК «Қазгидромет» мониторинг деректеріне сәйкес, Ақтөбе облысындағы су нысандарының басым бөлігі 4-класс сапа санатына жатқызылған, бұл — ластанған су категориясы [6,12]. 2022 жылы тек екі су объектісінде жақсару байқалды: Қара Қобда өзені 5-кластан 4-класқа, ал Бірғыз өзені «нормаланбайтын» (>5-класс) санаттан 4-класқа ауысты. Алайда Елек, Қарғалы, Ембі, Темір, Орь, Ақтасты, Қосестек, Ойыл және Үлкен Қобда өзендерінде су сапасы өзгеріссіз қалып, ластану деңгейі жоғары күйінде қалды.

2024–2025 жылдары жүргізілген зертханалық талдаулар Елек өзені бассейнінде бірқатар қауіпті ластаушы заттардың нормадан асқанын көрсетті. Ең жиі кездескен компоненттерге аммоний-ион, магний, фенолдар, қалқымалы бөлшектер және алты валентті хром (Cr(VI)) жатады. Өнеркәсіптік аймаққа (АФЗмаңы) жақын учаскелерде Cr(VI) концентрациясының ең жоғары мәні тіркелді.

Кесте 1 – 2024–2025 жылдары Елек өзені бойындағы негізгі ластаушы компоненттердің концентрациясы

№	Сынама алынған нүкте	Параметр	Концентрация (mg/L)	ҚР ШРК	Нормадан асу коэффициенті
1	Өнеркәсіптік аймақ (АФЗ маңы)	Хром (VI)	0.081	0.01	× 8.1
2	Өнеркәсіптік аймақ (АФЗ маңы)	Фенолдар	0.0015	0.001	× 1.5
3	Ақтөбе қ. маңы	Аммоний азоты	1.252	0.39	× 3.2
4	Орта ағыс	Қалқымалы заттар	12.341	10	× 1.23
5	Төменгі ағыс	Магний	36.614	30	× 1.22

Ескерту: мәндер ҚР СанПиН 2021–2024, WHO (2022) және EU Water Framework Directive (2000/60/EC) нормаларымен салыстырылды.



1-сурет – Елек өзеніндегі ластаушы заттардың нормадан асу коэффициенттері (2024–2025).

Ескерту: диаграммада хром (VI), аммоний азоты және фенолдар бойынша нормадан асу деңгейі айқын көрінеді. Хром (VI) — ең жоғары көрсеткіш.

Талқылау

Жоғарыдағы кесте мен диаграмма нәтижелері Елек өзеніндегі негізгі ластаушы заттардың — хром (VI), аммоний азоты және фенолдардың — жоғары концентрациясы анықталғанын көрсетеді. Өнеркәсіптік аймаққа жақын сынама нүктелерінде Cr(VI) деңгейінің шекті рұқсат етілген көрсеткіштен 8,1 есе артуы өңірдегі тарихи техногендік ластанудың тоқтамағанын дәлелдейді. Бұл нәтиже тек тарихи өндірістен қалған қалдықтар емес, қазіргі таңда да ластаушы заттардың жүйелі түрде түсуі жалғасып отырғанын көрсетеді [5–7,13].

Фенолдар мен аммоний-ионы концентрациясының нормадан асуы коммуналдық-тұрмыстық және өндірістік ағынды сулардың жеткіліксіз тазартылуымен байланысты болуы мүмкін. Өзеннің төменгі бөлігінде магний мен қалқымалы бөлшектердің жоғары мәнделері табиғи геохимиялық факторлар мен антропогендік жүктеменің қосарланып әсер етуін көрсетеді. Ауыр металдардың физика-химиялық қасиеттеріне байланысты олар өзен бойымен миграцияға ұшырауы мүмкін, бұл су жүйесінде биоаккумуляция және трофикалық тасымал қаупін күшейтеді [6,9,14].

Зерттеу нәтижелері Елек өзені су экожүйесінің деградация қаупі жоғары екенін растайды және су ресурстарын басқару, тазарту инфрақұрылымын жаңғырту, сондай-ақ ұзақ мерзімді трансшекаралық мониторинг қажет екенін көрсетеді. Бұған дейінгі гидрогеологиялық зерттеулер де бұл тенденцияны растаған болатын [15], ал өңірлік мемлекеттік бағдарламаларда мәселені шешу бағыттары қарастырылған [16–19].

Зерттеу барысында су сынамалары Ақтөбе феррокорытпа зауыты (АФЗ) маңынан алынды. Алайда Елек өзені бассейніндегі Cr(VI) бойынша тарихи жоғары деңгейдегі ластану бұрынғы «Ақтөбе хром қосындылары зауыты» (АХКЗ) қызметімен байланысты екендігі бұрын жүргізілген зерттеулерде көрсетілген [5,15]. Алынған нәтижелер техногендік ластанудың толық жойылмағанын және тарихи ластану көздері қазіргі өндірістік процестермен бірге әсерін жалғастырып отырғанын дәлелдейді.

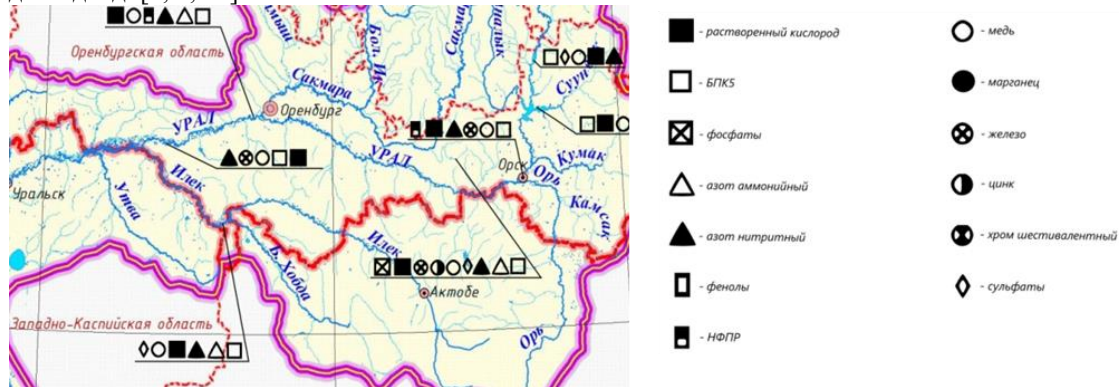
Инфрақұрылымдық жағдай және басқару шаралары

Өңірдегі ағынды суларды реттеудің жеткіліксіздігі — ластанудың негізгі себептерінің бірі болып табылады. Осы мәселені шешу мақсатында Ақтөбе облысында елді мекендердің инженерлік инфрақұрылымына кешенді инвентаризация жүргізілді. Жүргізілген бағалау нәтижелері «Нұрлы жол» мемлекеттік бағдарламасы мен өңірлік даму жоспарларына енгізілген. Қазіргі уақытта «ҚазЦентр ТКШ» АҚ тапсырысы негізінде ағынды суларды тазарту құрылыстарын (КОС/WWTP) жаңғыртуға бағытталған жоба әзірленіп жатыр. Сонымен қатар, Еуропалық Қайта Құру және Даму Банкі аудандық деңгейдегі қосымша инфрақұрылымдық жобаларды қаржыландыру мүмкіндігін қарастыруда [12].

Бұл бастамалар су ресурстарын қорғау тұрғысынан маңызды, себебі тиімді тазарту инфрақұрылымы өнеркәсіптік, ауыл шаруашылығы және тұрмыстық ағындыларды залалсыздандыруда шешуші рөл атқарады.

Трансшекаралық тәуекел

Елек өзені Моғалжар тауларынан бастау алып, Жайық өзеніне құяды және нәтижесінде Каспий теңізіне бағытталатын ірі трансшекаралық гидрологиялық жүйенің бөлігі болып табылады. 2-суретте көрсетілген картографиялық материалдар Жайық (Урал) бассейніндегі негізгі ластаушы заттардың кеңістіктік таралуын көрсетеді және Елек учаскесінің антропогендік қысымға ең сезімтал аймақтардың бірі екенін дәлелдейді [1, 4, 11].



2-сурет. Жайық (Урал) өзені және оның салалары, соның ішінде Елек өзені бойынша негізгі ластаушы заттардың кеңістіктік таралу картасы.



Ескерту: белгішелер әр нүктеде тіркелген ластаушы заттардың түрін көрсетеді (фенолдар, ауыр металдар, БПКs, азот қосылыстары және т.б.).

Токсикологиялық қауіп

Cr(VI) халықаралық классификация бойынша канцерогенді зат болып табылады және ұзақ әсер еткен жағдайда тыныс алу, иммундық және эпителий жүйелерін зақымдайды [7, 9, 13]. WHO және Еуропалық Одақтың Су жөніндегі Рамалық директивасы Cr(VI) концентрациясына қатаң шектеулер белгілейді [10, 11]. Сондықтан алынған нәтижелер өңір үшін санитарлық-эпидемиологиялық қауіптің бар екенін көрсетеді.

Қорытынды

Бұл зерттеу нәтижелері Елек өзені бассейнінің қазіргі экологиялық жағдайының күрделі екенін және ластану деңгейінің өңір тұрғындары мен экожүйе үшін айтарлықтай қауіп төндіретінін көрсетті. Талдау нәтижелеріне сәйкес, су құрамында хром (VI), фенолдар, аммоний-ионы және ауыр металдардың концентрациясы бірқатар нүктелерде шекті рұқсат етілген нормадан бірнеше есе жоғары анықталды. Өнеркәсіптік аймаққа жақын учаскеде Cr(VI) концентрациясының МРС-дан 8,1 есе жоғары болуы — ластанудың тарихи сипатқа ие екенін, бірақ техногендік әсердің әлі де жалғасып отырғанын дәлелдейді [5,6,15].

Жерасты сулары жөніндегі мониторинг деректері де экологиялық тәуекелдің сақталып отырғанын көрсетеді: «ЗапКазНедра» мәліметтері бойынша ластану аймағында Cr(VI) концентрациясы 200 мг/л-ден асқан, алайда 2019 жылдан бастап бұл зерттеу қаржыландырудың тоқтауына байланысты үзілген [18]. Бұл деректер трансшекаралық өзен жүйесі үшін жерасты және беткі су мониторингін тұрақты жүргізудің маңызын айқындайды.

Елек өзені бассейніндегі алты валентті хром бойынша ластану тарихи тұрғыда бұрынғы «Ақтөбе хром қосындылары зауыты» (АХҚЗ) өндірістік қызметімен байланысты. Қазіргі уақытта ластанудың таралуын шектеу мақсатында зауыт аймағында 10 перехваттық ұңғыма жұмыс істеп тұр, олардың көмегімен жыл сайын шамамен 200 мың тонна ластанған су сорылып шығарылады. Өлшеу нәтижелері бойынша Cr(VI) ең жоғары концентрациясы №4 бақылау ұңғымасында анықталған (137 мг/л).

Қолданыстағы инженерлік шаралар толық экологиялық ремедиацияны қамтамасыз етпейді және негізінен ластаушы заттардың миграциясын тежеуге бағытталған уақытша шешім болып табылады. Бұл жағдай аймақтағы техногендік әсердің толық жойылмағанын көрсетеді және ұзақ мерзімді экологиялық тәуекелдің сақталуына әкеледі.

Экологиялық қалпына келтіру бойынша алғашқы техникалық-экономикалық жобалар 2007 жылы әзірленгенімен, олар толық көлемде іске асырылмаған. Алайда мәселенің «Жасыл даму» ұлттық бағдарламасына және Жайық бассейні жөніндегі мемлекетаралық құжаттарға енгізілуі оның стратегиялық маңызы бар екенін көрсетеді және болашақта үйлестірілген трансшекаралық басқару механизмін іске асыруға мүмкіндік береді [19, 20].

Сонымен қатар Қазақстанның 2021–2030 жылдарға арналған балық шаруашылығын дамыту бағдарламасында су сапасының нашарлауы биоалуантүрлілікке және табиғи балық қорының азаюына әкелгені көрсетілген [21]. Мәселе қоғамда да белсенді талқыланып отыр: өңірлік бұқаралық ақпарат құралдарында Елек және Жайық өзендеріне түсетін ағынды сулар көлемінің жыл сайын артып келе жатқаны және ластану факторлары бірнеше рет көтерілген [22–23]. Бұл жалпы қоғамдық қысымның, экологиялық жауапкершіліктің және су ресурстарын тиімді басқаруға деген сұраныстың күшейіп отырғанын көрсетеді.

Практикалық ұсыныстар

Зерттеу нәтижелеріне сүйеніп отырып, Елек өзені бассейніндегі су сапасын жақсарту және экологиялық тәуекелдерді төмендету мақсатында келесі шараларды іске асыру орынды деп есептеледі:

1. Жүйелі мониторингті қайта енгізу және кеңейту. Мониторинг бағдарламасына беткі және жерасты сулары, сондай-ақ биоиндикаторлар мен шөгінділерді қосу ұсынылады.

2. Cr(VI) мен басқа да қауіпті заттарды залалсыздандыру технологияларын кезең-кезеңмен енгізу. Редукциялық, сорбциялық және биоремедиациялық әдістерді сынақтық-өндірістік режимде қолдану тиімділігін бағалау қажет.

3. Қалдық суларды тазарту инфрақұрылымын жаңғырту.

Қолданыстағы тазарту жүйелеріне механикалық, биологиялық және қосымша химиялық тазарту сатыларын енгізу ұсынылады.



4. Траншекаралық су ресурстарын бірлесіп басқару механизмін қалыптастыру. Ресей Федерациясымен деректер алмасу, салыстырмалы мониторинг және үйлестірілген су қорғау жоспарын әзірлеу тиімді болмақ.

5. Халыққа бағытталған санитарлық-эпидемиологиялық тәуекел бағасын жасау. Зерттеу нәтижелеріне сүйене отырып, ауыз су көздері үшін қауіп деңгейін карталау және ақпараттық түсіндіру жұмыстарын жүргізу қажет.

ӘДЕБИЕТ

[1] United Nations Environment Programme (UNEP). Global Water Quality Outlook. Nairobi: UNEP, 2022. 78 p.

[2] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2021: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. 296 p.

[3] World Health Organization (WHO). Global Water and Sanitation Report. Geneva: WHO Press, 2023. 156 p.

[4] Asian Development Bank (ADB). Water Security in Central Asia: Regional Assessment. Manila: ADB Publications, 2020. 112 p.

[5] Babayev R.M., Zhumabaev A., Tursunov S. Environmental impacts of mining and metallurgical industries on transboundary rivers of Kazakhstan. *Journal of Water and Land Development*, 2020; 45: 15–28. DOI: <https://doi.org/10.24425/jwld.2020.135678>.

[6] РК «Казгидромет». Гидрохимический мониторинг поверхностных вод Республики Казахстан за 2024–2025 годы. Астана, 2025.

[7] International Agency for Research on Cancer (IARC). Chromium, Nickel and Welding. IARC Monographs. Vol.49. Lyon: WHO, 1990. 677 p.

[8] СанПиН Республики Казахстан. Санитарные нормы по качеству питьевой воды. Астана: Минздрав РК, 2021–2024.

[9] Salnikow K., Zhitkovich A. Genetic and Epigenetic Mechanisms in Metal Carcinogenesis: Nickel, Arsenic, and Chromium. *Chemical Research in Toxicology*, 2008; 21: 28–44. DOI: <https://doi.org/10.1021/tx700198a>.

[10] World Health Organization (WHO). Guidelines for Drinking Water Quality. 4th Edition. Geneva: WHO Press, 2022.

[11] European Parliament. Directive 2000/60/EC establishing a framework for community action in the field of water policy. Official Journal of the EU, 2000.

[12] РК «Казгидромет». Ежемесячный бюллетень. URL: <https://www.kazhydromet.kz> (қол жеткізу күні: 02.11.2023).

[13] Bochkarev V.V., Roshchin A.V., Ordzhonikidze E.K., Pekkel V.A. Chromium. In: Большая медицинская энциклопедия. Vol.27. Moscow: Sovetskaya Encyclopediya, 1986. 576 p.

[14] European Bank for Reconstruction and Development (EBRD). Feasibility Study for Wastewater Treatment Modernization in Aktobe Region. London: EBRD, 2024.

[15] Zholmuratova G.S., Kapsalyamov B.A. Integrated analysis of pollution and sustainable management of water resources in the Ilek River basin. *Norwegian Journal of Development of the International Science*, 2023; 120: 29.

[16] Directive 2002/95/EC (RoHS). Restriction of hazardous substances in electronic equipment. Brussels: EU Commission, 2002.

[17] Pavlichenko L., Rysmagambetova A., Tanybayeva A. et al. Assessment of boron content changes in the Ilek River Valley (Aktobe, Kazakhstan). *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series Chemistry and Technology*, 2021; 5–6(449): 53–60.

[18] ГУ «ЗапКазНедра». Отчет о состоянии подземных вод в бассейне реки Илек. Актөбе, 2019.

[19] Dautletbayeva M.M., Tanybayeva A.K., Ismagulova L.N. et al. Ақтөбе қаласының топырағы мен өсімдігіне хромның әсерінің экологиялық бағалауы. *Хабаршы. География сериясы*, 2022; (2): 65.

[20] Ministry of Ecology and Natural Resources of Kazakhstan. National Programme “Green Development” (2023–2030). Astana, 2023.

[21] Программа развития рыбного хозяйства Казахстана (2021–2030). URL: <https://www.gov.kz> (қол жеткізу күні: 02.11.2023).



[22] Forbes Kazakhstan. «Ежегодно в приток Урала сбрасывается 10 млн м³ нечистот». URL: <https://forbes.kz> (қол жеткізу күні: 02.11.2023).

[23] Diapazon.kz. «Илек загрязнён хромом и фекалиями». URL: <https://diapazon.kz> (қол жеткізу күні: 02.11.2023).

Г.С. Жолмуратова, Б.А. Капсаямов

ВОПРОСЫ ИНТЕГРИРОВАННОГО АНАЛИЗА УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ И УСТОЙЧИВОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ В БАССЕЙНЕ РЕКИ ИЛЕК

Аннотация. Данное исследование представляет расширенную интегрированную экологическую оценку бассейна реки Илек — трансграничного водного объекта, расположенного на территории Республики Казахстан и Российской Федерации. Анализ качества воды проведён с использованием аккредитованных лабораторных методов в соответствии с ГОСТ и национальными санитарными нормативами. В ходе исследования были определены 42 физико-химических показателя, включая pH, растворённый кислород, БПК₅, ХПК, взвешенные частицы, основные ионы, биогенные элементы, фенолы, нефтепродукты, поверхностно-активные вещества (ПАВ) и тяжёлые металлы.

Полученные результаты показали превышение нормативов по ряду опасных загрязнителей, таких как хром (VI), аммоний-ион, фенолы и магний, что свидетельствует о продолжающемся антропогенном воздействии и экологической уязвимости бассейна.

Сравнительный анализ данных выполнен с санитарными нормативами Республики Казахстан, требованиями Директивы рамочной политики ЕС по водам и рекомендациями Всемирной организации здравоохранения. Полученные результаты позволили сформулировать ряд рекомендаций по устойчивому управлению водными ресурсами, среди которых модернизация очистных сооружений, усиление экологического мониторинга и расширение трансграничного сотрудничества.

Ключевые слова: река Илек; устойчивое управление водными ресурсами; трансграничное загрязнение; экологический мониторинг; антропогенная нагрузка; хром (VI).

Zholmuratova G. S., Kapsalyamov B.A.

PROBLEMS OF INTEGRATED ANALYSIS OF POLLUTION LEVELS AND SUSTAINABLE WATER RESOURCES MANAGEMENT IN THE ILEK RIVER BASIN

Annotation. This study presents an updated and expanded integrated environmental assessment of the Ilek River basin, a transboundary water system shared by Kazakhstan and the Russian Federation. Water quality analysis was carried out using accredited laboratory methods in compliance with GOST and national regulatory standards. A total of 42 physicochemical parameters were evaluated, including pH, dissolved oxygen, BOD₅, COD, suspended solids, major ions, nutrients, petroleum hydrocarbons, surfactants, phenols, and heavy metals.

The obtained results show exceedances of permissible limits for several key contaminants, particularly hexavalent chromium (VI), ammonium nitrogen, phenols, and magnesium. These findings indicate that pollution in the basin remains ongoing and is strongly associated with industrial activity rather than being solely a historical legacy.

Measured concentrations were compared with Kazakhstan SanPiN regulations, the EU Water Framework Directive, and WHO guideline values. Based on the assessment, recommendations for sustainable water resource management were formulated, including modernization of wastewater treatment infrastructure, enhancement of continuous monitoring systems, and strengthening of transboundary cooperation mechanisms.

This research contributes to evidence-based ecological risk assessment, environmental policy planning, and long-term restoration strategies aimed at improving the resilience of the Ilek River basin ecosystem.

Keywords: Ilek River; sustainable water management; transboundary pollution; environmental monitoring; anthropogenic pressure; hexavalent chromium; water quality assessment.