

Сведения об авторах:

Кальяскарова Алмагуль Ербатыровна* – кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией ТОО «AgroLab», Республика Казахстан, 150000, г. Петропавловск, ул. Сабита Муканова, 91, тел.: 87753334715, e-mail: a.kalyaskarova@agrolab.kz.

Аскарбекова Айнура Алтаевна – магистр, старший лаборант ТОО «AgroLab», Республика Казахстан, 150000, г. Петропавловск, ул. Мағжана Жұмабаева, 116, тел.: 87053344215, e-mail: aynura.tuyakbaeva@mail.ru.

Шаяхмет Нариман Шнарұлы – коммерческий директор ТОО «AgroLab», Республика Казахстан, 150000, г. Петропавловск, ул. Валиханова 40-34, тел.: 87778818331, e-mail: n.shayakhmet@agrolab.kz.

Кальяскарова Алмагуль Ербатыровна* – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, «Agrolab» ЖШС зертханасының меңгерушісі, Қазақстан Республикасы, 150000, Петропавл қ., Сәбит Мұқанов көш, 91, тел.: 87753334715, e-mail: a.kalyaskarova@agrolab.kz.

Асқарбекова Айнура Алтаевна – магистр, «AgroLab» ЖШС аға зертханашысы, Қазақстан Республикасы, 150000, Петропавл қ., Мағжан Жұмабаев көш, 116, тел.: 87053344215, e-mail: aynura.tuyakbaeva@mail.ru.

Шаяхмет Нариман Шнарұлы – «AgroLab» ЖШС коммерциялық директоры, Қазақстан Республикасы, 150000, Петропавл қ., Уәлиханов көш, 40-34, тел.: 87778818331, e-mail: n.shayakhmet@agrolab.kz.

Kalyaskarova Almagul Yerbatyrovna* – Candidate of Agricultural Sciences, Head of the laboratory of AgroLab LLP, Republic of Kazakhstan, 150000, Petropavlovsk, 91 Sabit Mukanov Str., tel.: 87753334715, e-mail: a.kalyaskarova@agrolab.kz.

Askarbekova Ainur Altayevna – Master, Senior laboratory assistant, AgroLab LLP, Republic of Kazakhstan, 150000, Petropavlovsk, 116 Magzhan Zhumabayev Str., tel.: 87053344215, e-mail: aynura.tuyakbaeva@mail.ru.

Shayakhmet Nariman Shnaruly – Commercial Director of AgroLab LLP, Republic of Kazakhstan, 150000, Petropavlovsk, 40-34 Valikhanov Str., tel.: 87778818331, e-mail: n.shayakhmet@agrolab.kz

XFTAP 68.41.31

ӨОЖ 631.95

<https://doi.org/10.52269/KGTD2531175>

ҚАЗАҚСТАННЫҢ АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ МАҢЫЗЫ БАР СУ ҚОЙМАЛАРЫНЫҢ ТҮПТІК ШӨГІНДІЛЕРДЕГІ ТЕМІР МЕН МАРГАНЕЦТІҢ ҚҰРАМЫН АГРОЭКОЛОГИЯЛЫҚ БАҚЫЛАУ

Қуанышбаев С.Б. – география ғылымдарының докторы, Басқарма Төрағасы-Ректор, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Бугубаева А.У.* – а.ш.ғ.к., биология, экология және химия кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Казбекова К.А. – «7М01503 Химия» БББ педагогика ғылымдарының магистрі, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Нурсеитова А.М. – «7М05201 Геоэкология және табиғатты пайдалануды басқару» БББ магистратура білім алушысы, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Мақалада Қазақстан Республикасының Жоғарғы Тобыл және Қаратомар су қоймаларының жағалау аймағындағы түптік шөгінділерді зерттеу нәтижелері келтірілген. Сынамаарды іріктеу қысқы кезеңде, төмен температура жағдайында су айдындарының мұз қабатының астынан жүргізілді. Зерттеу нәтижелері, түптік шөгінділерде темір мен марганец сияқты ауыр элементтердің құрамын анықтау арқылы көрсетілген. Бұл элементтердің орташа мөлшері оксидтік түрден элементтік түрге қайта есептеуді ескере отырып, жер қыртысындағы элементтердің кларк мөндерінің орташа деңгейінен аспайтыны анықталды. Алынған нәтижелер БҰҰ ЕЭК жұмыс тобының трансшекаралық және халықаралық көлдерді мониторингтеу мен бағалауға арналған басшылық қағидаттарының ережелеріне сәйкес келеді. Аталған құжатта түптік шөгінділердің ірі түйіршікті компоненттері үшін ауыр металдардың төмен мөлшері тән екендігі атап көрсетілген. Осы зерттеудің нәтижелерін қалыпты климаттық аймақтардағы ағынды су қоймаларының түптік шөгінділерінің сапалық құрамына қатысты анықтамалық ақпарат ретінде, тұщы ағынды су қоймаларының түптік шөгінділерінің сапалық және уытты көрсеткіштеріне кешенді баға беру бойынша әдістемелік ұсы-

нымдар ретінде, түптік шөгінділердің қатты фазалық түрлерін экспресс-рентгенофлуоресценттік спектрлік әдістермен талдау жүргізу бойынша әдістемелік нұсқаулық ретінде, сондай-ақ ауыл шаруашылығы мақсаттарына арналған су қоймаларындағы ауыр металдардың мөлшерін мониторингтеуге пайдалану ұсынылады.

Түйінді сөздер: темірдің мөлшері, марганецтің мөлшері, су қоймасы, түптік шөгінділер, рентгенофлуоресценттік спектрлік талдау, корреляциялық тәуелділік.

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ СОДЕРЖАНИЯ ЖЕЛЕЗА И МАРГАНЦА В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННО ЗНАЧИМЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ КАЗАХСТАНА

Куанышбаев С.Б. – доктор географических наук, Председатель Правления-Ректор, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Бугубаева А.У.* – к.с.-х.н. ассоциированный профессор кафедры биологии, экологии и химии, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Костанай, Республика Казахстан.

Казбекова К.А. – магистр педагогических наук по ОП 7М01503 – Химия, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Нурсеитова А.М. – обучающийся магистратуры ОП 7М05201 – Геоэкология и управление природопользованием, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

В статье представлены результаты исследований донных отложений прибрежной зоны Верхнетобольского и Каратомарского водохранилищ Республики Казахстан. Отбор проб проводился в зимний период в условиях низких температур из-под ледового покрова водоемов. Результаты исследования представляют собой содержание тяжелых элементов, таких как железо и марганец, в донных отложениях. Было выяснено, что среднее содержание данных элементов, с учетом перерасчета с оксидной формы в элементную, не превышает средних значений кларков элементов в земной коре. Полученные результаты согласуются с положениями Руководящих принципов мониторинга и оценки трансграничных и международных озер рабочей группы ЕЭК ООН, которые подчеркивают, что для грубозернистых компонентов донных отложений характерны низкие уровни содержания тяжелых металлов. Результаты настоящих исследований можно использовать в качестве справочных информационных данных по качественному составу донных отложений проточных водоемов умеренных климатических регионов, методических рекомендаций по организации и проведению комплексной оценки качественных и токсических показателей донных отложений пресноводных проточных водоемов, методических рекомендаций по организации и проведению экспрессных рентгенофлуоресцентных спектральных методов анализа твердофазных форм донных отложений, а также для мониторинга содержания тяжелых металлов в водоёмах, предназначенных для сельскохозяйственных нужд.

Ключевые слова: содержание железа, содержание марганца, водохранилище, донные отложения, рентгенофлуоресцентный спектральный анализ, корреляционная зависимость.

AGROECOLOGICAL CONTROL OF IRON AND MANGANESE CONTENT IN BOTTOM SEDIMENTS OF KAZAKHSTANI AGRICULTURAL RESERVOIRS

Kuanyshbayev S.B. – Doctor of Geographical Sciences, Chairperson of the Board-President, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Bugubayeva A.U.* – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of biology, ecology and chemistry, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Kazbekova K.A. – Master of Pedagogical Sciences, “7M01503-Chemistry” educational program, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Nurseitova A.M. – Master's student, “7M05201-Geoecology and Environmental Management” educational program, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

The article presents the results of studies on bottom sediments in the coastal zones of the Verkhnetobol and Karatomar reservoirs in the Republic of Kazakhstan. Sampling was carried out during the winter under low-temperature conditions from beneath the ice cover of the reservoirs. The findings reflect the concentrations of heavy elements, such as iron and manganese, in the bottom sediments. It was found that the average content of these elements, recalculated from their oxide form to the elemental form, does not exceed the average Clarke values of elements in the Earth's crust. The obtained results are consistent with the provisions of the UNECE Guidelines on Monitoring and Assessment of Transboundary and International Lakes, which

emphasize that coarse-grained components of bottom sediments are typically characterized by low levels of heavy metal content. The results of this study may serve as reference information on the qualitative composition of bottom sediments in flowing water bodies of temperate climate regions; as methodological recommendations for organizing and conducting comprehensive assessments of qualitative and toxic indicators of bottom sediments in freshwater flowing water bodies; as methodological guidance for implementing rapid X-ray fluorescence spectral analysis of solid-phase forms of bottom sediments; and for monitoring heavy metal content in agricultural water bodies.

Key words: iron content, manganese content, reservoir, bottom sediments, X-ray fluorescence spectral analysis, correlation dependence.

Кіріспе. Жоғарғы Тобыл және Қаратомар су қоймалары Қостанай облысында орналасқан маңызды су нысандарының қатарына жатады. Аталған су қоймаларының жалпы көлемі тиісінше 816,6 млн м³ және 791 млн м³ құрайды. Бұл су қоймаларының маңызды міндеттерінің бірі – аталған өңірдің ауыл шаруашылығы жерлерін суару болып табылады. [1,2] Осыған байланысты су қоймаларында темір мен марганец сияқты ықтимал қауіпті химиялық заттардың құрамын бақылау қажеттілігі туындайды. Бұл химиялық элементтер ауыр металдар тобына жатады, сондықтан олардың ағзада жиналуы мен жоғары концентрациясы токсикологиялық әсер тудырады.

Сонымен қатар, марганец (Mn) пен темір (Fe) өсімдіктер физиологиясында маңызды рөл атқарады, олар фотосинтез, тыныс алу, азот алмасуы және тотығу стрессінен қорғану үдерістеріне қатысады. Олардың топырақ пен өсімдік тіңдеріндегі мөлшері мен арақатынасы ауыл шаруашылығы дақылдарының өсуіне, дамуына және өнімділігіне айтарлықтай әсер етеді. Бұл элементтердің ауыл шаруашылығы дақылдарына тигізетін әсерін қарастырайық.

Марганец бірқатар ферменттер үшін кофактор болып табылады, олардың қатарына супероксид-дисмутаза, оксалаксоксидазалар және лигнин, изопреноидтар мен гормондардың синтезіне қатысатын ферменттер жатады. Әсіресе марганецтің фотожүйе II-ге (PSII) қатысуы ерекше маңызды, онда ол судың ыдырауын катализдейтін оттегі-бөлу кешенінің құрамына кіреді [3. 11 б.].

Марганецтің артық мөлшері хлорозды, некрозды, жапырақтарда дақтардың пайда болуын және фотосинтездің бұзылуын тудыруы мүмкін. Өсімдіктердің түрлері мен сорттарына байланысты марганецке сезімталдық деңгейі әртүрлі болады. Мысалы, соя дақылында марганецтің артық мөлшері, әсіресе кальций, темір және магний тапшылығы жағдайында, құрғақ заттардың массасын және хлорофилл синтезін азайтады [4. 371 б.]. Сондай-ақ, марганецтің жоғары дозалары тамырлардың өсуін және басқа қоректік заттардың сіңуін шектейді [5. 183 б.].

Марганец тапшылығы көбінесе сілтілі және жақсы ауа алмасатын, әсіресе органикалық заттарға бай топырақтарда айқын байқалады. Бұл фотосинтездің бұзылуына, белсенді оттегі түрлерінің жиналуына және өнімділіктің төмендеуіне алып келеді [3. 14 б.].

Темір хлорофиллдің синтезіне, сондай-ақ тыныс алу және фотосинтез үдерістерінің жүруіне қатысады. Оның тапшылығы көбінесе сілтілі топырақтарда, әсіресе топырақты әктегеннен кейін байқалады. Темірдің жетіспеушілігі хлорозға, фотосинтетикалық белсенділіктің төмендеуіне және өнімділіктің азаюына себеп болады [6. 1181 б.].

Сояға жүргізілген зерттеулер марганецтің жоғары концентрациясы темірдің сіңуін тежеп, оның жетіспеушілік белгілерін тудыруы мүмкін екенін көрсетті. Қоректік ерітіндіге темір қосу марганецтің уытты әсерін жұмсартып, өсімдіктердің өсуін жақсарттады [7. 3236]. Ұқсас нәтижелер күріш пен арпаға да тән: бұл дақылдарда марганецтің уыттылығы өнімділікті төмендетіп, темірдің тіңдердегі таралуына әсер етеді [8. 225 б.].

Темір мен марганецті жапырақ арқылы қоректендіру түрінде қолдану бидай өнімділігі мен дәндегі микроэлементтер мөлшерін арттырады. Ең жоғары әсер темір мен марганецті жапырақ арқылы қоректендірумен қатар 80 кг мырыш сульфатын бірге енгізу арқылы байқалады [9. 1326 б.].

Марганец пен темірді енгізу өсімдіктердің қоректенуіне ғана емес, сонымен қатар топырақтың химиялық қасиеттеріне де әсер етеді. Марганец мөлшерінің артуы тамыр ұзындығын және фотосинтез қарқындылығын арттырса, темір – жер үсті бөлігінің массасын, дән мөлшерін және хлорофилл деңгейін жоғарылатады [6. 1184 б.].

Айта кету керек, суару үшін пайдаланылатын су ресурстарын ғана қарастыру шектеулі. Су қоймалары – бұл қажет болған жағдайда су алынатын оқшауланған су айдындары. Сондықтан түптік шөгінділерді зерттеу маңызды, өйткені «су–тұнба» жүйесінде химиялық элементтердің миграция процесі жүреді.

Мысалы, Мексика шығанағының континенттік қайраңының жағалау аймағында жүргізілген зерттеу өзен сағаларында және гипоксия жағдайында темір мен марганецтің түптік шөгінділерден су бағанына айтарлықтай бөлінетінін көрсетеді. Бұл процесс оттегінің мөлшері азайған кезде күшейе түседі, себебі ол металл оксидтерінің тотықсыздануына және кейіннен олардың судың түпкі қабаттарына диффузиялануына байланысты [10. 7 б.].

Түптік шөгінділеріндегі темір мен марганецтің тіршілік ету формалары көбінесе олардың миграцияға бейімділігі мен биожетімділік деңгейін анықтайды. pH төмендеген және деоксигенация жағдайын-

да бұл элементтердің қозғалғыштығы артып, су ортасының ықтимал қайталама ластануына алып келеді. Бұл, әсіресе, эвтрофикацияға немесе антропогендік әсерге ұшыраған су айдындары үшін аса маңызды. Металдардың биожетімділігіне арналған зерттеу авторлары тотығу-тотықсыздану редокс жағдайлары өзгерген кезде бұл элементтердің ерігіш формаға ауысып, су организмдеріне қолжетімді болатынын және қоректік тізбектерге тартылатынын анықтаған [11. 148 б.].

Түптік шөгінділердің геомеханикалық сипаттамалары – олардың тығыздығы, кеуектілігі және қалыңдығы – «су-тұнба» жүйесінде темір мен марганецтің тік және көлденең бағытта қайта бөлінуіне тікелей әсер етеді. Өзен жүйелерінде жүргізілген зерттеу шөгінді қабатының қалыңдығы артқан сайын металдардың терең қабаттарда жиналуына ықпал ететінін көрсетті. Ал жұқа әрі борпылдақ шөгінділер фильтрация және ағыс жағдайлары өзгерген кезде металдарды суға оңай бөледі [12. 6 б.].

Ресейдің солтүстік-батысындағы Онега көлі мен шағын көлдер сияқты көл экосистемалерінде темір мен марганец «су-тұнба» шекарасына жақын аймақта пайда болатын қабатты түзілімдер – конкрециялар түзеді. Бұл түзілімдердің өсуі мен құрамына әсер ететін негізгі фактор – жергілікті тотығу-тотықсыздану редокс потенциалы болып табылады. Оттегі бар жағдайда Fe^{2+} және Mn^{2+} тотығып, олардың оксидтері тұнбаға түседі, ал тотықсыздану жағдайында бұл элементтердің еру процесі басталады [13. 11 б.].

Температурадан туындаған металдардың миграциясын эксперименттік модельдеу судың температурасы марганецтің миграциялық (көші-қон) қабілетіне айтарлықтай әсер ететінін көрсетті. Температура жоғарылаған кезде микроорганизмдердің белсенділігі мен оксидтердің тотықсыздану қарқындылығы артып, судағы марганец концентрациясының өсуіне әкеледі. Ал темір аз қозғалғыш күйінде қалып, негізінен қатты фазада сақталады [14. 407 б.].

Осылайша, темір мен марганец сыртқы жағдайлардың – температураның, рН деңгейінің, оттегі мөлшерінің және шөгінділердің геохимиялық құрамының – өзгеруіне жоғары сезімталдық танытады. Олардың «су-тұнба» жүйесіндегі миграциясы физика-химиялық факторлармен қатар биогеохимиялық белсенділік арқылы да реттеледі. Бұл процестерді терең түсіну су айдындарының экологиялық жағдайын бағалау және ластану әсерін болжау үшін аса маңызды.

Бұл зерттеудің өзектілігі ауыр металдарды, атап айтқанда темір мен марганецті жинақтау және түрлендіру қабілеті бар су қоймалары экосистемінің маңызды құрамдас бөлігі ретінде түптік шөгінділерді кешенді түрде бағалау қажеттілігімен негізделеді. Түптік шөгінділер су айдындарының экологиялық жағдайын қалыптастыруда шешуші рөл атқарады және халықаралық ұсынымдарға (ЕЭК, БҰҰ) сәйкес міндетті мониторингке жатады. Мұндай бағалау Қостанай облысының стратегиялық маңызы бар су қоймалары – Қаратомар және Жоғарғы Тобыл үшін аса маңызды, өйткені осы су қоймалары өңірдің сумен қамтамасыз етілуі, ауыл шаруашылығы және экологиялық қауіпсіздігімен тікелей байланысты. Қазақстанда нормативтік базаның шектеулігі және осы саладағы зерттеулердің сирек жүргізілуі жағдайында түптік шөгінділерге мониторинг жүргізу су ресурстарын тиімді пайдалану мен қорғау үшін ерекше мәнге ие.

Мақсат, міндеттер. Бұл зерттеудің мақсаты – Қаратомар және Жоғарғы Тобыл су қоймаларының түптік шөгінділеріндегі темір мен марганецтің құрамына кешенді баға беру, олардың экологиялық жағдайын талдау және Солтүстік Қазақстан жағдайында мониторинг жүргізуге арналған әдістемелік ұсынымдар әзірлеу. Мақсатқа жету үшін түптік шөгінділердегі темір мен марганецтің мөлшерін анықтау, корреляциялық және рентгенфлуоресценттік талдау жүргізу, геофакторлардың әсерін бағалау, нормативтік талаптармен салыстыру және халықаралық тәсілдердің қолданылу мүмкіндігін қарастыру міндеттері қойылды.

Зерттеудің материалдары мен әдістері. ГОСТ 17.1.5.01-80 стандартына сәйкес, түптік шөгінділер – бұл табиғи және техногендік шығу тегі бар заттардың әсерінен су айдындарында жүретін физика-химиялық және биохимиялық үдерістер нәтижесінде түзіледі. Бұл шөгінділер су объектісінің түбіне шөгіп қалған қатты бөлшектерден тұрады және су мен минералдық негіздің түйісу аймағында орналасқан ерекше табиғи нысан болып саналады.

Сынама алу процесі аналитикалық зерттеулер жүргізілгенге дейін құрылымы мен химиялық құрамының талданатын көрсеткіштерінің тұрақтылығын қамтамасыз етуі тиіс. Осыған байланысты мемлекетаралық және ұлттық нормативтік құжаттардың талаптары мен ұсынымдары ескерілді:

1. ГОСТ 17.1.5.01-80 Табиғатты қорғау. Гидросфера. Ластануға талдау жүргізу үшін су объектілерінің түптік шөгінділерінен сынама алуға қойылатын жалпы талаптар.

2. ПНД Ф 12.1:2.2:2.3:3.2-03 әдістемелік ұсынымдар. Топырақ, топырақ жыныстары, түптік шөгінділер, лайлар, сарқынды сулардың тұнбалары, өнеркәсіптік сарқынды сулардың шламдары, сондай-ақ өндірістік және тұтыну қалдықтарының сынамаларын іріктеу.

3. РД 52.24.609-2013 басшылық құжат. Су объектілерінің түптік шөгінділеріндегі ластаушы заттардың болуына бақылауды ұйымдастыру және жүргізу.

Бұл нормативтік құжаттар құрам мен қасиеттер көрсеткіштерін анықтауға арналған сынамаларды іріктеу, тасымалдау және сақтауға дайындау бойынша жалпы талаптарды белгілейді. Стандарттар сынама алу орны мен іріктеу кезеңділігі су объектісінің ерекшеліктеріне қарай зерттеу бағдарламасына сәйкес айқындалатынын атап көрсетеді. Құжаттар зерттеу мақсаттары мен анықталатын көрсеткіштер

тізіміне сәйкес сынама алуға кең мүмкіндіктер ұсынады. Бұл мүмкіндіктер іріктеу барысында көрсеткіштер мәндерінің ықтимал өзгерістерін барынша азайтуға бағытталған.

Түптік шөгінділердің химиялық құрамын зерттеудің бірыңғай жүйесі жоқ екенін ескеру қажет. Сондықтан бағалау кезінде су, топырақ және минералдық заттардың химиялық құрам көрсеткіштерін бақылауға негізделген әдістерді басшылыққа алу қажет. Түптік шөгінділердің химиялық көрсеткіштерін бағалау барысында топырақ пен суға химиялық бақылау жүргізгендегідей, іс жүзінде ұқсас талдау әдістерін қолдану жоспарлануда [15. 76.; 17. 106.].

Агрохимиялық бақылаудың заманауи технологияларын енгізудің маңыздылығын атап өту қажет. Рентген-флуоресцентті спектрлік талдау (РФСА) әдісін қолдану зерттеулердің жылдамдығы мен көлемін едәуір арттыруға мүмкіндік береді. РФСА әдісі элементтің сипаттамалық флуоресценциясының қарқындылығы мен оның талданатын үлгідегі массалық үлесі арасындағы тәуелділікке негізделген.

Біздің зерттеуімізде Olympus VANTA C типті рентген-флуоресцентті спектрометр қолданылды. Бұл құрылғы Mg-ден бастап U-ге дейінгі химиялық элементтердің құрамын ppm-нің оннан бір бөлігіне дейінгі концентрацияда аналитикалық дәлдікпен бағалауға мүмкіндік береді. Жабдықты пайдалану ыңғайлы, әрі жоғары дәлдік пен зерттеулердің жедел жүргізілуін қамтамасыз етеді.

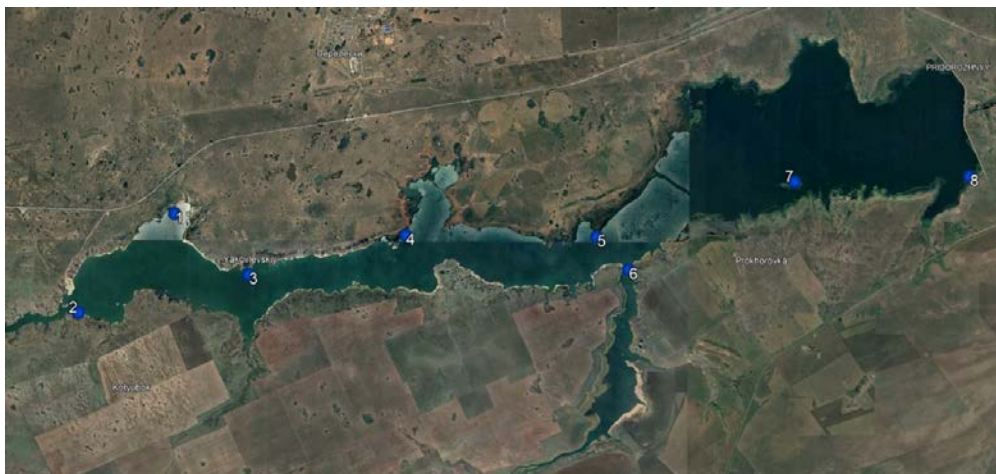
Аналитикалық жабдықты калибрлеу құрамында химиялық компоненттер белгілі топырақ материалдарының қасиеттері мен құрамының стандартты үлгілерін қолдану арқылы жүзеге асырылады. Бұл өлшеулердің дәлдігін нормативтік құжаттарға сәйкес қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Зерттеу барысында өлшеу жабдықтарын калибрлеу және жүргізілетін сынақтардың сапасын бағалау мақсатында келесі стандартты үлгілер пайдаланылды:

1. СГХ-3 (МСУ 3132-85) типіндегі терригенді фондық лайдың құрамы бойынша стандартты үлгі.
2. БИЛ-1 (МСУ 7126-94) типіндегі Байкал лайының құрамы бойынша стандартты үлгі.
3. БИЛ-2 (МСУ 7176-95) типіндегі Байкал көлі түптік шөгінділердің құрамы бойынша стандартты үлгі.
4. СГ-3 (МСУ 3333-85) типіндегі сілтілі апаитті граниттің құрамы бойынша стандартты үлгі.
5. СИ-3 (МСУ 3192-85) типіндегі далашпатты қамтитын доломиттің құрамы бойынша стандартты үлгі.

Түптік шөгінділердегі ықтимал уытты элементтердің концентрациясын бағалау кезінде топырақтағы құрамдас бөліктердің нормативтеріне сүйенген жөн, себебі түптік шөгінділердегі элементтердің шекті рұқсат етілген концентрацияларына (ШРК) нормативтік талаптар белгіленбеген. Гигиеналық стандарттар талаптарына сәйкес [18. 9 б.], шекті рұқсат етілген концентрациялар (ШРК) элементтердің қозғалмалы формаларына да, жалпы құрамына да қатысты белгіленуі мүмкін. ШРК сәйкестігін бағалау барысында элементтердің жалпы құрамындағы формалық ерекшеліктеріне назар аудару қажет. Сондай-ақ, элементтің Кларк ұғымын ескерген жөн. Кларк элементі немесе Кларк саны осы жүйенің жалпы массасына қатысты жер қыртысындағы, су объектілеріндегі, қалалық аумақтардың топырақтарындағы химиялық элементтердің орташа құрамын білдіреді. Дегенмен, әртүрлі зерттеушілер кларк мәндерін мазмұн объектілеріне байланысты әртүрлі түрде келтіретінін ескеру қажет [19. 21 б.; 21. 1276 б.].

Өлшеу нәтижелерін және олардың статистикалық өңдеуін дұрыс жүргізу үшін ғылыми ұсыныстар мен нормативтік талаптарды ескеру қажет [22. 265 б.; 23. 6 б.]. Кездейсоқ өзгерістерді бағалау қалыпты үлестірім заңы немесе логарифмдік қалыпты үлестірім заңы негізінде жүргізілді. Өлшеу нәтижелерінің статистикалық өңдеуі 2024 жылғы нұсқадағы «Талдау» кеңейтімімен бірге стандартты Excel бағдарламалық пакетін пайдалану арқылы жүзеге асырылды [24, 25].

Нәтижелер және талқылау. Түптік шөгінділерден сынама алу 2024 жылдың наурыз айының басында жүргізілді, себебі бұл аймақ үшін ақпан-наурыз маусымы тұрақты және қалың қар жамылғысымен сипатталады. Су қоймалары учаскелеріндегі түптік шөгінділер мен су сынамаларын алу нүктелері тиісінше 1 және 2-суреттерде белгіленген. Сынама алу нүктелері арасындағы қашықтық орта есеппен 1–6 км аралығында болды.



1 сурет – Жоғарғы Тобыл су қоймасы учаскелеріндегі сынама алу нүктелері

1 кесте – Жоғарғы Тобыл су қоймасынан алынған түптік шөгінді үлгілеріндегі негізгі химиялық компоненттердің құрамы

Көрсеткіш (г/кг)	Сынама нөмірі және іріктеу нүктесі								ШРК, г/кг		Орташа мән	СКА	ВК, %
	1	2	3	4	5	6	7	8	Қозғал- малы форма	Жалпы мөлшері			
Fe₂O₃	96,68	55,75	43,09	30,38	20,51	25,42	38,29	28,65	-	-	42,35	23,03	54,4
MnO	1,26	1,07	0,58	0,51	0,39	0,27	0,77	0,49	-	1,5*	0,67	0,32	48,2



2 сурет – Каратомар су қоймасы учаскелеріндегі сынама алу нүктелері

Жүргізілген жұмыстар барысында су қоймаларында іріктелген түптік шөгінді үлгілерінің химиялық құрамы зерттелді. Зертханалық зерттеулер нәтижесінде Fe (Fe₂O₃ түрінде қайта есептелген) және Mn (MnO түрінде қайта есептелген) элементтерінің жалпы (валдық) мөлшері бойынша көрсеткіштер алынды.

2 кесте – Каратомар су қоймасының түптік шөгінділерінің үлгілерінің сынамаларындағы негізгі химиялық компоненттердің құрамы

Сынама нөмірі және іріктеу нүктесі	№	Fe ₂ O ₃	MnO
	1	36,32	0,73
	2	32,8	0,66
	3	13,28	0,20
	4	18,69	0,45
	5	23,06	0,45
	6	37,11	0,23
	7	26,50	0,20
	8	10,63	0,08
	9	33,32	0,78
ШРК г/кг	Қозғалмалы форма	-	-
	Жалпы мөлшері	-	1,5*
Орташа мән		25,75	0,42
СКА		9,94	0,26
ВК, %		38,59	61,79

Ескертпелер:

*Жалпы санитарлық шектеуші зияндылық көрсеткіші

-Бұл көрсеткіш үшін ШРК нормативтік құжатта белгіленбеген [18. 7 б.]

СКА – стандартты квадраттық ауытқу

БК – вариация коэффициенті

1 және 2-кестеде су қоймаларының жекелеген учаскелерінен алынған түптік шөгінділер сынама-ларындағы негізгі химиялық компоненттердің мөлшері көрсетілген. Су қоймаларының түптік шөгінділер үлгілерінің химиялық құрамы негізінен темір және марганец оксидтерінен тұрады. Сонымен қатар, жалпы су қоймасы бойынша орташа мән-дер мен олардың стандартты квадраттық ауытқуы (СКА) келтірілген. Көптеген сынамалар үшін СКА орташа мәннің 50%-ынан аспайды. Бұл түптік шөгінділер құрамының барлық іріктеу нүктелерінде жеткілікті тұрақты екенін көрсетеді.

Жоғарғы Тобыл су қоймасы бойынша темір (III) оксидінің Fe_2O_3 мәні 9 96,68-ден 20,51 г/кг-ға дейін, орташа мәні 42,35 г/кг құрайды. Марганец (II) оксидінің MnO мәні – 1,26-дан 0,27 г / кг-ға дейін, орташа – 0,67 г/кг. Fe_2O_3 ең жоғары концентрациясы №1 сынамада байқалады, бұл темірдің нүктелік жеткізілуін немесе жиналуын көрсетуі мүмкін (мысалы, судың тоқырау аймағында немесе түбіне жақын). MnO біркелкі таратылады, бірақ сонымен бірге №1 үлгідегі максимумды көрсетеді.

Қаратомар су қоймасы бойынша темір (III) оксидінің Fe_2O_3 мәндік диапазоны 10,63–37,11 г/кг, орташа мәні – 25,75 г/кг. Марганец (II) оксиді MnO үшін: 0,08-ден 0,78 г / кг-ға дейін, орташа-0,42 г / кг. Мұнда Fe_2O_3 Максим максимумы №1 және №6 үлгілерде болады, бұл жергілікті жинақтау ошақтарымен байланысты болуы мүмкін. Минимумдар №3 және №8 сынамаларда жазылады, бұл белсенді көші-қонды немесе жууды көрсетеді. Алынған деректер ұқсас объектілердің ғылыми сипаттамаларымен жақсы үйлеседі.

Түптік шөгінділердегі темір (III) оксиді Fe_2O_3 және марганец (II) оксидінің MnO ұтқырлығы тотығу-тотықсыздану жағдайларымен байланысты. Тотықсыздану жағдайында (оттегі тапшылығы) Fe^{3+} және Mn^{4+} түптік шөгінділерден суға көшу арқылы Fe^{2+} және Mn^{3+} еритін түрлеріне дейін тотықсыздануы мүмкін. Концентрациясы жоғары жерлерде тұндыру гидроксидтер/оксидтер түрінде, әсіресе су турбуленттілігі бар аймақтарда жүреді деп болжауға болады. Төмен мән-дер су бағанының ықтимал десорбциясын немесе көші-қонын көрсетеді, әсіресе термиялық стратификациямен жазғы маусымда.

Авторлардың [19. 226.; 21. 1283 б.] деректері бойынша жер қыртысындағы марганецтің кларкы 800–1000 мг/кг, ал темірдің кларкы 42000–56300 мг/кг аралығында ауытқиды. Темір (оксидтік түрінен элементтік түрге қайта есептеу ескерілген) және марганец (сондай-ақ қайта есептеу ескерілген) сияқты элементтердің жалпы орташа құрамы жер қыртысындағы кларк мән-дерінен аспайды.

Талдау жұмыстарын жаңа үлгілерге жасау арқылы зерттеуді толтықтыру алдағы уақытта қойылған мақсат болып табылады.

Қорытынды. Қазақстан Республикасының солтүстік өңіріндегі Жоғарғы Тобол және Қаратомар су қоймаларының жағалау аймағындағы түптік шөгінділерді зерттеу нәтижесінде ауыр металдардың (темір және марганец) құрамы анықталды. Қыс мезгілінде су қоймаларының мұз жамылғысы астынан түптік шөгінділер мен су үлгілерін алу әдістері пысықталды.

Түптік шөгінділерді құрайтын негізгі химиялық компоненттер темір және марганец оксидтері екені анықталды, бұл тұщы су қоймаларының түбіне қатысты әртүрлі авторлар бұрын жүргізген зерттеулердің нәтижелерін растайды. Марганецтің жалпы түрдегі мөлшері шекті рұқсат етілген концентрация (ШРК) нормаларынан аспайды. Темір мен марганецтің мөлшері (оксидтік түрінен элементтік түрге қайта есептеу ескерілген жағдайда) жер қыртысындағы осы элементтердің кларк мән-дерінің орташа деңгейінен аспайтыны анықталды.

Жүргізілген зерттеулердің нәтижелері ғылыми және экологиялық тұрғыдан маңызды. Бұл нәтижелерді келесі бағыттарда пайдалануға болады:

1. Қоңыржай климаттық белдеудегі су айдындарының түптік шөгінділері бойынша зерттеу нәтижелерінің анықтамалық ақпараттық деректері ретінде;

2. Ағынды тұщы су қоймаларының түптік шөгінділерінің сапалық және уыттылық көрсеткіштерін кешенді бағалауды ұйымдастыру және жүргізу бойынша әдістемелік ұсынымдар ретінде;

3. Түптік шөгінділердің қатты фазалық формаларын талдауға арналған экспресс рентген-флуоресценттік спектрлік әдістерді ұйымдастыру және жүргізу бойынша әдістемелік ұсынымдар ретінде;

4. Әртүрлі су айдындарындағы түптік шөгінділер көрсеткіштерін неғұрлым терең зерттеуге арналған ғылыми алғышарт ретінде.

Қаржыландыру бойынша ақпарат. Зерттеу жұмыстары 2023 жылы Ахмет Байтұрсынұлы атындағы ҚҰУ-де 2023-2025 жылдарға арналған ғылыми және (немесе) ғылыми-техникалық жобалар бойынша гранттық қаржыландыру аясында BR21881993 «Солтүстік Қазақстанның су ресурстарын жедел мониторингілеу және гидротехникалық инженерлік құрылыстарын экологиялық бақылау жүйесін құру» тақырыбындағы жобасы негізінде жүзеге асырылды.

ӘДЕБИЕТТЕР:

1. **Жоғарғы Тобыл су қоймасы** [Электрондық ресурс] // Уикипедия – ашық энциклопедия. – Қолжетімді: https://kk.wikipedia.org/wiki/Жоғарғы_Тобыл_су_қоймасы (жүгінген күні – 22.05.2025).

2. **Қаратомар су қоймасы** [Электрондық ресурс] // Уикипедия – ашық энциклопедия. – Қолжетімді: https://kk.wikipedia.org/wiki/Қаратомар_су_қоймасы (жүгінген күні – 22.05.2025).
3. **Alejandro S. Manganese in plants: From acquisition to subcellular allocation** [Text] / S. Alejandro, S. Höller, B. Meier, E. Peiter // *Frontiers in Plant Science*. – 2020. – Vol. 11. – № 300. – P. 1-23. DOI: 10.3389/fpls.2020.00300.
4. **El -Jaoual T. Manganese Toxicity in Plants** [Text] / T. El -Jaoual, D. A Cox // *Journal of Plant Nutrition*. – 1998. – Vol. 21. № 2. – P. 353–386. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904169809365409>.
5. **Lopes Júnior C. A. A Comparative Ionomimetic Approach Focusing on Cadmium Effects in Sunflowers (*Helianthus annuus* L.)** [Text] / C. A. Lopes Júnior, P. Mazzafera, M. A. Z. Arruda // *Environmental and Experimental Botany*. – 2014. – Vol. 107. – P. 180-186. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.06.0026>.
6. **Moreira A. Iron and Manganese Effect on Soil Chemical Properties, Yield Components, and Nutritional Status of Soybean** [Text] / A. Moreira, L. A. C. Moraes, G. S. Aquino // *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. – 2018. – Vol. 49. – № 10. – P. 1177-1187. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1475564>.
7. **Heenan, D. P. Manganese and iron interactions on their uptake and distribution in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.)** [Text] / D. P. Heenan, L. C. Campbell // *Plant and Soil*. – 1983. – Vol. 70. – P. 317-326. DOI: 10.1007/BF02374888.
8. **Vlams J. Iron and manganese Relations in Rice and Barley** [Text] / J. Vlams, D. E. Williams // *Plant and Soil*. – 1964. – Vol. 20. – № 2. – P. 221–234. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01362634>.
9. **Pahlavan-Rad M. R. Response of wheat plants to zinc, iron, and manganese applications and uptake and concentration in wheat grains** [Text] / M. R. Pahlavan-Rad, M. Pessarakli // *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. – 2009. – Vol. 40. – № 7–8. – P. 1322-1332. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103620902761262>.
10. **Becker A. G. Sediments as a source of iron, manganese, cobalt and nickel to continental shelf waters (Louisiana, Gulf of Mexico)** [Text] / A. G. Becker, J. M. Cross, X. Hu, et al. // *Frontiers in Marine Science*. – 2022. – Vol. 9. – № 811953. – P. 1-13. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.811953>.
11. **Mikhailova E. A. Migration capacity and bioavailability of metals in bottom sediments of surface water bodies** [Text] / E. A. Mikhailova, S. V. Chebotareva, V. A. Sedov, et al. // *Journal of Ecological Engineering*. – 2021. – Vol. 22. – N 7. – P. 144-151. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/139199>.
12. **Sun H. Migration and transformation mechanisms of iron and manganese during river infiltration affected by the changes in riverbed sediment thickness** [Text] / H. Sun, L. Zhou, S. Xie, et al. // *Journal of Hydrology*. – 2024. – Vol. 631. – № 129542. – P. 1-20. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.129542>.
13. **Fedorov-Davydov D.A. Distribution of Elements in Iron-Manganese Formations in Bottom Sediments of Lake Onego (NW Russia) and Small Lakes of Adjacent Territories** [Text] / D.A. Fedorov-Davydov, E.G. Yakovlev, A.V. Yanin, et al. // *Minerals*. – 2020. – Vol. 10. – № 5. – P. 1-30. DOI: <https://doi.org/10.3390/min10050440>.
14. **Khlystov V. L. Experimental Simulation of the Influence of Temperature on the Migration of Substances from Bottom Sediments** [Text] / V. L. Khlystov, I. V. Chugunov, A. A. Perminov, et al. // *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. – 2022. – Vol. 30. – № 3. – P. 405-413. DOI: <https://doi.org/10.3846/jeelm.2022.17399>.
15. **ГОСТ 33850–2016. Почвы. Определение химического состава методом рентгенофлуоресцентной спектрометрии. Soils. Determination of chemical composition by X-Ray fluorescence spectrometry**. – Введ. 01.01.2017. – М.: Стандартиформ, 2017. – 13 с. – (Национальный стандарт Российской Федерации).
16. **СТ РК 2.273–2013. Методики выполнения измерений рентгеноспектральные. Общие требования**. – Астана: Комитет технического регулирования и метрологии МИР РК, 2013. – 14 с.
17. **СТ РК 2.737–2019. Государственная система обеспечения единства измерений Республики Казахстан. Методика выполнения измерений. Породы горные, руды и продукты их переработки. Рентгенофлуоресцентный спектрометрический метод определения показателей состава**. – Введ. 01.01.2019. – Алматы: ИПК Издательство стандартов, 2019. – 15 с.
18. **Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: гигиенические нормативы**. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. – 15 с. – (ГН 2.1.7.2041–06; ГН 2.1.7.2042–06). – ISBN 5–7508–0599–9).
19. **Методические указания по определению тяжёлых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства**. – М.: [б. и.], 1992. – 28 с.
20. **Кларк** [Электрондық ресурс] // Уикипедия: – ашық энциклопедия. – Қолжетімді: <https://kk.wikipedia.org/wiki/Кларк> (жүгінген күні – 28.05.2025).
21. **Taylor, S. R. Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table** [Text] / S. R. Taylor // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 1964. – Vol. 28. N 8. – P. 1273-1285. DOI: [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(64\)90129-2](https://doi.org/10.1016/0016-7037(64)90129-2).

22. Щербина В. В. Кларки // Большая советская энциклопедия: [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров. – М.: Советская энциклопедия, 1969–1978. – Т. 12: *Кварнер – Конгур*. – С. 265-266.
23. ГОСТ Р 8.736–2011. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. – Введ. 01.01.2012. – М.: Стандартинформ, 2012. – 16 с. – (Нац. стандарт Российской Федерации).
24. ГОСТ Р ИСО 3534-1–2019. Статистические методы. Словарь и условные обозначения. Ч. 1. Общие статистические термины и термины, используемые в теории вероятностей. *Statistics — Vocabulary and symbols — Part 1: General statistical terms and terms used in probability* (ISO 3534-1:2006, IDT). – М.: Стандартинформ, 2020. – 26 с. – (Нац. стандарт Российской Федерации).
25. Кеткина О. С. Возможности MS Excel для регрессионного анализа [Электронный ресурс] // Информационный портал УрФУ, 2020. – Режим доступа: <http://www.study.urfu.ru> (жүгінген күні – 22.05.2025).
26. Новаковский А. Взаимодействие Excel и статистического пакета R для обработки данных в экологии [Текст] / А Новаковский // *Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН*. – 2016. – № 3 (197). – С. 26-33. DOI: 10.31140/j.vestnikib.2016.3(197).4.
27. Бекмухамбетова А. С., Салатова О. И. Мониторинг химического состава воды и рыбных ресурсов Верхнетобольского и Каратомарского водохранилищ Костанайской области [Текст] / А. С. Бекмухамбетова, О. И. Салатова // *Вестник Костанайского государственного университета имени А. Байтурсынова*. – 2016. – № 8 (112). – С. 468-472. – ISSN 2072-0297. – eISSN 2077-8295. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25966858>
28. Linnik P. Bioavailability and migration features of metals in bottom sediments–water system under the action of different environmental factors [Text] / P. Linnik, V. Zhezherya, R. Linnik // *Chemistry Journal of Moldova*. – 2023. – Vol. 18. № 1. – P. 9-27. DOI: 10.19261/cjm.2023.1185.
29. Wunder L. C. Manganese Reduction and Associated Microbial Communities in Antarctic Surface Sediments [Text] / L. C. Wunder, I. Breuer, G. Willis-Poratti, et al. // *Frontiers in Microbiology*. – 2024. – Vol. 15. № 1398021. – P. 1-12. DOI: 10.3389/fmicb.2024.1398021.
30. Hossain M. M. A review of potentially toxic elements in sediment, water, and aquatic species from the river ecosystems [Text] / M. M. Hossain, I. Jahan, M. A. Dar, et al. // *Toxics*. – 2025. – Vol. 13, № 26. – P. 1-26. DOI: 10.3390/toxics13010026.
31. Li Y. Fe/Mn (oxyhydr) oxides reductive dissolution promoted by dissolved organic matter: Implications for trace metal mobilization at the sediment–water interface [Text] / Li, Y., Wang, J., Zhang, Y., et al. // *Water Research*. – 2024. – Vol. 246. № 120800. DOI: 10.1016/j.watres.2024.120800.
32. Nowak B. Assessment of heavy metal content and identification of their sources in bottom sediments and aquatic plants [Text] / B. Nowak, J. Kowalska, et al. // *Minerals*. – 2025. – Vol. 15. № 8. DOI: 10.3390/min15010008.

REFERENCES:

1. Zhogargy Tobyl su kojmasy [Verhnetobol Reservoir]. Wikipedia, available at: https://kk.wikipedia.org/wiki/Zhogargy_Tobyl_su_qoymasy (accessed 22 May 2025). (In Kazakh)
2. Karatomar su kojmasy [Karatomar reservoir]. Wikipedia, available at: https://kk.wikipedia.org/wiki/%D2%9A%D0%B0%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%80_%D0%B1%D3%A9%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D1%96. (In Kazakh)
3. Alejandro S., Höller S., Meier B., Peiter E. Manganese in plants: From acquisition to subcellular allocation. *Frontiers in Plant Science*, 2020, vol. 11, no. 300, pp. 1-23. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00300>.
4. El-Jaoual T., Cox D. A. Manganese Toxicity in Plants. *Journal of Plant Nutrition*, 1998, vol. 21, no 2, pp. 353-386. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904169809365409>.
5. Lopes Júnior C.A., Mazzafera P., Arruda M.A.Z. A Comparative Ionomic Approach Focusing on Cadmium Effects in Sunflowers (*Helianthus annuus* L.). *Environmental and Experimental Botany*, 2014, vol. 107, pp. 180-186. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.06.0026>.
6. Moreira A., Moraes L.A.C., Aquino G.S. Iron and Manganese Effect on Soil Chemical Properties, Yield Components, and Nutritional Status of Soybean. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2018, Vol. 49, no 10, pp. 1177-1187. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1475564>.
7. Heenan D.P., Campbell L.C. Manganese and iron interactions on their uptake and distribution in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). *Plant and Soil*, 1983, vol. 70, pp. 317-326.
8. Vlamis J., Williams D.E. Iron and manganese Relations in Rice and Barley. *Plant and Soil*, 1964, vol. 20, no 2, pp. 221–234. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01362634>.
9. Pahlavan-Rad M.R., Pessarakli M. Response of wheat plants to zinc, iron, and manganese applications and uptake and concentration in wheat grains. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2009, vol. 40, no. 7-8, pp. 1322-1332. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103620902761262>.

10. Becker A.G., Cross J.M., Hu X., et al. Sediments as a source of iron, manganese, cobalt and nickel to continental shelf waters (Louisiana, Gulf of Mexico). *Frontiers in Marine Science*, 2022, vol. 9, no 811953, pp. 1-13. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.811953>.
11. Mikhailova E.A., Chebotareva S.V., Sedov V.A., et al. Migration capacity and bioavailability of metals in bottom sediments of surface water bodies. *Journal of Ecological Engineering*, 2021, vol. 22, no 7, pp. 144-151. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/139199>.
12. Sun H., Zhou L., Xie S., et al. Migration and transformation mechanisms of iron and manganese during river infiltration affected by the changes in riverbed sediment thickness. *Journal of Hydrology*, 2024, vol. 631, no 129542, pp. 1-20. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.129542>.
13. Fedorov-Davydov D.A., Yakovlev E.G., Yanin A.V., et al. Distribution of Elements in Iron-Manganese Formations in Bottom Sediments of Lake Onego (NW Russia) and Small Lakes of Adjacent Territories. *Minerals*, 2020, vol. 10, no 5, pp. 440. DOI: <https://doi.org/10.3390/min10050440>.
14. Khlystov V.L., Chugunov I.V., Perminov A. A., et al. Experimental Simulation of the Influence of Temperature on the Migration of Substances from Bottom Sediments. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 2022, vol. 30, no 3, pp. 405-413. DOI: <https://doi.org/10.3846/jeelm.2022.17399>.
15. GOST 33850–2016. Pochvy'. Opređenje himicheskogo sostava metodom rentgenofluorescentnoj spektrometrii [Soils. Determination of chemical composition using X-Ray fluorescence spectrometry]. Moscow, Izdatel'stvo standartov. (National Standard of the Russian Federation, Introduced on 01.01.2017). (In Russian)
16. ST RK 2.273–2013. Metodiki vy'polneniya izmerenij rentgenospektral'ny'e. Obshhie trebovaniya [X-ray spectrometry measurement procedures. General requirements]. Astana, Komitet tehničeskogo regulirovaniya i metrologii MIR RK. (National Standard of the Republic Kazakhstan, introduced on 01.01.2013). (In Russian)
17. ST RK 2.737–2019. Gosudarstvennaya sistema obespecheniya edinstva izmerenij Respubliki Kazahstan. Metodika vy'polneniya izmerenij. Porody' gornye, rudy' i produkty' ih pererabotki. Rentgenofluorescentny'j spektrometricheskij metod opredeleniya pokazatelej sostava [State system for ensuring the uniformity of measurements of the Republic of Kazakhstan. Measurement procedure. Rocks, ores, and their processing products. X-ray fluorescence spectrometric method for determining composition indicators]. Almaty, IPK Izdatel'stvo standartov. (National Standard of the Republic of Kazakhstan, introduced on 01.01.2019). (In Russian)
18. Predel'no dopustimy'e koncentracii (PDK) himicheskikh veshhestv v pochve: gigienicheskie normativy' [Maximum permissible concentrations (MPC) of chemical substances in soil: hygienic standards.] Moscow: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor. (Hygienic Norms of the Russian Federation, introduced in 2006). (In Russian)
19. Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu tyazhyoly'h metallov v pochvah sel'skhozajstvenny'h ugodij i produkcii rasteniyevodstva [Guidelines for the determination of heavy metals in agricultural soils and crop products]. Moscow, (State Standard of the USSR, introduced in 1992). (In Russian)
20. Klark [Clarke]. Wikipedia, available at: <https://kk.wikipedia.org/wiki/Кларк>. (accessed 22 May 2025). (In Kazakh)
21. Taylor S.R. Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1964, vol. 28, no 8, pp. 1273-1285. DOI: [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(64\)90129-2](https://doi.org/10.1016/0016-7037(64)90129-2).
22. Shcherbina V.V. Klarki [Clarke values]. Moscow, Great Soviet Encyclopedia, 1969–1978, vol. 12, Kvarner – Kongur, pp. 265-266. (In Russian)
23. GOST R 8.736–2011. Gosudarstvennaya sistema obespecheniya edinstva izmerenij. Izmereniya pryamy'e mnogokratny'e. Metody' obrabotki rezul'tatov izmerenij. Osnovny'e polozheniya. [State system for ensuring the uniformity of measurements. Repeated direct measurements. Methods for processing measurement results. General provisions]. Moscow, Standartinform, (National Standard of the Russian Federation, introduced on 01.01.2012). (In Russian)
24. GOST R ISO 3534-1–2019. Statisticheskie metody'. Slovar' i uslovny'e oboznacheniya. Ch. 1. Obshhie statisticheskie terminy' i terminy', ispol'zuemy'e v teorii veroyatnostej [Statistical methods. Vocabulary and symbols. Part 1. General statistical terms and terms used in probability theory]. Moscow, Standartinform. (National Standard of the Russian Federation, idt. ISO 3534-1:2006, introduced in 2020). (In Russian)
25. Ketkina O.S. Vozmozhnosti MS Excel dlya regressionnogo analiza [MS Excel for regression analysis]. Information Portal of the Ural Federal University, available at: <http://www.study.urfu.ru>. (accessed 22 May 2025). (In Russian)
26. Novakovskij A. Vzaimodejstvie Excel i statisticheskogo paketa R dlya obrabotki danny'h v e'kologii [Interaction between Excel and the R Statistical Package for data processing in ecology]. *Vestnik Instituta Biologii Komi NC UrO RAN*, 2016, no. 3 (197), pp. 26–33. DOI: 10.31140/j.vestnikib.2016.3(197).4. (In Russian)

27. **Bekmukhambetova A.S., Salatova O. I. Monitoring himicheskogo sostava vody' i ry'bny'h resursov Verhnetobol'skogo i Karatomarskogo vodohranilishh Kostanajskoj oblasti** [Monitoring of the chemical composition of water and fish resources in the Verkhnetobol and Karatomar reservoirs of the Kostanay region]. *Vestnik Kostanajskogo gosudarstvennogo universiteta imeni A. Bajtursynova*, 2016, no. 8 (112), pp. 468-472, available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25966858>. (accessed 22 May 2025). (In Russian)

28. **Linnik P., Zhezhera V., Linnik R. Bioavailability and migration features of metals in bottom sediments–water system under the action of different environmental factors.** *Chemistry Journal of Moldova*, 2023, vol. 18, no 1, pp. 9-27. DOI: 10.19261/cjm.2023.1185.

29. **Wunder L.C., Breuer I., Willis-Poratti G., et al. Manganese Reduction and Associated Microbial Communities in Antarctic Surface Sediments.** *Frontiers in Microbiology*, 2024, vol. 15, no 1398021, pp. 1-12. DOI: 10.3389/fmicb.2024.1398021.

30. **Hossain M.M., Jahan I., Dar M.A., et al. A review of potentially toxic elements in sediment, water, and aquatic species from the river ecosystems.** *Toxics*, 2025, vol. 13, no 26, pp. 1-26. DOI: 10.3390/toxics13010026.

31. **Li Y., Wang J., Zhang Y., et al. Fe/Mn (oxyhydr)oxides reductive dissolution promoted by dissolved organic matter: Implications for trace metal mobilization at the sediment–water interface.** *Water Research*, 2024, vol. 246, no. 120800. DOI: 10.1016/j.watres.2024.120800.

32. **Nowak B., Kowalska J. Assessment of heavy metal content and identification of their sources in bottom sediments and aquatic plants.** *Minerals*, 2025, vol. 15, no. 8. DOI: 10.3390/min15010008.

Авторлар туралы мәліметтер:

Қуанышбаев Сейтбек Бекенович – география ғылымдарының докторы, Басқарма Төрағасы-Ректор, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы 110000 Қостанай қ., тел.: 87479666571, e-mail: kuanysbayev65@bk.ru.

Бугубаева Алия Узбековна* – а.ш.ғ.к., биология, экология және химия кафедрасының қауымдас-тырылған профессоры, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақ-стан Республикасы, 110000 Қостанай қ., Абай даң. 28/1, тел.: +77479666571, e-mail: alia-almaz@mail.ru.

Казбекова Карина Азаматовна – «7М01503 Химия» БББ педагогика ғылымдарының магистрі, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000 Қостанай қ., Абай даңғ. 28/1, тел.: 87054662710, e-mail: karina09081999@gmail.com.

Нурсеитова Аружан Мағауяқызы – «7М05201 Геоэкология және табиғатты пайдалануды басқару» БББ магистрантура білім алушысы, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, Қазақстан Республикасы, 110000 Қостанай қ., Абай даңғ. 28/1, тел.: 87472814967, e-mail: nurseitova.am@ksu.edu.kz.

Қуанышбаев Сейтбек Бекенович – доктор географических наук, Председатель Правления-Ректор, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000 г. Костанай, прос., Абая 28/1, тел.: 87058854684 e-mail: kuanysbayev65@bk.ru.

Бугубаева Алия Узбековна* – к.с.-х.н. ассоциированный профессор кафедры биологии, экологии и химии, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000 г. Костанай, прос., Абая 28/1, тел.: +77479666571 e-mail: alia-almaz@mail.ru.

Казбекова Карина Азаматовна – магистр педагогических наук по ОП «7М01503 Химия», НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000 г. Костанай, прос., Абая 28/1, тел.: 87054662710 e-mail: karina09081999@gmail.com.

Нурсеитова Аружан Мағауяқызы – обучающийся магистратуры ОП «7М05201 Геоэкология и управление природопользованием», НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000 г. Костанай, прос., Абая 28/1, тел.: 87472814967, e-mail: nurseitova.am@ksu.edu.kz.

Kuanysbayev Seitbek Bekenovich – Doctor of Geographical Sciences, Chairperson of the Board-President, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 28/1 Abai Ave., tel: 87058854684, e-mail: kuanysbayev65@bk.ru.

Bugubayeva Aliya Uzbekovna* – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of biology, ecology and chemistry, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 28/1 Abai Str., tel.: +77479666571, e-mail: alia-almaz@mail.ru.

Kazbekova Karina Azamatovna – Master of Pedagogical Sciences, "7M01503-Chemistry" educational program, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 28/1 Abai Ave., tel.: 87074088064, e-mail: karina09081999@gmail.com.

Nurseitova Aruzhan Magauyakyzy – Master's student, "7M05201-Geoecology and Environmental Management" educational program, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, 110000, Kostanay, 28/1 Abai Ave., tel.: 87472814967, e-mail: nurseitova.am@ksu.edu.kz.