

**Е.Х. Какимжанов, К.Т. Қырғызбай*, Л.М. Павличенко,
А.С. Бейсембинова, Е.С. Сарыбаев, Н.Е. Хамит**

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

*e-mail: kyrgyzbay.kudaibergen@gmail.com

АҚТӨБЕ ОБЛЫСЫ ТОПЫРАҒЫНЫҢ АУЫР МЕТАЛДАРМЕН ЛАСТАНУЫН ГАЗ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫНЫҢ НЕГІЗІНДЕ БАҒАЛАУ

Бұл зерттеуде картографиялық әдістерді қолдану арқылы Ақтөбе облысының аумағында топырақтың ауыр металдармен ластану деңгейі зерттелді. Зерттеу барысында топырақтағы хром (Cr), никель (Ni), мышьяк (As), молибден (Mo), кобальт (Co), мырыш (Zn), қорғасын (Pb), мыс (Cu), кадмий (Cd) және бор (B) элементтерінің кеңістіктік таралу ерекшеліктері талданды. Геоакпараттық жүйе (ГАЗ) негізінде алынған мәліметтер негізінде ақпараттық-бағалау карталары жасалды.

Зерттеудің негізгі мақсаты – аймақтағы өнеркәсіптік кәсіпорындардың топырақтың ауыр металдармен ластануына ықпалын бағалау. Осы мақсатта Дөң тау-кен байыту комбинаты, Мұғаджар ауданының тау-кен кәсіпорындары, Ақтөбе феррокорытпа зауыты, сондай-ақ облыстың мұнай-газ кен орындарына жақын аймақтарда топырақ үлгілері алынып, зертханалық талдау жүргізілді. Алынған мәліметтер кері өлшенген қашықтық (Inverse Distance Weighted – IDW) интерполяция әдісі арқылы өңделді.

Зерттеу нәтижелері аймақта ауыр металдардың жоғары концентрацияланған аумақтарын анықтауға мүмкіндік берді. Мұнай-газ өндірісі және тау-кен байыту комбинаттарының әсері байқалатын аймақтарда қорғасын (Pb), кадмий (Cd) және мырыш (Zn) элементтерінің концентрациясы жоғары екендігі анықталды. Сонымен қатар, жекелеген элементтердің кеңістіктік таралу заңдылықтарын сипаттайтын кешенді картографиялық модель әзірленді.

Алынған нәтижелер stat.gov.kz сайтындағы ресми статистикалық деректермен салыстырылып, өнеркәсіптік ластану аймақтарының ерекшеліктері талданды. Зерттеу барысында өндірістік кәсіпорындарға жақын аудандардағы ауыр металдар концентрациясының ресми мәліметтермен сәйкессіздігі байқалды, бұл аймақтық мониторинг жүйесін жетілдіру қажеттігін көрсетеді.

Түйін сөздер: ГАЗ технологиялары, геокеңістіктік талдау, топырақтың ауыр металдармен ластануы, интерполяция, спектрометрия.

Y. Kh, Kakimzhanov, K.T. Kyrgyzbay*, L.M. Pavlichenko,
A.S. Beyseminova, E.S. Sarybayev, N.Y. Khamit
Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
*e-mail: kyrgyzbay.kudaibergen@gmail.com

Assessment of soil pollution in Aktobe region by heavy metals based on GIS technologies

In this study, the level of soil contamination with heavy metals in the Aktobe region was studied using cartographic methods. The study analyzed the spatial distribution of chromium (Cr), nickel (Ni), arsenic (As), molybdenum (Mo), cobalt (Co), zinc (Zn), lead (Pb), copper (Cu), cadmium (Cd) and boron (B) in the soil. Based on the data obtained on the basis of the geographic information system (GIS), information and assessment maps have been developed.

The main purpose of the study is to assess the impact of industrial enterprises in the region on soil pollution with heavy metals. For this purpose, soil samples were taken and laboratory analysis was carried out in areas close to the Don Mining and Processing Plant, mining enterprises of the Mogajar district, Aktobe Ferroalloy Plant, as well as oil and gas fields in the region. The data obtained was processed using the Inverse Distance Weighted (IDW) interpolation method.

The results of the study revealed highly concentrated areas of heavy metals in the region. It has been established that in regions where the influence of oil and gas producing and mining plants is observed, there are high concentrations of the elements lead (Pb), cadmium (Cd) and zinc (Zn). In addition, a comprehensive cartographic model has been developed that describes the patterns of spatial distribution of individual elements.

The results obtained stat.gov.kz They were compared with official statistical data, and the features of industrial pollution zones were analyzed. During the study, there was a discrepancy between the concentrations of heavy metals in areas close to production facilities and official data, which indicates the need to improve the regional monitoring system.

Key words: GIS technologies, geospatial analysis, soil contamination with heavy metals, interpolation, spectrometry.

Е.Х. Какимжанов, Қ.Т. Қырғызбай*, А.М. Павличенко,
А.С. Бейсембинова, Е.С. Сарыбаев, Н.Е. Хамит

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан
*e-mail: kyrgyzbay.kudaibergen@gmail.com

Оценка загрязнения почв Актюбинской области тяжелыми металлами на основе ГИС-технологий

В данном исследовании изучен уровень загрязнения почв тяжелыми металлами на территории Актюбинской области с использованием картографических методов. В ходе исследования были проанализированы особенности пространственного распределения элементов хрома (Cr), никеля (Ni), мышьяка (As), молибдена (Mo), кобальта (Co), цинка (Zn), свинца (Pb), меди (Cu), кадмия (Cd) и бора (B) в почве. На основе данных, полученных на основе геоинформационной системы (ГИС), разработаны информационно-оценочные карты.

Основная цель исследования – оценить влияние промышленных предприятий региона на загрязнение почвы тяжелыми металлами. С этой целью были взяты образцы почв и проведен лабораторный анализ в районах, близких к Донскому горно-обогатительному комбинату, горным предприятиям Могаджарского района, Актюбинскому ферросплавному заводу, а также нефтегазовым месторождениям области. Полученные данные обрабатывались методом интерполяции обратного измеренного расстояния (Inverse Distance Weighted – IDW).

Результаты исследования позволили выявить высококонцентрированные области тяжелых металлов в регионе. Установлено, что в регионах, где наблюдается влияние нефтегазодобывающих и горно-обогатительных комбинатов, высокие концентрации элементов свинца (Pb), кадмия (Cd) и цинка (Zn). Кроме того, разработана комплексная картографическая модель, описывающая закономерности пространственного распределения отдельных элементов.

Полученные результаты stat.gov.kz сравнивались с официальными статистическими данными, анализировались особенности зон промышленного загрязнения. В ходе исследования наблюдалось несоответствие концентраций тяжелых металлов в районах, близких к производственным предприятиям, официальным данным, что свидетельствует о необходимости совершенствования региональной системы мониторинга.

Ключевые слова: ГИС-технологии, геопространственный анализ, загрязнение почвы тяжелыми металлами, интерполяция, спектрометрия.

Кіріспе

Қазақстанның батыс өңірлеріндегі, әсіресе Ақтөбе облысындағы қарқынды өнеркәсіптік қызмет қоршаған ортаға айтарлықтай әсер етуде. Бұл өңір мұнай, түсті және полиметалл кендерін өндірудің маңызды орталығы болып табылады. Өнеркәсіптің жедел дамуы нәтижесінде соңғы бірнеше онжылдықта экологиялық жағдай күрделеніп, оның ішінде топырақтың ауыр металдармен және көмірсутектермен ластануы өзекті мәселеге айналды.

Өңірдегі негізгі экологиялық жүктеме мұнай-газ және тау-кен өндіру салаларымен байланысты. Ақтөбе облысында көмірсутек шикізатының ірі кен орындары, соның ішінде Жаңажол, Кеңияқ және Кеңияқ-Оңтүстік кен орындары шоғырланған. Сонымен қатар, Мұғаджар аудан

ындағы тау-кен байыту комбинаттары және Дөң тау-кен байыту комбинаты түсті және полиметалл кендерін өндіру және өңдеу жұмыстарын жүргізуде. Бұл кәсіпорындар қоршаған ортаға айтарлықтай антропогендік жүктеме түсіріп, ауыр металдардың топыраққа жиналуына ықпал етеді (Korabayev et al., 2024: 5).

Аталған өнеркәсіптік кешендердің қызметі топырақ қабаттарында қорғасын (Pb), кадмий (Cd), мырыш (Zn), мыс (Cu), никель (Ni) және мышьяк (As) сияқты ауыр металдардың жиналуына себепші болады (Mirzaee et al., 2016; Wang et al., 2021; Zhou et al., 2021; Song et al., 2022). Бұл элементтердің табиғи ыдырауы баяу жүретіндіктен, олар қоршаған ортада ұзақ уақыт сақталып, экожүйелердің тепе-теңдігін бұзады. Өндірістік ластаушы заттар топыраққа негізінен атмосфералық жауын-шашын арқылы, сондай-

-ақ өндіріс қалдықтары мен ағынды сулардың жерге сіңуі нәтижесінде түседі (Gao et al., 2018; Costa-Böddeker et al., Zhou et al., 2020). Топыраққа енген ауыр металдар әртүрлі физикалық, химиялық және биологиялық процестердің әсерінен көші-конға ұшырап, өсімдіктер мен су көздеріне өтуі мүмкін. Бұл құбылыс экожүйелерге және халықтың денсаулығына кері әсер етеді.

Әсіресе жоғары уыттылығы бар мышьяк пен кадмий тірі организмдер үшін үлкен қауіп төндіреді. Бұл элементтер топырақта жиналып, өсімдіктер мен жануарлардың ағзасына еніп, олардың репродуктивті қабілетін төмендетіп, биологиялық процестердің бұзылуына алып келеді (Moghimi Dehkordi et al., 2024; Pelta and Ben-Dor, 2019; Khosravi et al., Song et al., 2022). Сонымен қатар, ауыр металдар микроағзалардың ферментативті белсенділігін тежеп, органикалық заттардың ыдырау процесін баяулатады. Бұл құбылыс топырақтың құнарлылығын төмендетіп, агроөнеркәсіптік салаларға да кері әсерін тигізеді.

Топырақтың ластану механизмдерінің бірі – ауыр металдар мен көмірсутектердің топырақ бөлшектерінің бетіне адсорбциялануы. Бұл процесс олардың топырақ арқылы қозғалысын тежеп, ұзақ уақыт бойы топырақтың жоғарғы қабаттарында сақталуына ықпал етеді. Сонымен қатар, көмірсутектер мен ауыр металдар органикалық заттармен тұрақты кешендер түзіп, олардың табиғи ыдырауын баяулатады (Yaseen, 2021; Wang et al., 2021; Tan et al., 2021; Song et al., 2022). Мұнай-газ өндірісі аймақтарында бұл процесс ластанушы заттардың топырақ қабаттарында жинақталуына және кейіннен жер асты суларына таралуына себеп болады.

Ақтөбе облысындағы өнеркәсіптік қызметтің нәтижесінде жер асты суларының ауыр металдармен ластану қаупі жоғарылап, халықтың тұрмыстық қажеттіліктеріне және ауыл шаруашылығына пайдаланылатын су ресурстарына тікелей әсер етуде (Khosravi et al., Song et al., 2022). ҚР Стратегиялық жоспарлау және реформалар агенттігінің Ұлттық статистика бюросының деректері бойынша, 2023 жылы Ақтөбе облысында қалалық жерлердегі ағынды суларды тазарту деңгейі 92,8%-ды құраса, ауылдық жерлерде бұл көрсеткіш 0%-ға тең болған (stat.gov.kz). Бұл деректер өңірдің экологиялық инфрақұрылымындағы теңсіздікті көрсетіп, өнеркәсіптік

ластанудың ауылдық жерлердегі қоршаған ортаға және халық денсаулығына ықпалын зерттеудің өзектілігін дәлелдейді.

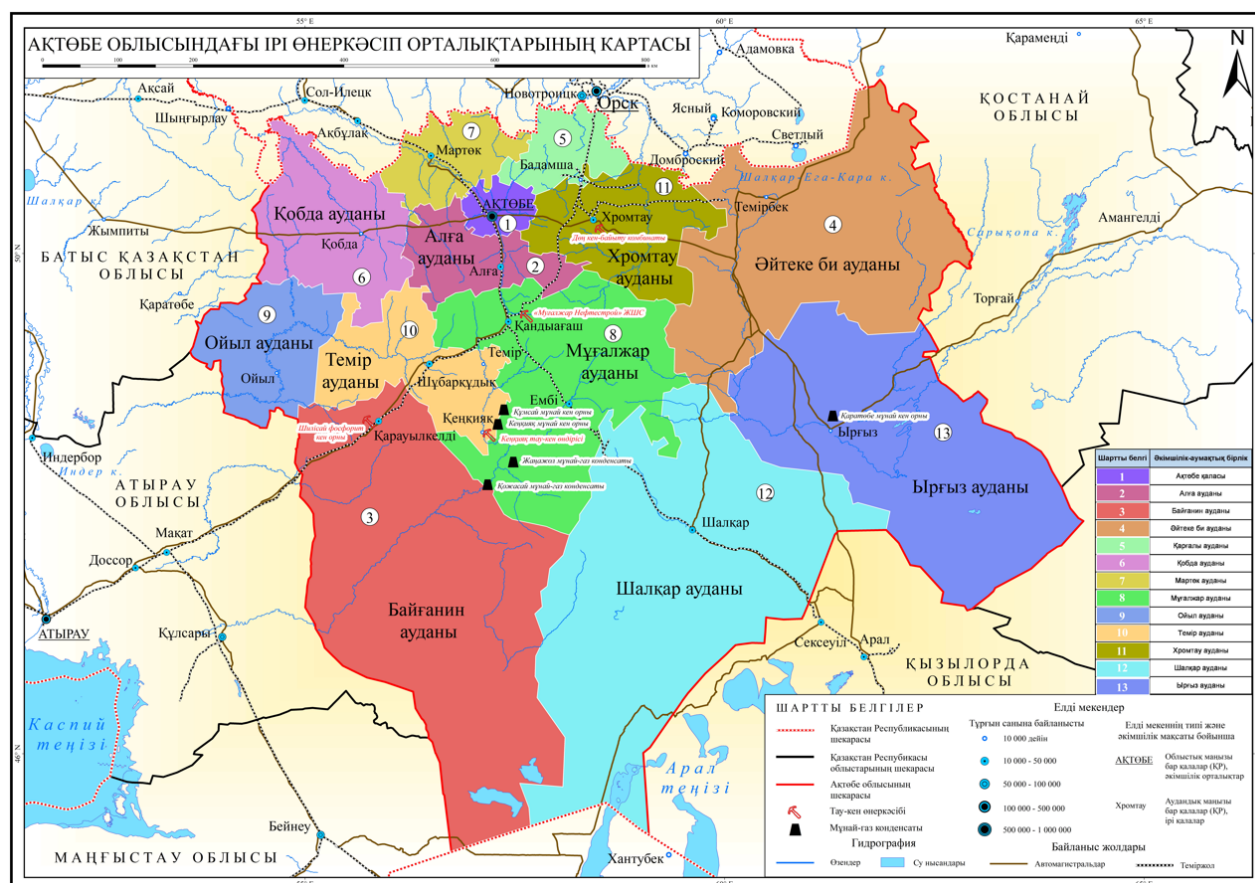
Осы зерттеудің мақсаты – Ақтөбе облысының өнеркәсіптік аймақтарындағы топырақтың ауыр металдармен ластануын бағалау және оның кеңістіктік таралу заңдылықтарын анықтау (Meng et al., 2023; Шайхудинов және басқалары, 2020; Бойко және басқалары, 2023). Бұл мақсатты іске асыру үшін далалық және зертханалық зерттеулер жүргізіліп, ГАЖ технологияларын қолдану арқылы ластанудың картографиялық бағалауы жүзеге асырылды. Сонымен қатар, алынған нәтижелер ресми статистикалық деректермен салыстырылып, өнеркәсіптік әсердің экологиялық жағдайға ықпал ету деңгейі талданды.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Ақтөбе облысы ландшафттық әртүрлілігімен ерекшеленеді және дала, шөлейт, сондай-ақ шөлді экожүйелерді қамтиды. Өңір Қазақстан экономикасында маңызды рөл атқарып, мұнай, газ және кен ресурстарына бай аймақтардың бірі болып табылады (Комитет по экологии Республики Казахстан, 2022). Географиялық орналасуы бойынша Ақтөбе облысы солтүстігінде Ресей Федерациясымен, шығысында Қостанай және Ұлытау облыстарымен, оңтүстік-шығысында Қызылорда облысымен, оңтүстігінде Өзбекстан Республикасымен, батысында Батыс Қазақстан, Атырау және Маңғыстау облыстарымен шектеседі (1-сурет).

Климаттық жағдайы континенталды сипатқа ие: жаз айларында (маусым-тамыз) температура +25°C-тан +40°C-қа дейін жетсе, қысқы кезеңде (қаңтар) орташа температура -5°C-тан -20°C-қа дейін төмендейді. Жылдық жауын-шашын мөлшері 150-ден 300 мм-ге дейін өзгереді, бұл аймақтың басым бөлігін құрғақ және жартылай құрғақ өңірлер қатарына жатқызуға негіз болады (Қазгидромет, 2025).

Облыстың физика-географиялық ерекшеліктерінің бірі – Мұғалжар таулары, олар Орал тауларының оңтүстік жалғасы болып табылады және олардың ең биік нүктесі Үлкен Бөктібай тауы (657 м) болып саналады. Өңірдегі тау-кен өнеркәсібінің дамуы осы геоморфологиялық құрылымдармен тікелей байланысты (Атлас Казахстана, 2018).



1-сурет – Ақтөбе облысындағы өнеркәсіп орталықтарының орналасуы

Зерттеу нысандары ретінде Ақтөбе облысының ірі өнеркәсіптік кәсіпорындары мен өндіріс ошақтары таңдалды (1-сурет), атап айтқанда:

- 1) Тау-кен байыту комбинаттары:
 - Дөң тау-кен байыту комбинаты (Хромтау ауданы);
 - «Мұғалжар Нефтестрой» ЖШС (Мұғалжар ауданы);
 - Кеңқияқ тау-кен өндірісі (Темір ауданы);
 - Шилісай фосфорит кен орны (Байғанин ауданы);
- 2) Мұнай-газ кен орындары:
 - Жаңажол (Темір ауданы);
 - Кеңқияқ-Оңтүстік (Темір ауданы);
 - Кеңқияқ-Солтүстік (Темір ауданы);
 - Қожасай (Байғанин ауданы);
 - Қаратөбе (Биргыз ауданы);
 - Құмсай (Мұғалжар ауданы).

Бұл кәсіпорындар мен кен орындары өнеркәсіптік ластанудың негізгі көздері ретінде қарастырылып, топырақтың ауыр металдармен ластану деңгейін бағалау үшін зерттелді.

Зерттеу барысында топырақ үлгілері санитарлық-қорғау аймақтарының (СҚА) әртүрлі нүктелерінен алынып, олардың ауыр металдармен ластану деңгейі зерттелді. Далалық сынамалар Ақтөбе қаласы маңындағы өнеркәсіптік аймақтардан, сондай-ақ Дөң тау-кен байыту комбинаты (2-сурет), Мұғалжар тау-кен өндірісі және мұнай-газ кен орындары орналасқан аймақтардан жиналды.

Ауыр металдардың (Cr, Ni, As, Mo, Co, Zn, Pb, Cu, Cd, V) концентрациясын анықтау үшін спектрофотометрия әдісі қолданылды. Бұл әдіс төмен концентрациядағы элементтердің құрамын дәл анықтауға мүмкіндік береді және топырақ ластануын зерттеуде кеңінен қолданылады (Enuneku et al., 2021; Bhardwaj et al., 2017; Likuku et al., 2013; Massadeh et al., 2024).

Зерттеу барысында алынған мәліметтер ГАЗ ортасына енгізіліп, кеңістіктік талдау және картаға түсіру үшін қолданылды. Топырақтағы ауыр металдардың таралуын визуализациялау

және ластану аймақтарын анықтау үшін бірнеше интерполяция әдістері пайдаланылды:

IDW (Inverse Distance Weighted) – Кері өлшенген қашықтық әдісі: Бұл әдіс белгілі бір нүктенің мәнін оның айналасындағы өлшенген нүктелердің мәндеріне негізделі отырып бағалайды. IDW әдісінің негізгі ерекшелігі – қашықтық ұлғайған сайын нүктенің мәніне әсерінің азаюы. Бұл әдіс геостатистикалық тәсілдерге қарағанда қарапайым және жылдам есептеу мүмкіндігін береді (George et al., 2008; Shepard, 1968; Berndt and Haberlandt, 2018). Ресми түрде IDW әдісі тандалған S_i орындарындағы бақыланатын y мәндерін ескере отырып, S_0 орнында белгісіз y (S_0) мәнін бағалау үшін қолданылады:

$$\hat{y}(S_0) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{d_{oi}^{-\alpha}}{\sum_{i=1}^n d_{oi}^{-\alpha}} y(S_i)}$$

Тендеуде көрсеткіш α дәрежесі бар S_0 мен S_i арасындағы қашықтыққа (d_{oi}) кері, ал бөлгіш барлық i орындар үшін барлық кері қашықтық салмақтарының қосындысы болып, осылайша іріктелмеген нүкте үшін барлық i қосындысы бірлікке тең болады (George et al., 2008; Shepard, 1968).

Кригинг әдісі. Кригинг кеңістіктік өзгергіштікті есепке ала отырып, белгісіз нүктелердің мәндерін болжауға мүмкіндік береді. Бұл әдіс IDW-ге қарағанда анағұрлым күрделі, өйткені ол кеңістіктік автокорреляцияны ескереді және болжамның дәлдігін арттырады (Oliver and Webster, 1990; Terpanosyan et al., 2017; Wang et al., 2008).

Сплайн интерполяциясы. Бұл әдіс топырақтағы ауыр металдардың таралуын тегіс бетке келтіру үшін қолданылады. Сплайн әдісі шектес нүктелер арасындағы өзгерістерді тегістеп, ластану карталарын жоғары дәлдікпен визуализациялауға мүмкіндік береді (Léandre et al., 2022).

Геостатистикалық әдістер. Зиянды заттардың концентрациясы жоғары «ыстық нүктелерді» (hotspots) анықтау үшін геостатистикалық талдау қолданылды. Бұл әдіс ластанудың кеңістіктік заңдылықтарын анықтауға және экологиялық мониторинг үшін мақсатты бақылау стратегиясын әзірлеуге көмектеседі.

ArcGIS 10.6 бағдарламалық жасақтамасы кеңістіктік талдау жүргізу және ластану карталарын құрастыру үшін пайдаланылды. Бұл бағ-

дарлама алынған деректерді өңдеп, кеңістіктік интерполяция әдістерін қолдану арқылы топырақ ластануының карталарын жасауға мүмкіндік береді (Léandre et al., 2022; Kuznetsov et al., 2007; Kuznetsov and Fedorov, 2015).

Зерттеу нәтижелері ҚР Ұлттық статистика бюросының (stat.gov.kz) экологиялық көрсеткіштерімен салыстырылды. Ақтөбе облысының экологиялық жағдайына байланысты негізгі статистикалық деректер:

Ағынды суларды тазарту деңгейі: 2023 жылы қалалық жерлерде 92,8%, ауылдық жерлерде 0% (stat.gov.kz). Бұл деректер ауылдық аймақтардағы өндірістік ластанудың бақылаусыз таралу қаупін көрсетеді.

Өнеркәсіптік шығарындылар: 2022 жылы Ақтөбе облысында атмосфераға таралған зиянды заттардың жалпы көлемі 120,3 мың тоннаға жеткен.

Топырақтың ауыр металдармен ластану деңгейі: Ресми деректер бойынша кейбір аудандарда қорғасын мен кадмий концентрациясы рұқсат етілген шекті мөлшерден 3-5 есе асып түскен.

Зерттеу барысында алынған мәліметтер экологиялық мониторингті жақсарту қажеттігін көрсетеді. Сонымен қатар, ГАЖ технологияларын қолдану арқылы кеңістіктік талдау жүргізу ластанудың нақты ошақтарын анықтауға мүмкіндік берді (Kakimzhanov et al., 2024; Kakimzhanov et al., 2025).

Зерттеу әдістері Ақтөбе облысының өнеркәсіптік ластануының кеңістіктік құрылымын бағалауға мүмкіндік берді. ГАЖ технологияларын қолдану, оның ішінде IDW, кригинг және сплайн әдістері арқылы алынған мәліметтер экологиялық жағдайды объективті түрде бағалап, ауыр металдардың таралу заңдылықтарын анықтауға ықпал етті.

Зерттеу нәтижелері және талқылау

Зерттеу барысында топырақ сынамалары ГОСТ 17.4.4.02-2017 «Табиғатты қорғау. Топырақ. Химиялық, бактериологиялық, гельминтологиялық талдау үшін сынамаларды іріктеу және дайындау әдістері» талаптарына сәйкес алынды (https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=33190761). Далалық зерттеу жұмыстарында Spectra Geospatial SP85 GNSS қабылдағышы қолданылып, сынама алу нүктелерінің координаттары дәл белгіленді (2-сурет).



2-сурет – Дөң КБК және Ақтөбе ферроқорытпа зауыты санитарлық-қорғау аймақтарының аумағындағы топырақты далалық зерттеу (Kakimzhanov et al., 2024; Kakimzhanov et al., 2025)

Зерттеу объектілері ретінде Ақтөбе облысының он екі ауданы және Ақтөбе қаласы аумағындағы тау-кен байыту комбинаттары мен мұнай-газ кен орындары таңдалды.

Барлығы 27 сынама алынып, олардың ауыр металдармен ластану деңгейі зерттелді.

Хромтау ауданы. Дөң КБК және тау-кен өндірісі аймағынан алынған топырақ сынамалары ауыр металдардың жоғары концентрациясын көрсетті. Үлгілер 100 м, 250 м, 500 м, 1000 м және 5000 м қашықтықта, сондай-ақ Хромтау қаласының Кеншілер аллеясы мен Орталық саябақ аумағынан алынды (3-сурет).

Номер образца	Наименование образца	Показатели элементов в почве, в мг/кг													
		Никель	Молибден	Кобальт	Хром	Мышьяк	Подвижный цинк	Подвижная медь	Подвижный кадмий	Подвижный свинец	Подвижный бор	Валовый цинк	Валовая медь	Валовый кадмий	Валовый свинец
1	Разрез №1 (0-8 см)	19	124	7	1550	16	0,9	0,7	0,5	0,9	0,22	91,2	22,8	1,2	5,6
6	100 м на юго-восток от Разреза №1	739	5	56	2434	12	0,6	0,4	1,5	1,1	0	87,2	28,4	0,8	7,2
7	250 м на юго-восток от Разреза №1	2225	0	134	3307	9	0,5	0,2	0,9	1,4	0,14	146	26,4	3,6	6
8	500 м на юго-восток от Разреза №1	487	11	0	2849	13	0,5	0,1	1,1	1,5	0,01	72,4	21,2	3,2	3,6
9	Подтопия отвала	1971	10	176	1416	6	1,4	1	0,1	0,7	0,07	60,8	18,8	3,6	2,4
10	100 м на северо-запад от отвала	1718	13	165	1479	0	1,1	0,7	0,6	0,7	0,13	68,8	15,2	1,2	3,6
11	250 м на северо-запад от отвала	1738	12	132	1171	0	0,3	0,6	0,6	0,6	0,11	64	17,2	2,4	2
12	500 м на северо-запад от отвала	52	8	17	180	0	1,7	0,5	0,8	1,1	0,15	65,2	17,6	2	5,6
13	1000 м на северо-запад от отвала	321	6	66	2205	11	0,6	0,3	0,8	0,7	0,08	74,4	16,4	2,4	3,6
15	Центральный парк города Хромтау	71	0	0	485	14	7,3	0,4	1,3	1,8	0,22	72,8	20,4	4,8	9,2
16	Аллея горняков, город Хромтау	563	10	51	3708	11	1,2	0,5	0,9	1,7	0,1	87,6	26,8	2	4,8
17	Граница города Хромтау	537	13	0	7335	10	5	0,6	1,1	1,3	0,38	99,2	21,6	3,6	5,6
18	5000 м на северо-запад от территории	714	4	0	2524	12	0,2	0,5	0,9	0,6	0,17	66,4	18,4	1,6	5,2

3-сурет – Дөң КБК СҚА аумағындағы топырақ үлгілерін зертханалық зерттеу нәтижелері, Хромтау қаласы (Kakimzhanov et al., 2024; Kakimzhanov et al., 2025)

Зерттеу нәтижелері бойынша:

1. Никель (ШРК – 85 мг/кг) №7, 9, 10, 11 үлгілерінде нормадан 2-3 есе асып түскен.
2. Молибден (ШРК – 0,07 мг/кг) №1, 10, 16 үлгілерінде салыстырмалы түрде жоғары.
3. Кобальт (ШРК – 50 мг/кг) №7, 9, 10, 11 үлгілерінде аса жоғары.
4. Хром (ШРК – 100 мг/кг) барлық үлгілерде нормадан жоғары, №17 үлгіде ең жоғары (7335 мг/кг).
5. Мышьяк (ШРК – 2 мг/кг) №1, 6, 8, 13, 15, 18 үлгілерінде салыстырмалы түрде жоғары.
6. Жалпы мырыш, жалпы мыс, жалпы кадмий барлық үлгілерде нормадан асады.

Ақтөбе қаласы. Ақтөбе ферроқорытпа зауыты және қаланың өнеркәсіптік аймағының шекарасында жүргізілген зерттеулер барысында СҚА аумағы және қала орталығындағы саябақтарда (4-сурет) топырақ құрамындағы ауыр металдардың шекті нормадан жоғары екендігі анықталды.

1. Никель (ШРК – 85 мг/кг) №23, 26 үлгілерінде нормадан жоғары.
2. Молибден, хром, мышьяк №34 үлгісінен басқа барлық сынамаларда шекті мөлшерден асады.
3. Жалпы мырыш, жалпы мыс, жалпы кадмий барлық үлгілерде жоғары.

Номер образца	Наименования образца	Показатели элементов в почве, в мг/кг												
		Никель	Молибден	Хром	Мышьяк	Подвижной цинк	Подвижная медь	Подвижной кадмий	Подвижной свинец	Подвижной бор	Валовый цинк	Валовая медь	Валовый кадмий	Валовый свинец
23	Разрез-3	114	12	25165	4	1.4	0.6	0.3	0.3	0.06	55.6	22	0.4	4.4
26	100 м на запад от С33	110	17	16863	11	5.1	1.4	1.6	1.2	0.28	94.4	21.6	3.2	7.2
27	250 м на запад от С33	49	19	14197	14	6.6	1.1	1.6	1.3	0.21	150.8	21.2	5.2	7.2
28	500 м на запад от С33	68	20	2851	9	3.2	0.6	0.9	0.5	0.21	94.4	23.6	3.2	4.8
29	1000 м на запад от С33	76	11	3238	5	1.6	0.6	0.8	0.2	0.15	84.8	21.6	2.4	4.4
30	100 м на север от С33	84	11	10655	10	4	1.2	1.5	0.6	0.13	83.2	19.6	4	3.6
31	250 м на север от С33	80	5	9231	15	4.9	1.2	1.5	0.8	0.12	132	19.2	1.6	4
32	500 м на север от С33	83	9	8029	4	4.4	0.8	1	0.4	0.03	90.4	18.4	2.4	5.6
34	Ақтөбе Централдың парк. 8000 м	0	0	0	0	3.7	0.7	0.9	0.4	0.42	102	23.2	1.2	4

4 -сурет – Ақтөбе ферракорытпа зауыты СҚА аумағындағы топырақ үлгілерін зертханалық зерттеу нәтижелерін салыстыру (Kakimzhanov et al., 2024; Kakimzhanov et al., 2025)

Ауыр металдардың концентрациясын анықтау үшін Іріктелген сынамалар «Экосервис-С» ЖШС және Ө.О. Оспанов атындағы Қазақ топырақтану және агрохимия ғылыми-зерттеу институтының сертификатталған зертханаларына жіберілді. «Экосервис-С» ЖШС зертханасында келесі құралдар, атап айтқанда Specord 210 PLUS, И-160 зертханалық типті Ионметр, FLAPHO-4 типті жалын фотометрі, Ag 2140 электронды таразы, scoutsp202f электронды таразы. Ө.О. Оспанов атындағы Қазақ топырақтану және агрохимия ҒЗИ арнайы зертханасында портативті XRF анализаторы рентген-флуоресцентті спектрометрия негізінде жұмыс істейді. Ауыр металдардың құрамы көрсеткіштерінің нәтижелері мг/кг өлшем бірлігімен 3-4-суреттерде көрсетілген.

Хромтау қаласының аумағында (3-сурет) ауыр металдардың ең көп концентрациясы келесі іріктеу орындарына тән:

- никельдің көрсеткіштері (ШРК – 85 мг/кг) №1, 12, 15 үлгілерден басқа барлық іріктеу нүктелерінде нормадан асып түседі, ал ең жоғары көрсеткіштер №7, 9, 10, 11 үлгілерде тіркелген;

- Молибден көрсеткіштері (ШРК-0,07 мг/кг) №1, 10, 16 үлгілерде салыстырмады шамадан жоғары;

- №7, 9, 10, 11 үлгілерде кобальт көрсеткіштері (ШРК-50 мг/кг) жоғары;

- хром көрсеткіштері (ШРК-100 мг/кг) барлық іріктеу орындарында жоғары, бірақ № 17 үлгідегі ең жоғары көрсеткіш (7335 мг/кг) тіркелген;

- үлгілерде мышьяк көрсеткіштері (ШРК – 2 мг/кг) салыстырмалы түрде жоғарылаған №1, 6, 8, 13, 15, 18;

- жылжымалы мырыш (ШРК – 23 мг/кг), жылжымалы мыс (ШРК – 3 мг/кг), жылжымалы қорғасын (ШРК – 6 мг/кг), жылжымалы бор (ШРК – 30 мг/кг) көрсеткіштері нормадан аспайды;

- жылжымалы кадмий көрсеткіштері (ШРК – 0,5 мг/кг) №6, 8, 15, 17 үлгілерде неғұрлым жоғары;

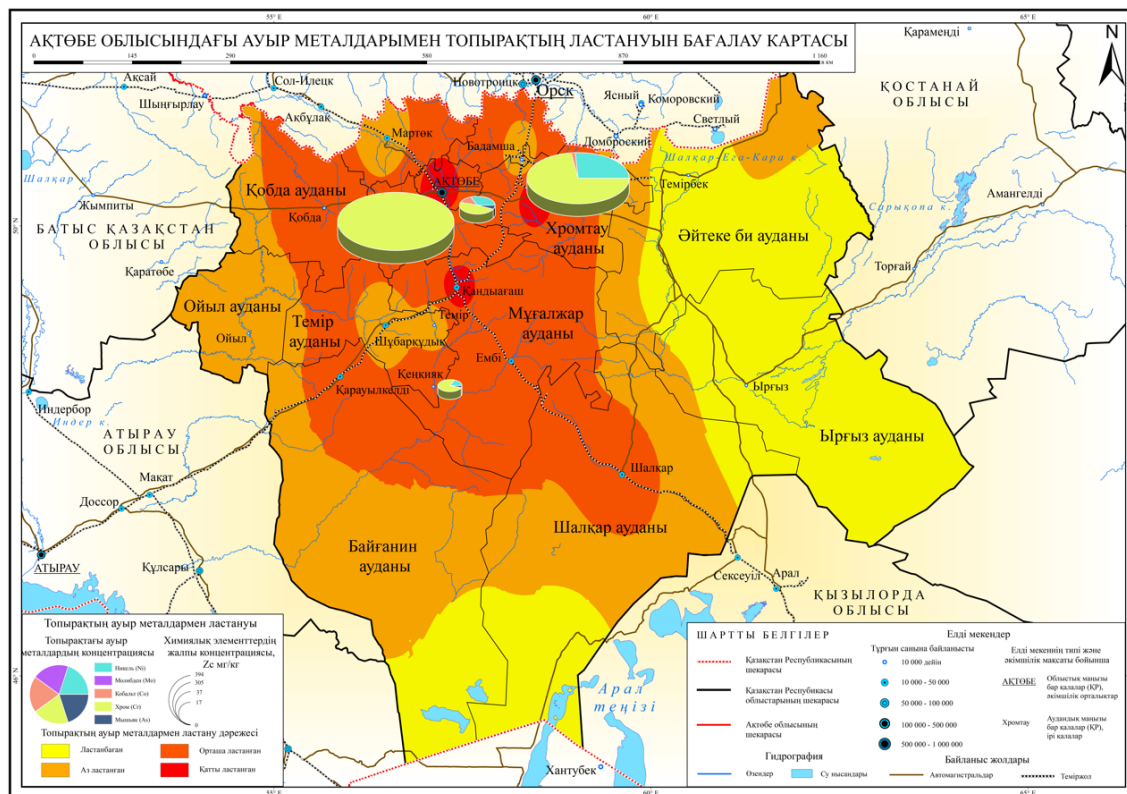
- жалпы мырыш көрсеткіштері (ШРК-100 мг/кг) №7 үлгіде жоғарылаған;

- барлық үлгілерде жалпы мыс (ШРК – 3 мг/кг) және жалпы кадмий (ШРК – 0,5 мг/кг) көрсеткіштері жоғарылайды;

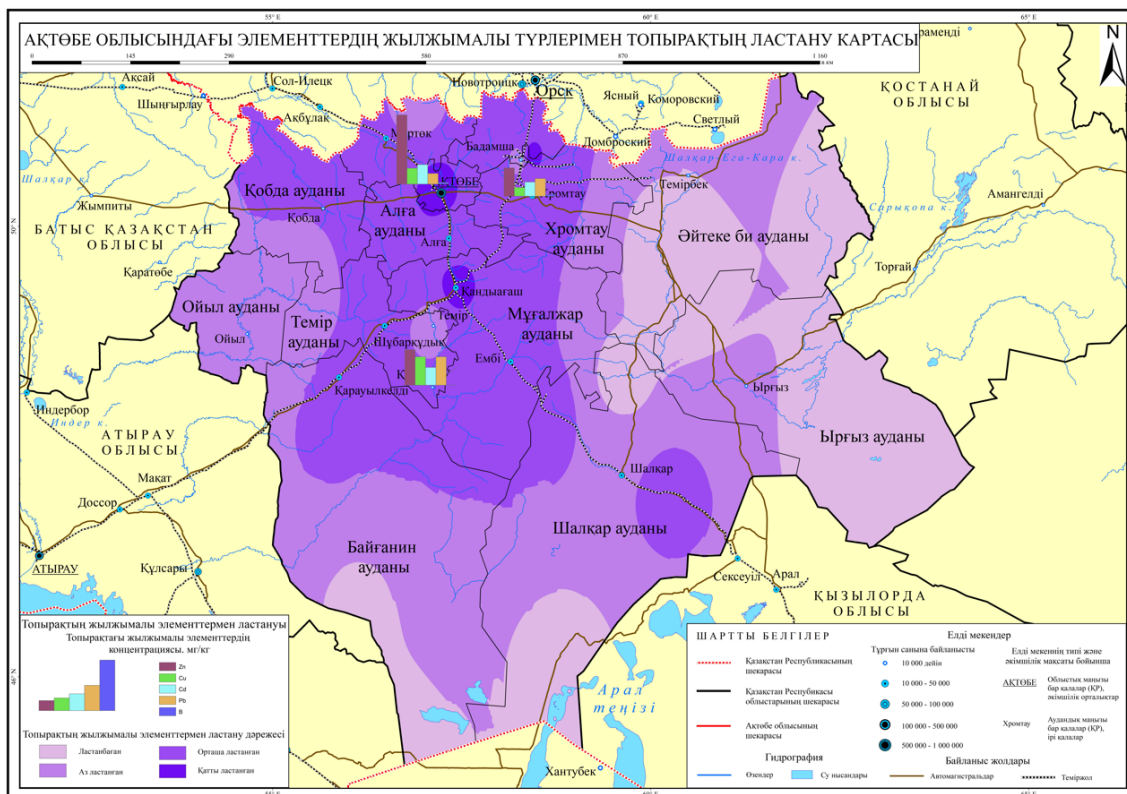
- жалпы қорғасынның көрсеткіштері (ШРК – 32 мг/кг) нормадан аспайды.

Төменде топырақтағы ауыр металдардың жоғары көрсеткіштері бар аймақтардың сипаттамасы келтірілген. Хромтау қаласының аумағында интерполяция нәтижелері бойынша топырақтағы никельдің мөлшері 614,1-ден 2213,1 мг/кг-ға дейін жоғарылағаны модель нәтижесінде анықталды. Молибден концентрациясы топырақ кесіндісі ауданында оңтүстік-шығыс бағытта нормадан (12,9 – 122,2 мг/кг) асады. 57,1-175,6 мг/кг шегінде кобальттың ең көп мөлшері зерттелетін аймақтың орталық және шығыс бөлігінде кең таралған, оған қаланың орталық бөлігі мен үйінді орны кіреді. Топырақтағы хром мөлшері рұқсат етілген нормадан асқандығы анықталды, алайда ең жоғары көрсеткіш 4752,7-ден 7333,6 мг/кг-ға дейін қаланың оңтүстік-шығыс шекарасын қамтиды. Мышьяк көрсеткіштері барлық дәрежеде рұқсат етілген нормалардан жоғары, бірақ үйінділер аумағында 4,5 мг/кг-нан төмен (5, 6, 7-суреттер).

Жылжымалы кадмий көрсеткіштері қаланың батыс бөлігінен басқа бүкіл аумақта жоғары. Ең жоғары көрсеткіш (1,0-1,4 мг/кг) қаланың шығыс және орталық бөліктерінде анықталды. Жалпы мырыш мөлшері 100 мг/кг-нан жоғары аймақтар зерттелетін аумақтың шығыс бөлігінде орналасқан. Жалпы Мыстың көрсеткіштері 15,2 мг/кг-нан жоғары және жалпы кадмийдің көрсеткіштері 2,0 мг/кг-нан асады.



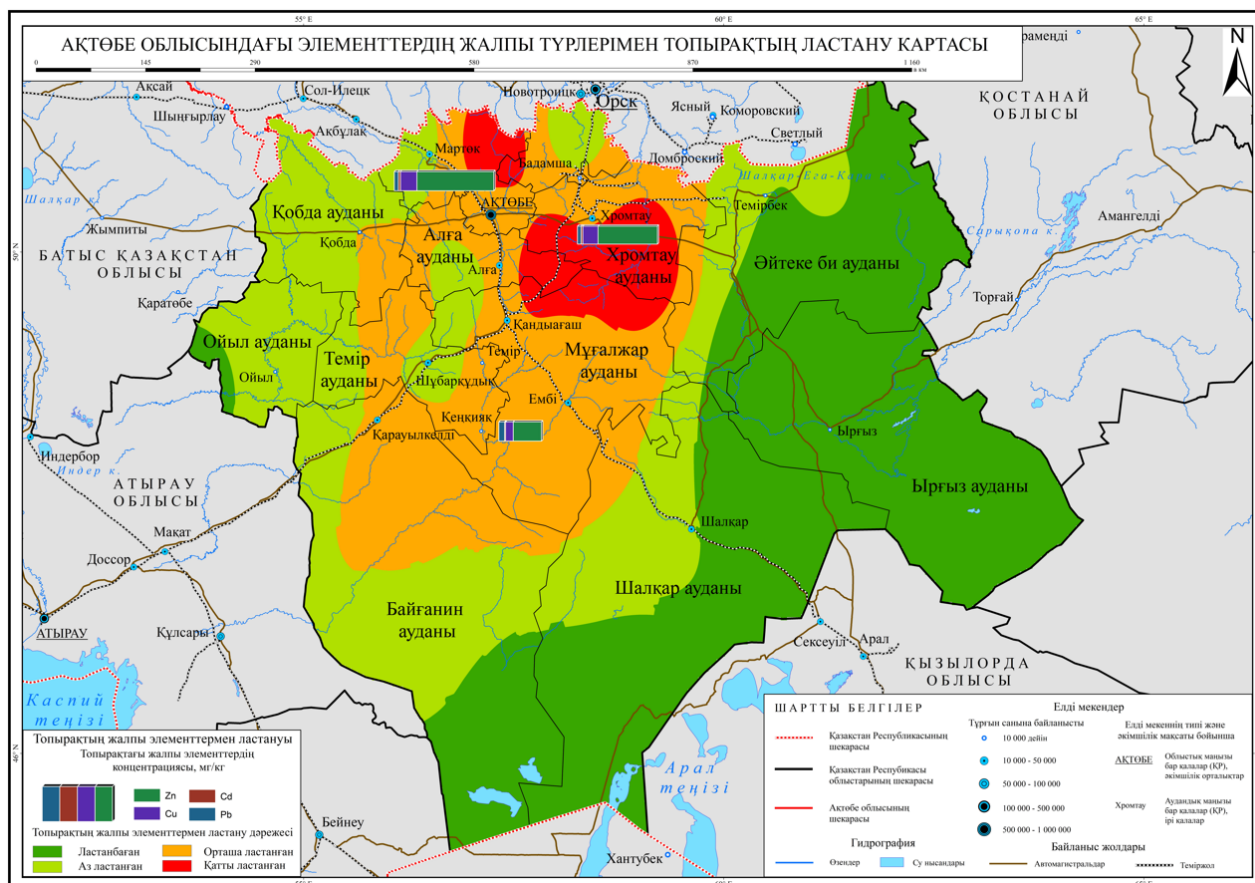
5-сурет – Ақтөбе облысындағы ауыр металдармен топырақтың ластануын бағалау картасы



6-сурет – Ақтөбе облысындағы элементтердің жылжымалы түрлерімен топырақтың ластану картасы

Ақтөбе қаласының аумағында рұқсат етілген шекті концентрациядан асатын элементтерге никель, молибден, хром, мышьяк, кадмий, жалпы мырыш, жалпы мыс және жалпы кадмий жатады (6-сурет). Зерттелетін аумақтың солтүстік-шығыс және оңтүстік бөліктерінде топырақтағы никель көрсеткіштері жоғарылайды (83,8 мг/кг-нан

жоғары). Молибден (5,0 – 19,9 мг/кг), хром (290,7 – 24 402,1 мг/кг), мышьяк (4,3-14,9 мг/кг), жалпы мыс (18,4 – 23,5 мг/кг), Жалпы кадмий (0,5 – 5,1 мг/кг) және жалпы мырыш (57,8-149,6 мг/кг) топырақта бүкіл ауқымда жоғары сипатқа ие (Kakimzhanov et al., 2024; Kakimzhanov et al., 2025).



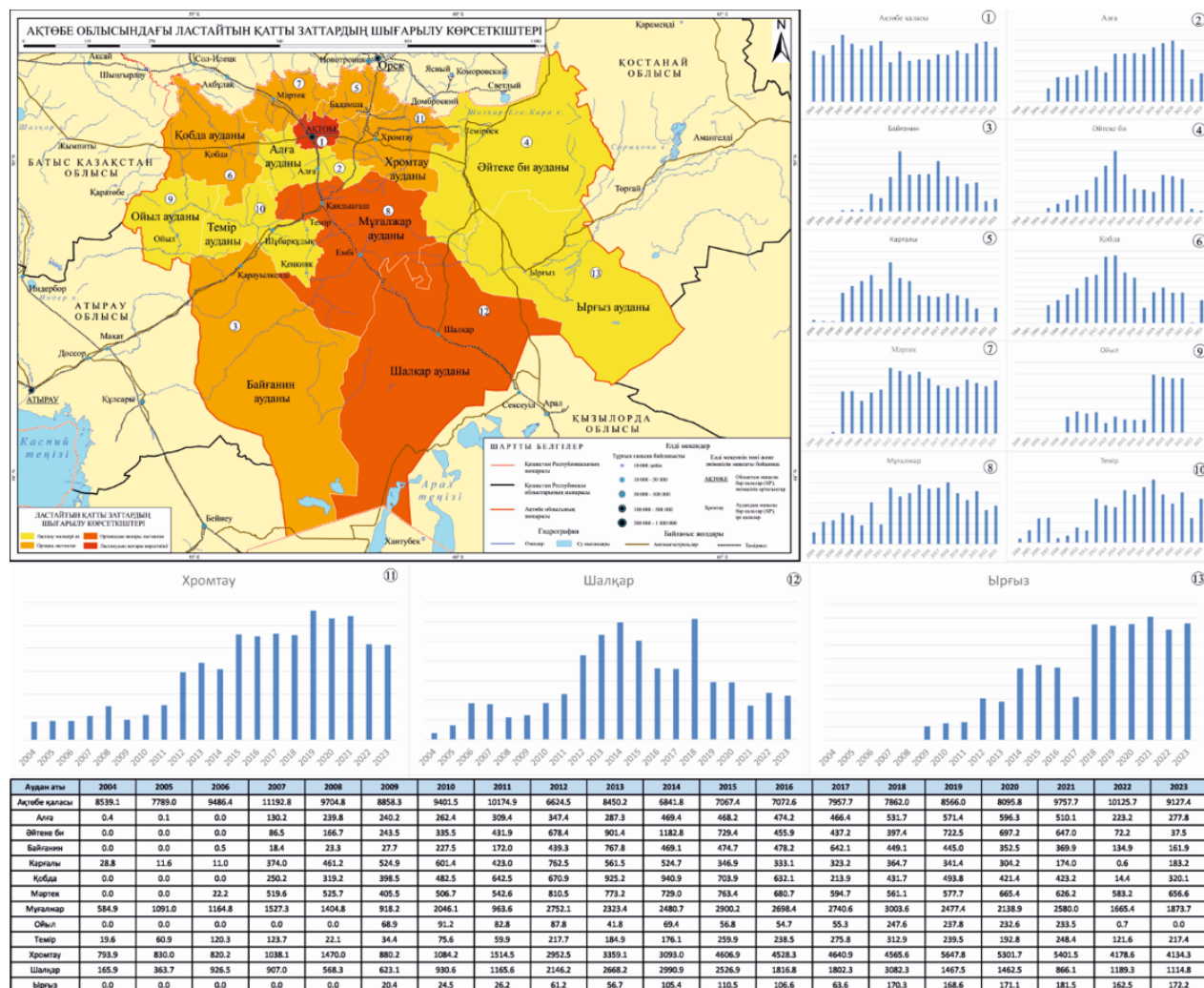
7-сурет – Ақтөбе облысындағы элементтердің жалпы түрлерімен топырақтың ластану картасы

Зерттеу нәтижелері stat.gov.kz ресми деректерімен салыстырылды (8-сурет).

Қалалық аудандарда ауыр металдардың концентрациясы өнеркәсіптік аймақтарда жоғары болғанымен, мониторингтің салыстырмалы түр-

де тұрақты деңгейде жүргізіліп отырғаны байқалады.

Ауылдық аудандарда ауыр металдар бойынша деректердің аздығы анықталды. Бұл ауылдық жерлерде экологиялық бақылауды күшейту қажеттігін көрсетеді.



8-сурет – Ақтөбе облысының әкімшілік бірліктерінің 2004-2023 жылдар аралығындағы ластаушы қатты заттардың көрсеткіші (<https://stat.gov.kz/> сайтындағы ақпаратқа сәйкес құрастырылған)

Өнеркәсіптік кешендерден алынған нәтижелер ауыр металдардың шаң, атмосфералық жауын-шашын және өндірістік қалдықтар арқылы таралуының басты себеп екенін дәлелдейді. Сонымен қатар, жер асты суларының ластану қаупі жоғары екендігі анықталды.

Жалпы, Ақтөбе облысының өнеркәсіптік аймақтарындағы ауыр металдармен ластану деңгейі экологиялық қауіптің жоғары екенін көрсетеді. Бұл жағдайды жақсарту үшін қосымша экологиялық мониторинг және қалдықтарды басқару стратегиясын күшейту қажет.

Қорытынды

Ақтөбе облысының топырақ жамылғысының ауыр металдармен ластануы өңірдегі тау-кен

және мұнай-газ өнеркәсібінің қарқынды дамуы нәтижесінде туындаған маңызды экологиялық мәселе болып табылады. Өндірістік қызмет салдарынан топырақта ауыр металдардың жинақталуы экожүйелердің тұрақтылығына, топырақ құнарлылығына және халықтың денсаулығына теріс әсерін тигізеді.

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, тау-кен және металлургиялық өнеркәсіптік нысандар орналасқан аудандарда (Ақтөбе, Хромтау, Мұғалжар, Темір, Байғанин) ауыр металдардың жоғары концентрациясы анықталды. Бұл аудандарда топырақтағы хром, никель, кобальт, мырыш, қорғасын, кадмий және мышьяк мөлшері шекті рұқсат етілген концентрациядан (ШРК) бірнеше есе жоғары екендігі байқалды. Мұнай-газ өндірумен айналысатын аудандарда (Темір,

Байғанин, Мұғалжар, Ырғыз) көмірсутектердің және ауыр металдардың ластану көрсеткіштері айтарлықтай жоғары деңгейде тіркелді.

Өнеркәсіптік кәсіпорындар орналаспаған ауылдық аудандарда (Алға, Қобда, Мәртөк, Әйтеке би, Шалқар, Ойыл, Ырғыз) топырақтың ластану деңгейі салыстырмалы түрде төмен болғанымен, экологиялық мониторингтің жеткіліксіздігі байқалды. Бұл ауылдық аймақтарда өндірістік шығарындылардан туындайтын жанама ластану қаупі сақталатынын көрсетеді.

Қалалық аймақтарда, әсіресе Ақтөбе және Хромтау қалаларында, өнеркәсіптік аймақтарға жақын орналасқан аудандарда ауыр металдардың жоғары концентрациясы тіркелді. Ақтөбе қаласының өнеркәсіптік аймағы, әсіресе ферроқорытпа зауыты маңы, ауыр металдармен ластанудың негізгі ошақтарының бірі болып анықталды.

Зерттеу нәтижелері stat.gov.kz ресми деректерімен салыстырылды. Қалалық аймақтарда экологиялық мониторинг жүйесі тұрақты түрде жүргізілгенімен, ауылдық жерлерде экологиялық деректердің тапшылығы байқалды. Бұл ауылдық аудандарда экологиялық инфрақұрылымды дамытуды, тұрақты мониторинг жүргізуді және өндірістік қалдықтардың таралуын бақылауды қажет етеді.

Өңірдің экологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін:

1) Қалалық және ауылдық аймақтарда экологиялық мониторинг жүйесін жетілдіру;

2) Ластанған топырақтарды тазарту үшін биоремедиация, химиялық және термиялық өңдеу әдістерін енгізу;

3) Өндірістік кәсіпорындардың қоршаған ортаға әсерін азайту мақсатында заманауи экологиялық технологияларды енгізу;

4) Мемлекеттік мекемелер, өнеркәсіптік кәсіпорындар және ғылыми ұйымдар арасындағы ынтымақтастықты нығайту қажет.

Ақтөбе облысының экологиялық жағдайын жақсарту үшін экологиялық инфрақұрылымды дамыту, тұрақты бақылау жүйесін енгізу және халықтың экологиялық сауаттылығын арттыру маңызды қадамдардың бірі болып табылады.

Алғыс сөз

Ғылыми-зерттеу жұмысы «Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті «ММ қаржыландыратын» BR21882122 «Жасыл даму контекстінде Батыс Қазақстан өңірінің табиғи-шаруашылық және әлеуметтік-экономикалық жүйелерінің тұрақты дамуы: кешенді талдау, тұжырымдама, болжамдық бағалау және сценарийлер» бағдарламасы шеңберінде орындалды.

Мүдделер қақтығысы

Мүдделер қақтығысы жоқ.

Әдебиеттер

Bhardwaj R., Gupta A., Garg J.K. Evaluation of trace metal contamination using environmetrics and indexing approach for River Yamuna, Delhi stretch, India. *Water Science*, Volume 31, Issue 1, (2017), p. 15. <https://doi.org/10.1016/j.wsj.2017.02.002>.

Costa-Böddeker S., Thuyên L.X., Hoelzmann P., Stigter H.C., van Gaever P., Huy H., Schwalb A. The hidden threat of heavy metal pollution in high sedimentation and highly dynamic environment: assessment of metal accumulation rates in the Thi Vai Estuary. Southern Vietnam. *Environ. Pollut.*, 242 (2018), pp. 348-356. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.05.096>.

Enuneku A., Anani O., Job O., Kubeyinje B., Ogbomida E., Asemota C., Okpara B., Imoobe T., Ezemonye L.I., Oluwaseun A., Hefft D. Mapping soil susceptibility to crude oil pollution in the region of Delta, South-South Nigeria: A proportional study of environmetrics, health, ecological risks, and geospatial evaluation. *Scientific African*. Volume 14, November 2021, e01012. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e01012>.

Gao Y., Ji H. Microscopic morphology and seasonal variation of health effect arising from heavy metals in PM2.5 and PM10. One-year measurement in a densely populated area of urban Beijing. *Atmos. Res.*, 212 (2018), pp. 213-226. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.04.027>.

Kakimzhanov Y.Kh., Kyrgyzbay K.T., Zhumatayev S.M., Bazarbayeva T.A., Kunyapiyeva G.T. Assessment of soil contamination of the West Kazakhstan region with heavy metals as a result of industrial activity. *NEWS of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES*. Volume 1. Number 469 (2025), 72–90. <https://doi.org/10.32014/2025.2518-170X.477>.

Korabayev B., Amanova G., Akimova B., Saduakassova K., Nurgaliyeva A. The model of environmental accounting and auditing as a factor in increasing the efficiency of management decisions at industrial enterprises in the Republic of Kazakhstan. *Regional Science Policy and Practice*, 2024, 16(3), 12727. <https://doi.org/10.1111/rsp3.12727>.

Khosravi V., Doulati Ardejani F., Yousefi S., Aryafar A. Monitoring soil lead and zinc contents via combination of spectroscopy with extreme learning machine and other data mining methods. *Geoderma*, 318 (2018), pp. 29-41. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.12.025>.

Kuznetsov A., Fedorov Y. Oil pollution of the coastal zone of the Black Sea in an area of intensive navigation (Novorossiysk Bay, Kerch Strait) and the dynamics of natural attenuation process. The Handbook of Environmental Chemistry, Springer, Berlin, Heidelberg (2020), https://doi.org/10.1007/698_2020_503.

Kuznetsov A.N., Fedorov Yu. A., Fattal P. Les effets et le comportement du fioul déversé en 2007 dans le détroit de Kertch suite à un naufrage de pétrolier. Mediterranean Geography. Issues 119, (2012), pp. 91-99. <https://doi.org/10.4000/mediterranee.6567>.

Léandre F., Andrey K., Rollo N., Paul F. Natural degradation of spilt fuel oil on seacoasts: Modelling, mapping, and spatial analysis. Regional Studies in Marine Science, 2023, 58, 102782. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2022.102782>.

Massadeh A.M., Allah A., Al-Massaedh T. Determination of heavy metals in canned fruits and vegetables sold in Jordan market. Environmental Science and Pollution Research. Volume 25, pages 1914–1920, (2017).

Meng F., Wang J., Chen Z., Qiao F., Yang D. Shaping the concentration of petroleum hydrocarbon pollution in soil: A machine learning and resistivity-based prediction method. Journal of Environmental Management. Volume 345, 1 November 2023, 118817. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118817>.

Mirzaee S., Ghorbani-Dashtaki S., Mohammadi J., Asadi H., Asadzadeh F. Spatial variability of soil organic matter using remote sensing data. Catena, 145 (2016), pp. 118-127. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.05.023>.

Moghim Dehkordi M., Pourmuroz Nodeh Z., Soleimani Dehkordi K., Hossein Salmanvandi, Rasouli Khorjistan R., Ghaffarzadeh M. Soil, air, and water pollution from mining and industrial activities: Sources of pollution, environmental impacts, and prevention and control methods. Results in Engineering, 2024, 23, 102729. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102729>.

Oliver M.A., Webster R. Kriging: a method of interpolation for geographical information system. International Journal of Geographical Information Systems, 4 (3) (1990), pp. 313-332. <https://doi.org/10.1080/02693799008941549>.

Pelta R., Ben-Dor E. Assessing the detection limit of petroleum hydrocarbon in soils using hyperspectral remote-sensing. Remote Sensing of Environment, 2019, 224, pp. 145–153. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.01.026>.

Song Y., Kang L., Lin F., Sun N., Aizezi A., Yang Z., Wu X. Estimating the spatial distribution of soil heavy metals in oil mining area using air quality data. Atmospheric Environment, 2022, 287, 119274. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.119274>.

Tao S. Kriging and mapping of copper, lead, and mercury contents in surface soil in Shenzhen area. Water, Air, and Soil Pollution, 83 (1995), pp. 161-172.

Wang Z., Wang G., Zhang G., Wang H., Ren T. Effects of land use types and environmental factors on spatial distribution of soil total nitrogen in a coalfield on the Loess Plateau, China. Soil and Tillage Research. Volume 211, July 2021, 105027. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105027>.

Zhou J., Du B., Liu H., Cui H., Zhang W., Fan X., Cui J., Zhou J. The bioavailability and contribution of the newly deposited heavy metals (copper and lead) from atmosphere to rice (*Oryza sativa* L.). J. Hazard Mater., 384 (2020), Article 121285. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121285>.

Атлас Казахстана. Под редакцией Академии наук Республики Казахстан. Алматы: Казахское географическое общество, 2018.

Бойко Г.И., Сармурзина Р.Г., Галиева Н.П., Карабалин У.С., Тиесов Д.С., Аханова Т.Р., Кеняйкин П.В. Перспективы использования энергоаккумулирующих веществ в решении экологических проблем нефтяной отрасли. Нефтегазовый отрасли Казахстана. Вестник. Научный практический журнал Том 5, 2 (2023), стр. 99-116. <https://doi.org/10.54859/kjogi108653>

Какимжанов Е.Х., Кыргызбай К.Т., Шимшиков Б.Е., Базарбаева Т.А., Жуматаев С.М. Методы картографирования для оценки загрязнения почв тяжелыми металлами в условиях промышленности Актыбинской области. Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева. Серия: Химия. География. Экология. №4 (2024), стр. 95-109. <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2024-149-4-95-109>.

Комитет по экологии Республики Казахстан. Отчёт о состоянии окружающей среды в западных регионах Казахстана. Астана: Министерство экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан, 2022.

Шайхудинов Е.М., Касанова А.Г. Последствие нефтяного загрязнения для окружающей среды Атырауской области республики Казахстана. Science Time. 2020, стр.68-72

References

Atlas of Kazakhstan. Edited by the Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Almaty: Kazakh Geographical Society, 2018 [in Russ.].

Bhardwaj R., Gupta A., Garg J.K. Evaluation of trace metal contamination using environmetrics and indexing approach for River Yamuna, Delhi stretch, India. Water Science, Volume 31, Issue 1, (2017), p. 15. <https://doi.org/10.1016/j.wsj.2017.02.002>.

Boiko G.I., Sarmurzina R.G., Galiyeva N.P., Karabalin U.S., Tiesov D.S., Akhanova T.R., Kenyaykin P.V. Prospects for the use of energy-accumulating substances in solving environmental problems of the oil industry. Oil and Gas Industry of Kazakhstan. Bulletin. Scientific and Practical Journal. Volume 5, No. 2 (2023), pp. 99-116. <https://doi.org/10.54859/kjogi108653> [in Russ.].

Committee on Ecology of the Republic of Kazakhstan. Report on the state of the environment in the western regions of Kazakhstan. Astana: Ministry of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan, 2022 [in Russ.].

Costa-Böddeker S., Thuyên L.X., Hoelzmann P., Stigter H.C., van Gaever P., Huy H., Schwalb A. The hidden threat of heavy metal pollution in high sedimentation and highly dynamic environment: assessment of metal accumulation rates in the Thi Vai Estuary. Southern Vietnam. Environ. Pollut., 242 (2018), pp. 348-356. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.05.096>.

Enuneku A., Anani O., Job O., Kubeyinje B., Ogbomida E., Asemota C., Okpara B., Imoobe T., Ezemonye L.I., Oluwaseun A., Hefft D. Mapping soil susceptibility to crude oil pollution in the region of Delta, South-South Nigeria: A proportional study of

environmetrics, health, ecological risks, and geospatial evaluation. Scientific African. Volume 14, November 2021, e01012. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e01012>.

Gao Y., Ji H. Microscopic morphology and seasonal variation of health effect arising from heavy metals in PM_{2.5} and PM₁₀. One-year measurement in a densely populated area of urban Beijing. Atmos. Res., 212 (2018), pp. 213-226. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.04.027>.

Kakimzhanov Y.Kh., Kyrgyzbay K.T., Zhumatayev S.M., Bazarbayeva T.A., Kunypiyaeva G.T. Assessment of soil contamination of the West Kazakhstan region with heavy metals as a result of industrial activity. NEWS of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES. Volume 1. Number 469 (2025), 72–90. <https://doi.org/10.32014/2025.2518-170X.477>.

Kakimzhanov Ye., Kyrgyzbay K., Shimshikov B., Bazarbayeva T., Zhumatayev S. Mapping methods for assessing soil pollution with heavy metals in the industrial conditions of Aktobe region. BULLETIN of the L.N. Gumilyov Eurasian National University. Chemistry. Geography. Ecology Series. №4 (2024), 95-109 pp. <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2024-149-4-95-109>.

Kazhydromet. <https://kazhydromet.kz> [in Russ.].

Korabayev B., Amanova G., Akimova B., Saduakassova K., Nurgaliyeva A. The model of environmental accounting and auditing as a factor in increasing the efficiency of management decisions at industrial enterprises in the Republic of Kazakhstan. Regional Science Policy and Practice, 2024, 16(3), 12727, <https://doi.org/10.1111/rsp3.12727>.

Khosravi V., Doulati Ardejani F., Yousefi S., Aryafar A. Monitoring soil lead and zinc contents via combination of spectroscopy with extreme learning machine and other data mining methods. Geoderma, 318 (2018), pp. 29-41. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.12.025>.

Kuznetsov A., Fedorov Y. Oil pollution of the coastal zone of the Black Sea in an area of intensive navigation (Novorossiysk Bay, Kerch Strait) and the dynamics of natural attenuation process. The Handbook of Environmental Chemistry, Springer, Berlin, Heidelberg (2020), https://doi.org/10.1007/698_2020_503.

Kuznetsov A.N., Fedorov Yu. A., Fattal P. Les effets et le comportement du fioul déversé en 2007 dans le détroit de Kertch suite à un naufrage de pétrolier. Mediterranean Geography. Issues 119, (2012), pp. 91-99. <https://doi.org/10.4000/mediterranee.6567>.

Léandre F., Andrey K., Rollo N., Paul F. Natural degradation of spilt fuel oil on seacoasts: Modelling, mapping, and spatial analysis. Regional Studies in Marine Science, 2023, 58, 102782. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2022.102782>.

Massadeh A.M., Allah A., Al-Massaedh T. Determination of heavy metals in canned fruits and vegetables sold in Jordan market. Environmental Science and Pollution Research. Volume 25, pages 1914–1920, (2017).

Meng F., Wang J., Chen Z., Qiao F., Yang D. Shaping the concentration of petroleum hydrocarbon pollution in soil: A machine learning and resistivity-based prediction method. Journal of Environmental Management. Volume 345, 1 November 2023, 118817. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118817>.

Mirzaee S., Ghorbani-Dashtaki S., Mohammadi J., Asadi H., Asadzadeh F. Spatial variability of soil organic matter using remote sensing data. Catena, 145 (2016), pp. 118-127. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.05.023>.

Moghimi Dehkordi M., Pournuroz Nodeh Z., Soleimani Dehkordi K., Hossein Salmanvandi, Rasouli Khorjestan R., Ghaffarzadeh M. Soil, air, and water pollution from mining and industrial activities: Sources of pollution, environmental impacts, and prevention and control methods. Results in Engineering, 2024, 23, 102729. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102729>.

Oliver M.A., Webster R. Kriging: a method of interpolation for geographical information system. International Journal of Geographical Information Systems, 4 (3) (1990), pp. 313-332. <https://doi.org/10.1080/02693799008941549>.

Pelta R., Ben-Dor E. Assessing the detection limit of petroleum hydrocarbon in soils using hyperspectral remote-sensing. Remote Sensing of Environment, 2019, 224, pp. 145–153. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.01.026>.

Shaykhudinov E.M., Kasanova A.G. Consequences of oil pollution for the environment of the Atyrau region of the Republic of Kazakhstan. Science Time. 2020, pp. 68-72 [in Russ.].

Song Y., Kang L., Lin F., Sun N., Aizezi A., Yang Z., Wu X. Estimating the spatial distribution of soil heavy metals in oil mining area using air quality data. Atmospheric Environment, 2022, 287, 119274. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.119274>.

Tao S. Kriging and mapping of copper, lead, and mercury contents in surface soil in Shenzhen area. Water, Air, and Soil Pollution, 83 (1995), pp. 161-172.

Wang Z., Wang G., Zhang G., Wang H., Ren T. Effects of land use types and environmental factors on spatial distribution of soil total nitrogen in a coalfield on the Loess Plateau, China. Soil and Tillage Research. Volume 211, July 2021, 105027. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105027>.

Zhou J., Du B., Liu H., Cui H., Zhang W., Fan X., Cui J., Zhou J. The bioavailability and contribution of the newly deposited heavy metals (copper and lead) from atmosphere to rice (*Oryza sativa* L.). J. Hazard Mater., 384 (2020), Article 121285. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121285>.

Авторлар туралы мәліметтер:

Какимжанов Еркін Хамитович – PhD, картография және геоинформатика кафедрасының доцент м.а., әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: erkinkakimzhanov@gmail.com);

Қырғызбай Құдайберген Талғатұлы – PhD, картография және геоинформатика кафедрасының аға оқытушысы, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: kyrgyzbay.kudaibergen@gmail.com);

Павличенко Людмила Михайловна – география ғылымдарының докторы, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің География және табиғатты пайдалану факультеті Рекреациялық география және туризм кафедрасының профессоры (Алматы, Қазақстан; e-mail: mp.170946@yandex.ru)

Бейсембинова Ардак Сериковна – география ғылымдарының кандидаты, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің География және табиғатты пайдалану факультеті Рекреациялық география және туризм кафедрасының профессоры (e-mail: Алматы, Қазақстан, e-mail: ardak_bs@mail.ru)

Сарыбаев Едил Саутович – PhD, картография және геоинформатика кафедрасының аға оқытушысы, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан, e-mail: edilait@mail.ru)

Хамит Нұржан Ержанұлы – картография және геоинформатика кафедрасының 8D07301 – Геодезия мамандығының 3-курс докторанты, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті. (Алматы, Қазақстан, e-mail: n.khamit@list.ru).

Сведения об авторах

Какимжанов Еркин Хамитович – PhD, исполняющий обязанности доцента кафедры картографии и геоинформатики, Казахский национальный университет имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: erkinkakimzhanov@gmail.com)

Кыргызбай Кудайберген Талгатович – PhD, старший преподаватель кафедры картографии и геоинформатики, Казахский национальный университет имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: kyrgyzbay.kudaibergen@gmail.com)

Павличенко Людмила Михайловна – доктор географических наук, профессор кафедры рекреационной географии и туризма, факультет географии и природопользования, Казахский национальный университет имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан)

Бейсембинова Ардак Сериковна – кандидат географических наук, профессор кафедры рекреационной географии и туризма, факультет географии и природопользования, Казахский национальный университет имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан)

Сарыбаев Едил Саутович – PhD, старший преподаватель кафедры картографии и геоинформатики, Казахский национальный университет имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: edilait@mail.ru)

Хамит Нұржан Ержанович – докторант 3 курса образовательной программы 8D07301 – «Геодезия», кафедра картографии и геоинформатики, Казахский национальный университет имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: n.khamit@list.ru)

Information about authors:

Erkin Kakimzhanov – PhD, Acting Associate Professor of the Department of Cartography and Geoinformatics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: erkinkakimzhanov@gmail.com);

Kudaibergen Kyrgyzbay – PhD, Senior Lecturer Department of the Cartography and Geoinformatics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: kyrgyzbay.kudaibergen@gmail.com);

Lyudmila Pavlichenko – Doctor of Geographical Sciences, Professor of the Department of Recreational Geography and Tourism, Faculty of Geography and Environmental Management, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan.

Ardak Beisembina – Candidate of Geographical Sciences, Professor of the Department of Recreational Geography and Tourism, Faculty of Geography and Environmental Management, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan.

Sarybayev Edil – PhD, Senior Lecturer Department of the Cartography and Geoinformatics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: edilait@mail.ru);

Khamit Nurzhan – Doctoral student of the 3rd year of the speciality 8D07301 – Geodesy, Department of Cartography and Geoinformatics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: n.khamit@list.ru).

Жіберілді: 24 қаңтар 2025 жыл
Қабылданды: 27 мамыр 2025 жыл