

Код МРНТИ 36.23.31

\*Ы. Жакыпбек, А. Айдарқызы, Е.Е. Бегимжанова, Г.Б. Кезембаева  
Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

## ТЕМІРТАУ ҚАЛАСЫНЫҢ ӨНЕРКӘСІПТІК ЛАСТАНУЫН ҚАШЫҚТЫҚТАН ЗОНДТАУ АРҚЫЛЫ БАҒАЛАУ

**Аннотация.** Теміртау ең үлкен металлургиялық қалдық қоймалары шоғырланған, соңғы уақытта ауаның ластануы бойынша өте жоғары көрсеткіштерді көрсететін өнеркәсіптік қала. Сондықтан аумақтың ауасы мен топырағының ластануын қашықтықтан зондтау арқылы бағалау өте маңызды мәселеге айналып отыр. Ал мақалада, 2020 жылға арналған Қазақстан Республикасының табиғи ресурстарын пайдалану туралы мәліметтер негізінде, қашықтықтан зондтау технологиясын қолдана отырып, 2023 жылғы LANDSAT 8 суреттерімен өсімдіктердің өсу сапасын талдау, LANDSAT 5, 7, 8 спутниктік, Land Cover Time деректері негізінде 1993, 2006, 2018 және 2023 жылдардағы топырақтың ластану дәрежесін бақылау және Sentinel-5 TROPOMI арқылы ультракүлгін мен қысқа толқынды инфрақызыл сәуле көмегімен 2019, 2024 жылғы мамыр айындағы орташа айлық  $NO_2$  мәнін зерделеу арқылы қала ауасының ластануы қарастырылды.

**Түйінді сөздер:** Теміртау, қашықтықтан зондтау, бағалау, өнеркәсіп, ластану, экология.

### Assessment of industrial pollution of the city of Temirtau by remote sensing

**Abstract.** Temirtau is an industrial city with the largest metallurgical waste storage facilities, recently showing very high indicators of air pollution. Therefore, the assessment of air and soil pollution of the territory by remote sensing is becoming a significant issue. In the article, based on data on the use of natural resources of the Republic of Kazakhstan for 2020, analysis of the quality of plant growth with LANDSAT 8 images for 2023 using remote sensing technology, monitoring the degree of soil pollution in 1993, 2006, 2018 and 2023 based on LANDSAT 5, 7, 8 satellite, Land Cover time data and studying the average monthly value  $NO_2$  for May 2019, 2024 using ultraviolet and short-wave infrared radiation by Sentinel-5 TROPOMI was considered.

**Key words:** Temirtau, remote sensing, assessment, industry, pollution, ecology.

### Оценка промышленного загрязнения города Темиртау дистанционным зондированием

**Аннотация.** Теміртау – промышленный город, в котором сосредоточены крупнейшие металлургические хвостохранилища, что в последнее время показывают очень высокие показатели по загрязнению воздуха. Поэтому оценка загрязнения воздуха и почвы территории с помощью дистанционного зондирования становится очень важной проблемой. А в статье, на основе данных об использовании природных ресурсов Республики Казахстан за 2020 год, анализ качества роста растений с помощью изображений LANDSAT 8 за 2023 год с использованием технологии дистанционного зондирования, мониторинг степени загрязнения почв за 1993, 2006, 2018 и 2023 годы на основе спутниковых данных LANDSAT 5, 7, 8, Land Cover Time и Sentinel-5 было рассмотрено загрязнение городского воздуха путем изучения среднемесячного значения  $NO_2$  за май 2019, 2024 годы с использованием ультрафиолетового и коротковолнового инфракрасного излучения через TROPOMI.

**Ключевые слова:** Теміртау, дистанционное зондирование, оценка, промышленность, загрязнение, экология.

### Кіріспе

Адам денсаулығына зиянды қоршаған ортаны ластаушы заттар көбінесе антропогендік әрекеттерден туындап, ауаның, судың және топырақтың ластануына алып келеді. Индустрияландыру дамуға ықпал еткенімен, қоршаған ортадағы ластаушы заттардың деңгейін айтарлықтай арттырады [1]. Қалалық және өнеркәсіптік аймақтарда адам ағзасында улы металдардың, әсіресе мышьяк (*As*), хром (*Cr*), никель (*Ni*), мыс (*Cu*), қорғасын (*Pb*) және мырыш (*Zn*) көп мөлшерде жиналуы, ал ауада газ тәріздес ластаушы заттар, химиялық қосылыстардың газдары мен булары (мысалы, көміртегі оксидтері ( $CO$  және  $CO_2$ ), күкірт ( $SO_2$  және  $SO_3$ ), азот оксидтері ( $NOx$ )), қатты заттар, бейорганикалық және органикалық бөлшектердің ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ) бөлінуі адам денсаулығына қауіп төндіреді [2, 3]. Оның ішінде жүйке және ас қорыту жүйесінің бұзылуы (мысалы, безеу, аллергия, анемия, анорексия, артрит, сіатика, шизофрения), ішкі органдардың қалыпты жұмысы (мысалы, өкпе, бүйрек, бауыр), қан айналымы жүйесінің зақымдануы (мысалы, астма және созылмалы бронхит), қан құрамы және басқа да көптеген қолайсыз жағдайлардың туындауына әкеліп соғады [3]. Бұл тенденция ғылыми зерттеушілер арасында кең алаңдаушылық тудыруда [4].

Соңғы жылдары топырақтың және ауаның ластануын зертханалық жұмыстармен қатар, қашықтықтан зондтау технологиясын пайдаланып талдау, кең ауқымда қолданыла бастады. Жерді бақылау, бейнелеу технологиясы жоғары кеңістіктік-уақыттық және спектрлік ажыратымдылығы бар қашықтықтан түсірілетін спутниктік сурет-

тер көмегімен энергия түрі, платформа, спектр аймағы және спектрлік жолақтар негізінде талдауға қолжетімді болып қана қоймай [5, 6, 7], бұрынғы қалыптасқан зерттеумен салыстырғанда, төмен баға, қысқа уақытта ақпаратты алу және мерзімді бақылауда өте тиімді болып саналып отыр [8].

### Зерттеу әдістері және материалдары

«Қарағанды облысы бойынша экология департаменті» ММ деректеріне сәйкес Қарағанды облысында қоршаған ортаға эмиссияны жүзеге асыратын 332 кәсіпорын жұмыс істейді. Стационарлық көздерден ластаушы заттардың нақты жиынтық шығарындылары 585 мың тоннаны құрайды.

Ластанудың негізгі көздері «Қазақмыс корпорациясы» ЖШС, «АрселорМиттал Теміртау» АҚ (Qarmet АҚ), «ТЭМК» АҚ ХМЗ, автомобиль көлігі, қатты тұрмыстық қалдықтар полигондары, жылу электр орталығы, құю-механикалық зауыты, теміржол көлігі кәсіпорны және автокөлік кәсіпорындары болып табылады. Ал Теміртау қаласы 2023 жылғы сәуірдегі Қазақстан Республикасының атмосфералық ауасының сапасын бағалау көрсеткіші бойынша ластану дәрежесі өте жоғары деңгейдегі 4 елді мекен қатарына кірді, сонымен қатар соңғы 5 жылда аталмыш қалада атмосфералық ауаның ластануының тұрақты жоғары деңгейі сақталып отыр<sup>1</sup>.

Теміртау қаласында «АрселорМиттал Теміртау» АҚ Қазақстандағы ең ірі металлургиялық өндірістік кәсіпорын және металлургиялық қалдық қоймалары ( $73^{\circ}05' - 73^{\circ}55'$

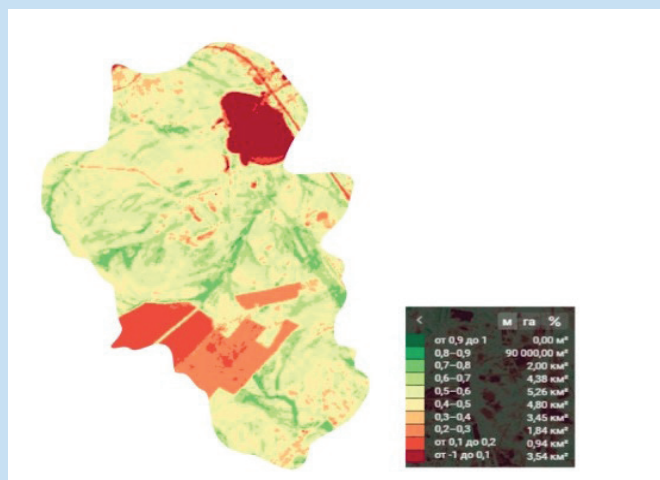
<sup>1</sup>ҚР қоршаған ортасының жай-күйі туралы ақпараттық бюллетень: сайт. Экология және табиғи ресурстар министрлігі, ҚР, 2023. URL: <https://ecogofond.kz/> (өтініш берген күні: 04. 2023). Кіру режимі: үшін барлық пайдаланушылар.

шығыс бойлық және 50°00'-50°45' солтүстік ендік) орналасқан. Бұл қалдық қойманың ауданы шамамен 5000 км<sup>2</sup> құрайды. Сондай ақ Қазақстанның зерттеу институттары нәтижесі бойынша Теміртаудағы полиметалдармен ластану дәрежесі «төмен» деп бағаланып, бірақ топырақтың 40 пайызының ластану индексі өте жоғары екенін дәлелдеді<sup>1</sup>. Осы Теміртаудағы жердің ластануы тау-кен және металлургия өнеркәсібінің қалдықтарымен байланысты болып келеді. «Қазгидромет» РМК топырақтың ауыр металдармен ластануын бақылау есебі бойынша 2020 жылдың көктемгі-күзгі мезгіліндегі зерттеу нәтижесіне сәйкес, Теміртау қаласында топырақ сынамалары құрамында көп мөлшерде мырыш 26,4 мг/кг, мыс 3,64 мг/кг, хром 2,84 мг/кг, қорғасын 37,8 мг/кг және кадмий 0,64 мг/кг ауыр металдар концентрациясы анықталған<sup>2</sup>. Ал бұл мақалада 2020 жылға арналған Қазақстан Республикасының табиғи ресурстарын пайдалану туралы мәліметтер мен салыстыра отырып, қашықтықтан зондтау технологиясы арқылы 2023 жылғы LANDSAT 8 суреттерімен өсімдіктердің өсу сапасын саралауда жолақтарды біріктіру әдісі арқылы электромагниттік спектрдің жарықтық деректеріндегі жақын инфрақызыл (Nir) жолақтарды 10 м ажыратымдылықта және 20 м-лік дәлдікте қызыл (red) сәулелерді дәлдігін есептеу кезінде туралау немесе интерполяция әдістері қолданылды. LANDSAT 5, 7, 8 спутниктік, Land Cover Time деректері негізінде 1993, 2006, 2018 және 2023 жылдардағы топырақтың ластану дәрежесін бақылауда жоғары кеңістіктік ажыратымдылық зерттеу мәліметтерін пайдалана отырып, зерттеліп отырылған аумақтың эрозияға ұшырау картасы ArcGIS-ті бағдарламасында жасап ұсынылды. Сонымен қатар Sentinel-5 TROPOMI арқылы ультракүлгін мен қысқа толқынды инфрақызыл сәуле көмегімен 2019, 2024 жылғы мамыр айындағы орташа айлық NO<sub>2</sub> мәнін зерделеу арқылы қала ауасының ластануы еліміз жариялаған мәліметтеге сәйкестігі қарастырылды.

### Зерттеу нәтижелері мен талқылау

Теміртау қаласы бойынша статистикалық мәліметте көрсетілген топырақтың ластану концентрациясы мен LANDSAT 8 спутниктік суреттердегі NDVI көрсеткіштерінің сәйкестігін бағалау үшін, 2020 жылға арналған Қазақстан Республикасының табиғи ресурстарын пайдалану туралы деректерінде көрсетілген ауыр металдардың ластану көрсеткішін негізге ала отырып, зерттеу аймағының LANDSAT 8 суреттерінің өсімдік жамылғысының сапасына талдау жүргізілді (1 – сурет). Нәтижесінде Теміртау қаласының маңында NDVI көрсеткіші 0,6 жоғары мәні аз аумақты, 0,6 төмен көп мөлшерді алып жатса, ал өте қызыл түстер қаланың өзінде кездесіп отыр. Бұл дегеніміз жоғарыдағы зерттеу нәтижелері мен спутниктік суреттер мәліметтері нақты ластанған аумақты көрсете алатындығы дәлелденді.

Топырақтың ластануы, топырақ деградациясының бір типтік құбылысы ксенобиотиктердің химиялық заттардың болуымен немесе табиғи топырақ ортасындағы



Сурет 1. 2023 жылғы LANDSAT 8 суреттерден алынған NDVI көрсеткіші.

Figure 1. NDVI indicator from the 2023 LANDSAT 8 images.

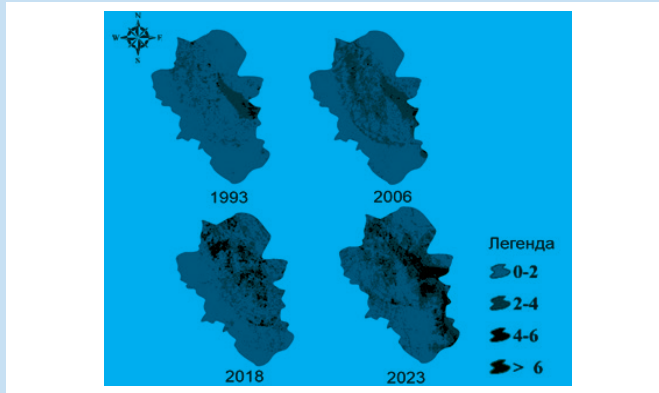
Рис. 1. Показатель NDVI по изображениям LANDSAT 8 2023 года.

басқа өзгерістерден, өнеркәсіптік қызметтен, ауылшаруашылық химикаттарынан және қалдықтарды дұрыс пайдаланбаудан туындайды. Ең көп таралған ластанушыларға мұнай көмірсутектері, полиаролатты ароматты көмірсутектер (мысалы, нафталин және бензопирен), еріткіштер, пестицидтер және ауыр металдар жатады. Күрделі ыдырау, оңай жиналу және гистерезис сипаттамаларына байланысты топырақтағы ауыр металдармен ластану мәселесі ең маңызды болып табылады [9]. Бұл әдетте топырақтың жаһандық деградациясын, адам денсаулығын және азық-түлік қауіпсіздігін одан әрі күшейтеді. Сондықтан, топырақтың деградациясын бақылау топырақ қауіптерін, функцияларын және экожүйе қызметтері арасындағы байланысты тепе теңдік қатынасты орнатуда, ГАЗ және қашықтықтан зондтаудағы кеңістіктік, спектрлік және уақыттық ажыратымдылықтағы датчиктерден алынған үлкен деректер жиынтығымен бірге талдау және модельдеу құралдарын қолдануда маңыздылығы арта түсеуде.

Тарихи жағдайларды көрсететін экологиялық деректер жиынтығы, спутниктік суреттер және Land Cover Time Series бағдарламасындағы жергілікті өсімдіктерін динамикалық өзгеріс көрсеткіштерді есептеу ArcGIS бағдарламасында топырақтың деградацияға ұшырау картасын жасау арқылы топырақтың сапасын талдауға болады. Сондықтан соңғы 30 жылдағы LANDSAT 5, 7, 8 спутниктік мен Land Cover Time деректеріне сүйене отырып 1993, 2006, 2018 және 2023 жылдардағы топырақ өзгерістерін және жер жамылғысының өзгеру тенденциялары арқылы ArcGIS бағдарламасында картасы жасалынды. 2 – суреттерде Теміртау ауданының топырақтарында 1993, 2006 және 2018 жылдардағы топырақтың

<sup>1</sup>Қарағанды облыстық экологиялық мұражайы қоғамдық бірлестігі: сайт. Қарағанды, 2016. URL: <https://ecomuseum.kz/> (өмініш берген күні: 05.2015). Кіру режімі: барлық пайдаланушылар үшін.

<sup>2</sup>Қазақстанның ұлттық гидрометеорологиялық қызметі туралы: офицер. сайт. ҚР. Күні бойы жаңартылады. URL: <https://kazhydromet.kz/ru/> (өмініш берген күні: 16.02.2024).



**Сурет 2. 1993, 2006, 2018 және 2023 жылдардағы топырақтың ластануы.**

**Figure 2. Soil pollution in 1993, 2006, 2018 and 2023.**  
**Рис. 2. Загрязнение почвы в 1993, 2006, 2018 и 2023 годах.**

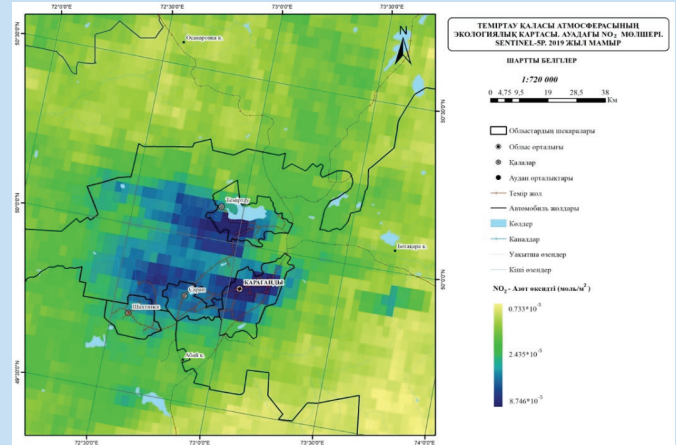
сапасы туралы карталарда ластанған аймақтардың беткі жамылғысы және деградацияға ұшыраған топырақтың түстік өзгерістерінен, ластанудың жыл сайын артқандығын көруге болады.

Қашықтықтан зондтауда Sentinel-5 TROPOMI-дағы ультракүлгін және қысқа толқынды инфрақызыл сәулелер арасындағы толқын ұзындығының диапазондарын қамтитын NADIR көру және бейнелеу спектрометрі арқылы атмосфераның жоғарғы қабатындағы шағылысқан және одан шығатын күн радиациясын өлшеу арқылы зеттелген аумақтың 2019 және 2024 жылғы ауадағы  $NO_2$  көрсеткішін талдауда 5-12 суреттер қолданылып, мамыр айының орташа көрсеткіші негіз етіліп жасалынды. 3,4 – суретте көрсетілгендей 2019 жылы ауадағы  $NO_2$  көрсеткіші  $8,746 \cdot 10^{-5}$  көрсетті, әрі Қарағанды обылысында толықтай таралған. Ал 2024 жылы ауадағы  $NO_2$  көрсеткіші  $11,41 \cdot 10^{-5}$  көрсетіп, негізінен Теміртау қаласында екендігі дәлелденіп отыр.

Осылайша өнеркәсіпті дамыту халықтың әлеуметтік – экономикалық жағынан тиімді болғанымен, экожүйе және Теміртау сияқты жылдар бойы қалдықтар қоймаланған қала тұрғындар үшін өте қауіпті, сондықтан ауа мен топырақ сапасын уақытылы бақылау, бағалау және саралау үшін зертханалық зерттеулермен қатар қашықтықтан зондтау деректерін қолдану маңызды болып саналады.

### Қорытынды

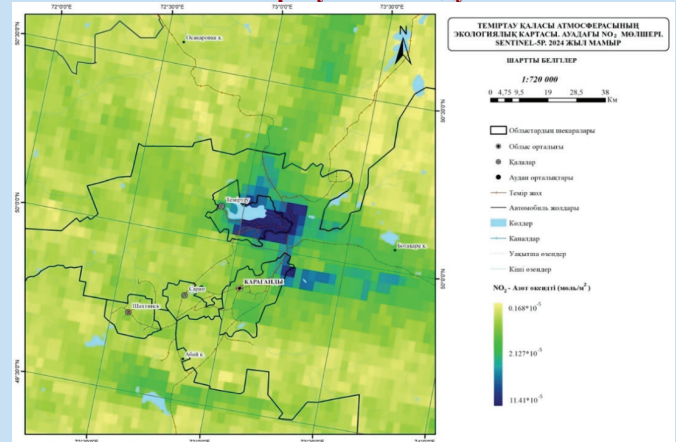
Қорытындылай келе, өнеркәсіптік қала Теміртауда металлургиялық қалдық қоймаларының көп жыл бойы қоймалануы, 2020 жылға арналған Қазақстан Республикасының табиғи ресурстарын пайдалану туралы мәліметтерінде көрсетілгендей, ауа мен топырақтың ластануы бойынша өте жоғары көрсеткіштерді көрсеткен болса, ал біздің қашықтықтан зондтау деректері арқылы зерттеуде ол нақтылана түсті. 2023 жылғы LANDSAT 8 суреттерін талдауда өсімдіктердің өсу сапасының төмендегенін көр-



**Сурет 3. Теміртау қаласының 2019 жылы ауадағы  $NO_2$  көрсеткіш картасы.**

**Figure 3. Map of  $NO_2$  indicators in the air of Temirtau in 2019.**

**Рис. 3. Карта показателей  $NO_2$  в воздухе города Темиртау в 2019 году.**



**Сурет 4. Теміртау қаласының 2024 жылы ауадағы  $NO_2$  көрсеткіш картасы.**

**Figure 4. Map of  $NO_2$  indicators in the air of Temirtau in 2024.**

**Рис. 4. Карта показателей  $NO_2$  в воздухе города Темиртау в 2024 году.**

сетті. Ал LANDSAT 5,7,8 спутниктік, Land Cover Time деректері негізінде 1993, 2006, 2018 және 2023 жылдардағы топырақтың ластануының артуы дәлелденді. Сонымен қатар Sentinel-5 TROPOMI арқылы ультракүлгін мен қысқа толқынды инфрақызыл сәуле көмегімен  $NO_2$  мәнін зерделеуде, 2019, 2024 жылғы мамыр айындағы ауасының ластану көрсеткішінің артқандығы айқындалды.

*Бұл мақала BR21881939 «Тау-кен металлургия кешені үшін ресурс үнемдейтін энергия өндіруші технологияларды әзірлеу және инновациялық-инжинирингтік орталық құру» бағдарламалық-нысаналы қаржыландыру жобасы бойынша орындалды.*



ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Дауыстан С.С. Сауд арабиясының өнеркәсіптік ортасындағы топырақта және жергілікті өсімдіктерде ауыр металдардың жиналуын бағалау. / С.С. Дауыстан, К.Д. Алотайби, К.Ф. Әл-мутаири, Ф.Н. Әл-барака. // *Sustainability*. 2022. Т. 14. №10. Б. 1 -15 (ағылшын тілінде)
2. Беата Вицзорец. Орталық-шығыс еуропадағы ТРОПОМИДЕН алынған SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> және CO ауаның ластану заңдылықтарын картаға түсіру. // *Remote Sens*. 2023. Vol. 15. №6. Б. 1-28 (ағылшын тілінде)
3. Пэн И. Қашықтықтан зондтау және көмекші деректерді пайдалана отырып, Катар топырақтарындағы улы металдарды цифрлық картаға түсіру. / И. Пэн., Б.Х. Рания, А. Кабиндра, М. Радослав, Б.Г. Метте, К. Мария, Х.Г. Могенс. // *Remote Sens*. 2016. Vol. 8. №12. Б. 1- 19 (ағылшын тілінде)
4. Баунти К. Топырақтағы ықтимал улы элементтердің таралуын геохимиялық және геоморфологиялық бақылауды зерттеудің тұтас әдістемесі. / К. Баунти, Д. Барраган, Н. Гарсия-Гонсалес, Р. Форджан, А. Коллинз, Дж. Гальего. // *Catena*. 2022. Б. 1-12 (ағылшын тілінде)
5. Чжоу Т. Машиналық оқыту алгоритмдеріне негізделген DEM Sentinel-1 және Sentinel-2 деректерінің туындыларын пайдалана отырып, топырақтың органикалық көміртегі мен топырақтың жалпы азотын жоғары ажыратымдылықтағы цифрлық картаға түсіру. / Т. Чжоу, Я. Гэн, Д. Чен, Ц. Пан, Д. Хаас, А. Лауш. // *The Science of the Total Environment*. 2020. Т. 729. Б. 1- 15 (ағылшын тілінде)
6. Ивушкин К. Топырақ тұздылығының өзгеруінің жаһандық картасы. / К. Ивушкин, Х. Бартоломей, А.К. Брегт, А. Пулатов, Б. Кемпен, Л. Де Соуса. // *Remote Sensing of Environment*. 2019. Т. 231. Б. 1-12 (ағылшын тілінде)
7. Ли Ч.Л. Топырақтың ылғалдылығын қашықтықтан зондтау өлшеулерінен алу: Қазіргі білім және болашаққа арналған бағыттар. / Ч.Л. Ли, П. Ленг, С. Чжоу, К.Ш. Чен, Ф.Ч. Чжоу, Г.Ф. Шан. // *Earth-Science Reviews*. 2021. Т. 218. Б. 1-13 (ағылшын тілінде)
8. Лян С. Жетілдірілген қашықтықтан зондтау: Жердегі ақпаратты алу және қолдану. / Лян С., Ван Дж. // Оксфорд: Академиялық Баспасөз. 2019. Т. 2. Б. 1010 (ағылшын тілінде)
9. Хорта А. Топырақтың ластануын жақсартылған бағалау үшін интеграцияланған далалық спектроскопия мен кеңістіктік талдаудың Әлеуеті: перспективалық шолу. / А. Орта, Б. Мэлоун, У. Стокманн, Б. Минасны, Т.Ф. Бишоп, А.Б. Макбратни, Р. Паллассер, Л. Поцца. // *Geoderma*. 2015. Т. 241-242. Б. 180-209 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Aloud S.S. Assessment of Heavy Metals Accumulation in Soil and Native Plants in an Industrial Environment, Saudi Arabia. / Aloud S.S., Alotaibi K.D., Almutairi K.F., Albarakah F.N. // *Sustainability*. 2022. Vol. 14. №10. P. 1-15 (in English)
2. Beata Wiczorek. Air Pollution Patterns Mapping of SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, and CO Derived from TROPOMI over Central-East Europe. // *Remote Sens*. 2023. Vol. 15. №6. P. 1- 28 (in English)
3. Yi P. Digital Mapping of Toxic Metals in Qatari Soils Using Remote Sensing and Ancillary Data. / Yi P., Rania B.K., Kabindra A., Radosław M., Mette B.G., Maria K., Mogens H.G. // *Remote Sens*. 2016. Vol. 8. №12. P. 1-19 (in English)
4. Boente C. A holistic methodology to study geochemical and geomorphological control of the distribution of potentially toxic elements in soil. / Boente C., Baragano D., García-González N., Forjan R., Colina A., Gallego J.R. // *Catena*. 2022. P. 1-12 (in English)
5. Zhou T. High-resolution digital mapping of soil organic carbon and soil total nitrogen using DEM derivatives, Sentinel-1 and Sentinel-2 data based on machine learning algorithms. / Zhou T., Geng Y., Chen J., Pan J., Haase D., Lausch A. // *The Science of the Total Environment*. 2020. Vol. 729. P. 1-15 (in English)
6. Ivushkin K., Bartholomeus H., Bregt A. K., Pulatov A., Kempen B., de Sousa L. Global mapping of soil salinity change // *Remote Sensing of Environment*. 2019. Vol. 231. P. 1-12 (in English)
7. Li Z.L. Soil moisture retrieval from remote sensing measurements: Current knowledge and directions for the future. / Li Z.L., Leng P., Zhou C., Chen, K.S., Zhou, F.C., Shang, G.F. // *Earth-Science Reviews*. 2021. Vol. 218. P. 1-13 (in English)
8. Liang S., Wang J. Advanced remote sensing: Terrestrial information extraction and applications: Oxford: Academic Press. 2019. Vol. 2. P. 1010 (in English)
9. Horta A. Potential of integrated field spectroscopy and spatial analysis for enhanced assessment of soil contamination: A prospective review. / Horta A., Malone B., Stockmann U., Minasny B., Bishop T.F., A. McBratney A.B., Pallasser R., Pozza L. // *Geoderma*. 2015. Vol. 241-242. P. 180-209 (in English)

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дауыстап С.С. Оценка накопления тяжелых металлов в почве и местных растениях в промышленных условиях, Саудовская Аравия. / С.С. Дауыстап, К.Д. Алотайби, К.Ф. Эл-мутаири, Ф.Н. Эл-барак. // *Sustainability*. 2022. Т. 14. №10. С. 1-15 (на английском языке)
2. Беата Вицзорец. Составление карт загрязнения воздуха SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> и CO по данным TROPOMI над Центрально-Восточной Европой. // *Remote Sens*. 2023. Vol. 15. №6. С. 1-28 (на английском языке)
3. Пэн И. Цифровое картирование токсичных металлов в почвах Катара с использованием дистанционного зондирования и вспомогательных данных. / И. Пэн., Б.Х. Рания, А. Кабиндра, М. Радослав, Б.Г. Метте, К. Мария, Х.Г. Могенс. // *Remote Sens*. 2016. Vol. 8. №12. С. 1-19 (на английском языке)
4. Баунти К. Целостная методология изучения геохимического и геоморфологического контроля за распределением потенциально токсичных элементов в почве. / К. Баунти, Д. Барраган, Н. Гарсия-Гонсалес, Р. Форджан, А. Коллинз, Дж. Гальего. // *Catena*. 2022. С. 1-12 (на английском языке)
5. Чжоу Т. Цифровое картирование органического углерода в почве и общего азота в почве с высоким разрешением с использованием данных DEM-производных Sentinel-1 и Sentinel -2, основанных на алгоритмах машинного обучения. / Т. Чжоу, Я. Гэн, Д. Чен, Ц. Пан, Д. Хаас, А. Лауш. // *The Science of the Total Environment*. 2020. Т. 729. С. 1-15 (на английском языке)
6. Ивушкин К. Глобальное картографирование изменения засоленности почв. / К. Ивушкин, Х. Бартоломей, А.К. Брегт, А. Пулатов, Б. Кемпен, Л. Де Соуса. // *Remote Sensing of Environment*. 2019. Т. 231. С. 1-12 (на английском языке)
7. Ли Ч.Л. Определение влажности почвы по данным дистанционного зондирования: современные знания и направления на будущее. / Ч.Л. Ли, П. Ленг, С. Чжоу, К.Ш. Чен, Ф.Ч. Чжоу, Г.Ф. Шан. // *Earth-Science Reviews*. 2021. Т. 218. С. 1-13 (на английском языке)
8. Лян С. Усовершенствованное дистанционное зондирование: извлечение и применение наземной информации. / С. Лян, Дж. Ван. // *Oxford: Academic Press*. 2019. Т. 2. С. 1010 (на английском языке)
9. Орта А. Потенциал комплексной полевой спектроскопии и пространственного анализа для улучшенной оценки загрязнения почв: перспективный обзор. / А. Орта, Б. Мэлоун, У. Стокманн, Б. Минасны, Т.Ф. Бишоп, А.Б. Макбратни, Р. Паллассер, Л. Поцца. // *Geoderma*. 2015. Т. 241-242. С. 180-209 (на английском языке)

## Авторлар туралы мәліметтер:

**Жақыпбек Ы.**, PhD, О.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Satbayev University, (Алматы қ., Қазақстан), [y.zhakypbek@satbayev.university](mailto:y.zhakypbek@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0002-2474-9927>

**Айдарқызы А.**, О.А. Байқоңыров атындағы, Тау-кен металлургия институты, маркшейдерлік іс және геодезия кафедрасы магистранты, Satbayev University, (Алматы қ., Қазақстан), [Azhokaax@gmail.com](mailto:Azhokaax@gmail.com); <https://orcid.org/0009-0005-5577-3486>

**Бегімжанова Е.**, к.ғ.м., «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының докторанты. Ө.А. Байқоңыров атындағы тау-кен металлургия институты, Satbayev University, (Алматы қ., Қазақстан), [20089527@mail.ru](mailto:20089527@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-2833-5622>

**Кезембаева Г.Б.**, DBA, «Химиялық процесстер және өндірістік экология» кафедрасының аға оқытушысы, Ө.А. Байқоңыров атындағы тау-кен металлургия институты, Satbayev University, (Алматы қ., Қазақстан), [g.kezembayeva@satbayev.university](mailto:g.kezembayeva@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0002-2298-2987>

## Information about the authors:

**Zhakypbek Y.**, PhD, Associate Professor at the Department of Mine Surveying and Geodesy of the Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikonurov, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Aidarkyzy A.**, Master's student of the Department of Surveying and Geodesy, O.A. Baikonurov Mining and Metallurgical Institute, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Begimzhanova Ye.**, M.Sc., doctoral student of the Department of Mine Surveying and Geodesy, Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikonurov, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Kezembayeva G.**, DBA, Senior Lecturer of the Department Chemical processes and industrial ecology Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikonurov, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

## Сведения об авторах:

**Жақыпбек Ы.**, PhD, ассоциированный профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Горно-металлургический институт им. О.А. Байконурова, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

**Айдарқызы А.**, магистрант кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Горно-металлургический институт им. О.А. Байконурова, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

**Бегімжанова Е.Е.**, м.к.н., докторант кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Горно-металлургический институт им. О.А. Байконурова, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

**Кезембаева Г.Б.**, DBA, старший преподаватель кафедры «Химические процессы и промышленная экология», Горно-металлургический институт им. О.А. Байконурова, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)