

Код МРНТИ 36.29.33

*А.К. Сатбергенова, А.К. Зекен, Ф.К. Низаметдинов, Н.Ф. Низаметдинов
Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический
Университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ ӘДІСІ АРҚЫЛЫ ЖЕР БЕТІНІҢ ҚОЗҒАЛЫСЫН БАҚЫЛАУ НӘТИЖЕЛЕРІ

Аннотация. Бұл мақалада Жер бетінің қозғалысын бақылау үшін дифференциалды интерферометрия әдісін қолдану нәтижелері ұсынылған. Атасу темір кен орындарындағы зерттеулер Sentinel-1 спутниктерінің деректері негізінде жүргізілді. Нәтижелер жер бедеріндегі айтарлықтай деформациялар мен шөгуді анықтады. Бұл әдіс табиғи (жер сілкіністері, жанартаулық белсенділік) және антропогендік (тау-кен жұмыстары, құрылыс) процестерді жоғары дәлдікпен бақылауға мүмкіндік береді. Зерттеу тек қана жер бедерінің өзгерістерін бақылаумен шектелмейді, сонымен қатар геодинамикалық процестерді болжауға, қауіпті аймақтарды анықтауға және табиғи апаттардың алдын алуға көмектеседі. Дифференциалды интерферометрия ұзақ мерзімді мониторинг және уақыт бойынша динамикалық өзгерістерді талдау үшін ерекше маңызды құрал болып табылады. Бұл әдіс кеңістіктік деректерді тиімді қолдану арқылы аумақтардың қауіпсіздігі мен тұрақты дамуын қамтамасыз етеді.

Түйінді сөздер: дифференциалды интерферометрия, спутниктік радиолокация, геодезиялық бақылау, жер бедерінің деформациясы, табиғи апаттар, мониторинг, болжау, геодинамикалық процестер.

Results of observations of the movement of the earth's surface using the method of differential interferometry

Abstract. This paper presents the results of using the differential interferometry method to monitor surface motion. The research was conducted using Sentinel-1 satellite data at the Atasu iron ore deposits. The findings revealed significant surface deformations and subsidence, confirming the high precision of this method for monitoring both natural (earthquakes, volcanic activity) and anthropogenic (mining, construction) processes. Differential interferometry not only detects current surface changes but also predicts future developments, which is crucial for preventing natural and man-made disasters. The method allows for long-term monitoring and the analysis of dynamic changes over time and space. It offers new prospects for enhancing territorial safety and sustainable development by providing precise geodynamic analysis and control.

Key words: differential interferometry, satellite radar, geodetic monitoring, surface deformation, natural disasters, monitoring, prediction, geodynamic processes.

Результаты наблюдений за движением земной поверхности с помощью метода дифференциальной интерферометрии

Аннотация. В статье представлены результаты использования метода дифференциальной интерферометрии для мониторинга движения поверхности Земли. Исследования проводились на основе данных спутников Sentinel-1 в районе месторождений железной руды Атасу. Полученные данные выявили значительные деформации и просадки, что подтверждает высокую точность метода для мониторинга как природных (землетрясения, вулканизм), так и антропогенных (горные работы, строительство) процессов. Дифференциальная интерферометрия позволяет не только фиксировать текущие изменения земной поверхности, но и прогнозировать их развитие, что особенно важно для предотвращения природных и техногенных катастроф. Метод обеспечивает возможность долгосрочного мониторинга и анализа динамических изменений в пространстве и времени. Он открывает новые перспективы для обеспечения безопасности территорий и устойчивого их развития за счет точного геодинамического анализа и контроля.

Ключевые слова: дифференциальная интерферометрия, спутниковая радиолокация, геодезический мониторинг, деформация поверхности, природные катастрофы, мониторинг, прогнозирование, геодинамические процессы.

Кіріспе

Жер бетінің қозғалысын бақылау және талдау геодинамикалық процестерді түсінуде және табиғи апаттардың алдын алуға шешуші рөл атқарады. Жер қыртысының деформацияларын егжей – тегжейлі зерттеу үшін қолданылатын ең тиімді әдістердің бірі-дифференциалды интерферометрия (DInSAR). Бұл әдіс тектоникалық белсенділіктен, жанартау атқылауынан, тау жыныстарының құлауынан, сондай-ақ тау-кен өндірісі мен құрылыс сияқты адам әрекетінен болатын биіктік өзгерістерін жоғары дәлдікпен өлшеуге мүмкіндік береді.

Радиолокациялық спутниктерден алынған мәліметтерге негізделген дифференциалды интерферометрия жоғары дәлдіктегі деформация карталарын жасауға және уақыт бойынша жер бетіндегі өзгерістердің динамикасын бақылауға мүмкіндік береді. Бұл әдісті қолдану аумақтардың қауіпсіздігі мен тұрақты дамуын қамтамасыз ету үшін маңызды болып табылатын табиғи процестерді бақылау мен болжаудың жаңа мүмкіндіктерін ашады.

Бұл зерттеудің мақсаты дифференциалды интерферометрия әдісін қолдана отырып, жер бетінің қозғалысын бақылау нәтижелерін талдау болып табылады. Жұмыста әдістің теориялық аспектілері де, оны әртүрлі географиялық және геологиялық объектілерде қолданудың практикалық нәтижелері де қарастырылады. Әр түрлі спутниктерден алынған деректерді салыстырмалы талдауға және өлшеу дәлдігін бағалауға ерекше назар аударылады.

Зерттеу әдістері

Бұл зерттеу жер бетінің қозғалысын бақылау және талдау үшін дифференциалды интерферометрия (DInSAR) әдісін қолданады. Зерттеуде қолданылатын негізгі кезеңдер мен әдістерге мыналар жатады:

1. Радиолокациялық спутниктік түсірілім деректерін жинау:

- Sentinel-1 радиолокациялық спутниктен алынған деректерді пайдаландық. Бұл спутниктер жер бетінің биіктігінің өзгеруін егжей-тегжейлі зерттеуге мүмкіндік беретін жоғары кеңістіктік ажыратымдылықтағы жер бетінің суреттерін ұсынады;

- мерзімді түсірілім деформациялардың динамикалық көрінісін қамтамасыз ете отырып, уақыт бойынша өзгерістерді бақылауға мүмкіндік береді.

2. Деректерді алдын ала өңдеу:

- атмосфералық және орбиталық бұрмалануларды ескере отырып, радиолокациялық кескіндерді түзету. Бұл атмосфералық құбылыстардан (мысалы, ылғалдылық пен температураның ауытқуы) туындаған кедергілерді жою үшін әртүрлі модельдерді қолдануды қамтиды;

- кескіндерді тіркеу, яғни әр түрлі суреттерді дұрыс салыстыру үшін радиолокациялық деректерді бірыңғай координаталық жүйеге келтіру.

3. Интерферограммаларды құру:

- уақыттың әртүрлі нүктелерінде алынған екі радиолокациялық кескінді қабаттастыру арқылы интерферог-

раммаларды құру. Интерферограммалар бетінің биіктігінің өзгеруіне байланысты фазалық сдсуларды анықтауға мүмкіндік береді;

- интерферограммалардың сапасын жақсарту және шуды жою үшін сүзгілерді қолдану.

4. Дифференциалды талдау:

- бетінің биіктігінің нақты өзгеруін анықтау үшін дифференциалды интерферограммаларды есептеу. Бұл деформацияларды бірнеше миллиметрге дейін анықтауға мүмкіндік береді;

- бетінің қозғалыс динамикасын анықтау үшін интерферометриялық деректердің уақыт қатарын талдау.

5. Деректерді геокодтау және тексеру:

- деформация карталарын жасау үшін интерферометриялық деректерді географиялық координаттарға байланыстыру;

- нәтижелердің дәлдігі мен сенімділігін тексеру үшін алынған деректерді жердегі өлшемдермен салыстыру (мысалы, GPS деректері).

6. Нәтижелерді талдау және түсіндіру:

- бетінің қозғалысына әсер ететін негізгі факторларды анықтау (мысалы, тектоникалық белсенділік, вулканизм, адам әрекеті);

- деформациялық процестердің модельдерін құру және одан әрі өзгерістерді болжау.

Дифференциалды интерферометрия әдісін қолдану Жер бетіндегі өзгерістерді егжей-тегжейлі зерттеуге ғана емес, сонымен қатар табиғи және антропогендік процестерді бақылау үшін маңызды болып табылатын болжамды модельдерді жасауға мүмкіндік береді.

Зерттеу нәтижелері

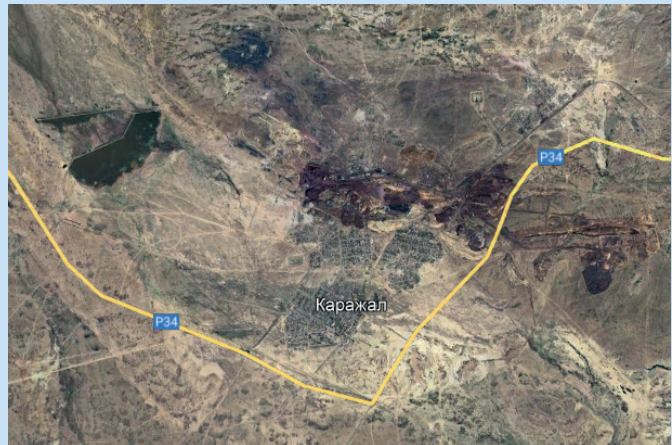
Атасу темір кен орындарында өңделген аумақтарында жер бетінің шөгуіне мониторинг ретінде Sentinel-1b спутниктерінен Sentinel Application Platform (SNAP) бағдарламасында алынған шағылысқан радиолокациялық сигналдар арасындағы фазалық сдсулар есептелді [1]. Есептелген интерферограммалар бойынша 2018 жылдан 2021 жылға дейінгі кезеңде 8 жұп суретке талдау жүргізілді. Зерттеу кезеңінде карьердің бетіне қайта өңдеу жүргізілді. Интерферограммада 2019 жылдан 2021 жылға дейінгі контурлары нақты белгіленген екі жылжымалы мұльда бекітілген.

Әрі қарай SNAP бағдарламасында осы кезеңдер бойынша спутниктік суреттерге өңдеу жүргіземіз.

1. Sentinel-1 TOPS (Terrain Observation by Progressive Scans) SPLIT
2. Sentinel S-1 Apply Orbit File (AOF)
3. Coregistration Sentinel S-1 TOPS Coregistration S1 back Geocoding
4. Coregistration Sentinel S-1 Enhanced Spectral Diversity (ESD)
5. Geometric-Range – Doppler Terrain Correction (GRD TC)
6. Interferometric Interferogram Formation (IFF)
7. Goldstein Phase Filtering
8. Sentinel-1 Raster Subset

Офсеттік картаның құрылысын үш кезеңге бөлуге болады [2]:

- корегентті тіркеу;

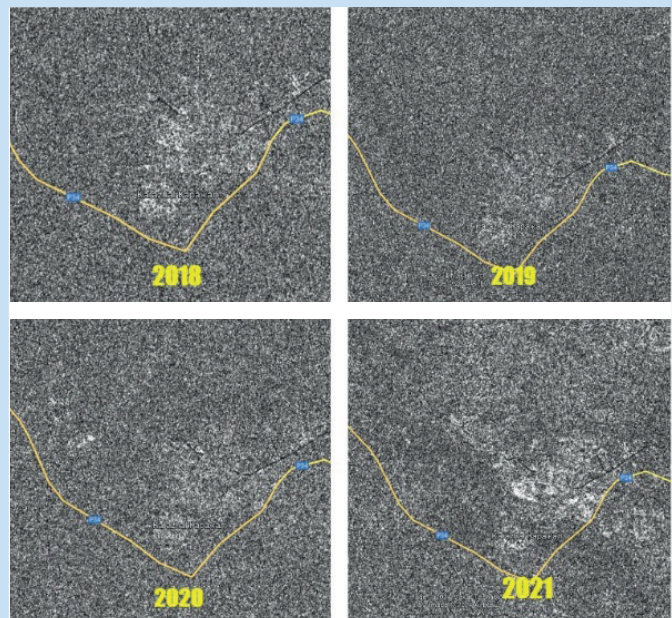


**Сурет 1. Зерттелген аумақтың бейнесі.
Figure 1. Map of the area under study.
Рис. 1. Карта исследуемого участка.**

-дифференциалды интерферограмманың құрылысы;
- орын ауыстыру картасын қалыптастыру.

Геокодтау және калибрлеу Қаражал қаласының рельефінің бұрын алынған цифрлық моделіне қатысты орындалды. Есептеулер көрсеткендей, бұл қайта өңдеу жұмыстары Атасу кен орнында екі шөгу мұльдасы қалыптаса бастады. Ол 2019 жылдан 2021 жылға дейін шөгінділер көбейе бастады.

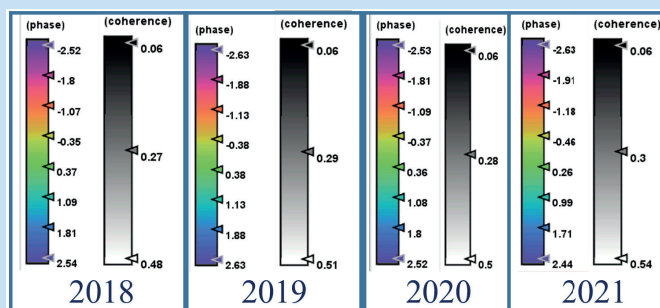
Қажетті калибрленген .tiff файлды алған соң, интерферограмманы Google Earth қосымшасында көрсету үшін kml форматына ауыстырылды (сурет 2).



**Сурет 2. 2018 жылдан 2021 жылға дейін Sentinel-1b радарлы түсірілімдерінен Атасу кен орындарында когеренттік карталары [авторлар құрастырған].
Figure 2. Construction of a coherence map for the Atasu deposits based on Sentinel-1b radar images from 2018 to 2021 [compiled by the authors].**

Рис. 2. Построение карты когерентности на месторождения Атасу на основе радарных снимков Sentinel-1b с 2018 по 2021 гг. [составлено авторами].

Coherence жоғары мәндері суреттердегі фазалар бір-бірімен тығыз байланысты аймақтарды көрсетеді, бұл жер бетінің тұрақтылығын көрсетеді [3, 4]. Төмен coherence мәндері деформация аймақтары сияқты жоғары өзгеру динамикасы бар аймақтарды көрсетеді. Coherence картасы негізінде жер бетінің қозғалысын байқадық. Coherence жоғары болған жағдайда, бетінің қозғалысы аз байқалады, ал төмен coherence айтарлықтай деформациялары бар аймақтарды көрсетеді. Төменде көрстілген кескіндер бойынша Атасу кен орнындағы карьерде төмен когерентті коэффициенті байқалды. Кен орнындағы үйінділерде біз жер бедерінің деформациясы белсенді өзгерісі 2018 және 2021 жылы болғанын көре аламыз (3 сурет).



Сурет 3. 2018–2021 жылдардағы фазалық ауысулар мен когерентті деректердің салыстырмалы талдауы [авторлар құрастырған].

Figure 3. Comparative analysis of phase shifts and coherent data for the years 2018–2021 [compiled by the authors].

Рис. 3. Сравнительный анализ фазовых сдвигов и когерентных данных по годам 2018–2021 гг. [составлено авторами].

Coherence кескінінің нәтижесі (когеренттілік коэффициенті) екі немесе одан да көп SAR (Synthetic Aperture Radar) уақыттың әртүрлі нүктелерінде немесе әртүрлі көру бұрыштарында алынған кескіндер арасындағы корреляция дәрежесінің өлшемі болып табылады. Когеренттілік коэффициенті бір аймақтан алынған екі түрлі суреттегі сигнал фазаларының қаншалықты бірдей екенін көрсетеді (кесте 1).

Кесте 1

Алынған деректерді салыстырмалы талдау

Table 1

Comparative analysis of the data obtained

Таблица 1

Сравнительный анализ полученных данных

Жыл	Phase		Coherence		Орташа есебі	
	min	max	min	max	Phase	Coherence
2018	2.54	-2.5	0.48	0.06	0.07	0.27
2019	2.63	-2.63	0.29	0.06	0	0.29
2020	2.52	-2.53	0.5	0.06	-0.04	0.28
2021	2.44	-2.63	0.54	0.06	-0.78	0.3

Когеренттілік коэффициентінің жоғары мәні суреттер арасындағы күшті корреляцияны және осылайша нәтижелерді сенімді түсіндіруді көрсетеді. Ол тұрақты болып қалатын және деформацияға ұшырамайтын жер бетінің аймақтарын анықтауға, сондай-ақ сейсмикалық аймақтар, белсенді лава ағындары, жер асты суларының төмендеуі және т. б. сияқты жоғары өзгеру динамикасы бар аймақтарды анықтауға мүмкіндік береді.

Атасу кен орнындағы үлкен кара тесіктерді (шұңқырларды) анықтау кен қазу, қазу немесе басқа құрылыс әрекеттері сияқты тау-кен жұмыстарымен байланысты процестерді көрсетуі мүмкін. Бұл процестер Жер бетінің тұрақтылығының төмендеуіне және шұңқырлардың пайда болуына әкелуі мүмкін [5–8].

Бұл шұңқырлардың пайда болу себептері мен салдарын толық түсіну үшін қосымша зерттеу қажет. Бұған кен орнын геологиялық зерттеу, тау-кен процестерін зерттеу, сондай-ақ жер бетін бақылау деректері және гидрогеологиялық зерттеулер сияқты басқа деректер көздерін талдау кіруі мүмкін. Мұндай кешенді тәсіл шұңқырлардың пайда болу себептерін жақсы түсінуге және кен орнындағы тәуекелдер мен қауіпсіздікті басқарудың тиісті Стратегияларын жасауға мүмкіндік береді [9, 10].

Қорытынды

2018–2021 жылдар аралығында Sentinel-1B спутнигінен алынған мәліметтерге дифференциалды интерферометрия әдісін қолдана отырып жүргізілген зерттеу барысында Атасу кен орнының карьерінде кара тесіктерге ұқсайтын Елеулі деформациялар анықталды. Бұл деформациялар мансаптық инфрақұрылым мен қоршаған орта үшін үлкен проблема болып табылады, оны зерттеу жағымсыз салдардың алдын алу үшін өте маңызды.

Алынған нәтижелерді талдау келесі қорытындылар жасауға мүмкіндік берді:

- *Деформацияларды анықтау*: дифференциалды интерферометрия әдісін қолдану Атасу кен орнының бетінің қарастырылып отырған уақыт кезеңіндегі сысуын дәл анықтауға мүмкіндік берді. Кара тесіктерге ұқсайтын анықталған деформациялар тау-кен жұмыстары мен карьерді пайдаланудағы күрделі мәселелерді көрсетеді.

- *Теріс әсер*: анықталған кара тесіктер жұмысшылардың қауіпсіздігі мен мансаптық инфрақұрылымға, сондай-ақ қоршаған ортаға қауіп төндіреді. Бұл апаттарға, дұрыс жұмыс істемеуге және табиғи ресурстардың ластануына әкелуі мүмкін.

- *Шаралар қабылдау қажеттілігі*: алынған нәтижелер Атасу кен орнындағы деформацияларды мониторингілеу және басқару жөнінде шаралар қабылдау қажеттігін көрсетеді. Бұл жер бетінің күйін үнемі бақылауды, деформациялардың алдын алу стратегияларын әзірлеуді және жұмысшылар мен қоршаған ортаның қауіпсіздігін қамтамасыз етуді қамтиды.

- *Қосымша зерттеулер*: деформациялардың пайда болу механизмдерін және олардың карьерге әсерін неғұрлым толық түсіну үшін қосымша зерттеулер мен деректерді талдау қажет.

Жалпы, Sentinel-1B деректерінде дифференциалды интерферометрия әдісін қолдану Атасу кен орнының жай-

күйі және деформациялардың алдын алу және олардың қоршаған ортаға және карьер инфрақұрылымына әсерін азайту бойынша шаралар қабылдау қажеттілігі туралы маңызды тұжырымдар жасауға мүмкіндік берді.

АЛҒЫС

Зерттеу Қазақстан Республикасының жас ғалымдардың жобалары бойынша №AP22788508 ғылыми жобасы бойынша орындалды.

ПАЙДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. *Атасу темір кен орнындағы жер бетінің қозғалысын бақылау нәтижелерінің талдауы / Ф.К. Низаметдинов [және т. б.] // Тау-кен ғылымдары журналы. 2024. Шығ. 3. Б. 183–189 (орыс тілінде)*
2. *Баймағамбетов С.К., Жұмағалиев Е.Т., Әзімбаев Т.А. Жер бетінің деформацияларын ұзақ мерзімді дифференциалды интерферометрия арқылы бақылау әдісі // ҚазҰУ хабаршысы. 2018. № 137 (6). Б. 159–165 (орыс тілінде)*
3. *Қасенов Б.М. Қазақстан аймақтарында жер бетінің деформацияларын бағалау үшін дифференциалды интерферометрия негіздері // Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының хабарлары, Геологиялық және техникалық ғылымдар сериясы. 2012. № 5. Б. 70–75 (орыс тілінде)*
4. *Жұмабаева Г.А., Мұхамбетов Ж.Ж. Жер бетінің мониторингі үшін радиолокациялық деректердің дифференциалды интерферометриясы // Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының хабарлары, Геологиялық және техникалық ғылымдар сериясы. 2016. № 4. Б. 74–78 (орыс тілінде)*
5. *Қазақстанның аридті аймағының тау-кен өнеркәсіптік өндірісі кен орындарының экологиялық қауіпсіздігі мәселесі / Р. Бексеитова [және т. б.] // Геодезия және картография. 2018. № 44 (4). Б. 146–155 (ағылшын тілінде)*
6. *Жантаев Ж. және т. б. Радиолокациялық интерферометрия пайдалы қазбалар кен орындары мен іргелес урбанизацияланған аумақтарды аймақтық геодинамикалық бақылау әдісі ретінде // Сигналдарды өңдеу шекаралары бойынша 3-ші халықаралық конференция (ICFSP), Париж, Франция, 2017. Б. 86–90 (ағылшын тілінде)*
7. *Мозер Д.В., Левин Е., Самбергенова А. К. Sentinel-1A радиолокациялық суреттерін өңдеу нәтижелерінің ауыл шаруашылығы учаскелерінің заттай бақылауларымен ұқсастығын зерттеу // Геодезия және картография. 2019. № 8. Б. 52–58 (орыс тілінде)*
8. *Шилан Ф., Алиреза С., Мұхаммед К., Шабанов С., Акил Т., Каруппаннан С. (2023 ж. қараша). Өскемендегі өнеркәсіптік қызметтен туындаған ауыр металдардың концентрациясын бағалау үшін Sentinel-2 деректерін пайдалану, Солтүстік-Шығыс Қазақстан. [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(23\)09116-8?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844023091168%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(23)09116-8?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844023091168%3Fshowall%3Dtrue) (ағылшын тілінде)*
9. *Мозер Д.В., Тұяқбай А.С., Гей Н.И. және т. б. Жерсеріктік радиолокациялық интерферометрияны пайдалана отырып, Қарағанды көмір бассейнінің жұмыс істеген аумақтарының мониторингі // Интерэкспо Гео-Сібір, 2014. Т. 4. № 1. Б. 14–18 (орыс тілінде)*
10. *Кантемиров Ю.И. радиолокациялық интерферометрияның қысқаша теориялық негіздері және оның PS және SBAS көпжақты вариациялары // Геоматика журналы. 2012. № 1. Б. 22–26 (орыс тілінде)*

REFERENCES

1. *Analiz dvizheniya podrobotannykh uchastkov poverkhnosti na mestorozhdenii zheleznoi rudy Atasu [Analysis of Undermined Ground Surface Movements at the Atasu Iron Ore Deposit], F.K. Nizametdinov [et al.], Zhurnal gornykh nauk [Journal of Mining Sciences]. 2024. Issue 3. 183–189 pp. (in Russian)*
2. *Baimaganbetov S.K., Zhumagaliev E.T., Azimbaev T.A. Differential'naya interferometriya dlitel'nogo perioda kak sovremenniy metod monitoringa deformatsii zemnoi poverkhnosti [Long-term Differential Interferometry as a Modern Method for Monitoring Ground Surface Deformations], Vestnik KazNU [KazNU Bulletin]. 2018. No. 137 (6). 159–165 pp. (in Russian)*
3. *Kasenov B.M. Osnovy differentsial'noi interferometrii dlya otsenki deformatsii zemnoi poverkhnosti (na primere regionov Kazakhstana) [Fundamentals of Differential Interferometry for the Assessment of Ground Surface Deformations (on the Example of Kazakhstan Regions)], Izvestiya Natsional'noi akademii nauk Respubliki Kazakhstan, Seriya geologicheskaya i tekhnicheskikh nauk [Proceedings of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geological and Technical Sciences]. 2012. No. 5. 70–75 pp. (in Russian)*
4. *Zhumabayeva G.A., Mukhambetov Zh.Zh. Differentsial'naya interferometriya radiolokatsionnykh dannykh dlya monitoringa zemnoi poverkhnosti [Differential Interferometry of Radar Data for Ground Surface Monitoring], Izvestiya Natsional'noi akademii nauk Respubliki Kazakhstan, Seriya geologicheskaya i tekhnicheskikh nauk [Proceedings of the National Academy of Sciences of the*

- Republic of Kazakhstan, Series of Geological and Technical Sciences]. 2016. No. 4. 74–78 pp. (in Russian)
5. The problem of environmental safety of the fields of mining industrial production of arid zone of Kazakhstan / R. Bexeitova [et al.] // *Geodesy and Cartography*. 2018. No. 44 (4). 146–155 pp. (in English)
 6. Z. Zhanatayev et al. SAR interferometry, as a method of area-based geodynamic control on mineral deposits and adjacent urbanized areas // 2017 3rd International Conference on Frontiers of Signal Processing (ICFSP), Paris, France, 2017. 86–90 pp. (in English)
 7. Moser D.V., Levin E., Satbergenova A.K. Issledovanie skhodimosti rezul'tatov obrabotki radiolokatsionnykh snimkov Sentinel-1A s naturnymi nablyudenyami sel'skokhozyaistvennykh uchastkov [Studying the results of the survey of radar snips Sentinel-1A with natural indicators of rural areas], *Geodeziya i kartografiya* [Geodesy and cartography]. 2019. No. 8. 52–58 pp. (in Russian)
 8. Shilan F., Alireza S., Mohammad K., Sabanov S., Aqil Tariq, Karuppannan S. (November 2023). Using Sentinel-2 data to estimate the concentration of heavy metals caused by industrial activities in Ust-Kamenogorsk, Northeastern Kazakhstan. [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(23\)09116-8?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844023091168%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(23)09116-8?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844023091168%3Fshowall%3Dtrue) (in English)
 9. Moser D.V., Tuyakbay A.S., Gay N.I. et al. Monitoring podrobotannykh territorii Karagandinskogo ugol'nogo basseina s ispol'zovaniem sputnikovoi radarnoi interferometrii [Monitoring of the protected territory of the Karaganda Upland basin with the use of satellite radar interferometry], *Interexpo Geo-Sibir'* [Interexpo Geo-Siberia]. 2014. V. 4. No. 1. 14–18 pp. (in Russian)
 10. Kantemirov Yu.I. Kratkie teoreticheskie osnovy radarnoi interferometrii i ee mnogoprokhodnykh variatsii PS i SBas [Brief theoretical bases of radar interferometry and multi-dimensional variations PS and Sbas], *Zhurnal Geomatika* [Journal of geomatics]. 2012. No. 1. 22–26 pp. (in Russian)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Анализ движения подработанных участков поверхности на месторождении железной руды Атасу / Ф.К. Низаметдинов [и др.] // *Журнал горных наук*. 2024. Вып. 3. С. 183–189 (на русском языке)
2. Баймаганбетов С.К., Жумагалиев Е.Т., Азимбаев Т.А. Дифференциальная интерферометрия длительного периода как современный метод мониторинга деформаций земной поверхности // *Вестник КазНУ*. 2018. № 137 (6). С. 159–165 (на русском языке)
3. Касенов Б.М. Основы дифференциальной интерферометрии для оценки деформаций земной поверхности (на примере регионов Казахстана) // *Известия Национальной академии наук Республики Казахстан, Серия геологическая и технических наук*. 2012. № 5. С. 70–75 (на русском языке)
4. Жумабаева Г.А., Мухамбетов Ж.Ж. Дифференциальная интерферометрия радиолокационных данных для мониторинга земной поверхности // *Известия Национальной академии наук Республики Казахстан, Серия геологическая и технических наук*. 2016. № 4. С. 74–78 (на русском языке)
5. Проблема экологической безопасности месторождений горнорудного промышленного производства аридной зоны Казахстана / Р. Бексейтова [и др.] // *Геодезия и картография*. 2018. № 44 (4). С. 146–155 (на английском языке)
6. Жантаев Ж. и др. Радиолокационная интерферометрия как метод зонального геодинамического контроля месторождений полезных ископаемых и прилегающих урбанизированных территорий // 3-я Международная конференция по рубежам обработки сигналов (ICFSP), Париж, Франция, 2017. С. 86–90 (на английском языке)
7. Мозер Д.В., Левин Е., Сатбергеннова А.К. Исследование сходимости результатов обработки радиолокационных снимков Sentinel-1A с натурными наблюдениями сельскохозяйственных участков // *Геодезия и картография*. 2019. № 8. С. 52–58 (на русском языке)
8. Шилан Ф., Алиреза С., Мохаммад К., Сабанов С., Акил Тарик, Каруппаннан С. (Ноябрь 2023 г.) Использование данных Sentinel-2 для оценки концентрации тяжелых металлов, вызванной промышленной деятельностью в Усть-Каменогорске, Северо-Восточный Казахстан. [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(23\)09116-8?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844023091168%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(23)09116-8?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844023091168%3Fshowall%3Dtrue) (на английском языке)
9. Мозер Д.В., Туякбай А.С., Гей Н.И. и др. Мониторинг подработанных территорий Карагандинского угольного бассейна с использованием спутниковой радарной интерферометрии // *Интерэкспо Гео-Сибирь*, 2014. Т. 4. № 1. С. 14–18 (на русском языке)
10. Кантемиров Ю.И. Краткие теоретические основы радарной интерферометрии и ее многопроходных вариаций PS и SBas // *Журнал Геоматика*. 2012. № 1. С. 22–26 (на русском языке)

Авторлар туралы мәліметтер:

Сатбергенова А.К., т.ғ.м., «Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті», «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының аға оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан), a.satbergenova@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-5806-2827>

Зекен А.К., «Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті», «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының магистранты, (Қарағанды қ., Қазақстан), zekenovaig@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0008-5303-8770>

Низаметдинов Ф.К., т.ғ.д., профессор «Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті», «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының профессоры, (Қарағанды қ., Қазақстан), niz36@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1933-6351>

Низаметдинов Н.Ф., т.ғ.к., доцент «Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті», «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының профессоры (Қарағанды қ., Қазақстан), niz36@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8881-1259>

Information about the authors:

Satbergenova A.K., Masters of Engineering Sciences, Senior Lecturer of the Department of «Surveying and Geodesy», Abylkas Saginov Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

Zeken A.K., Master’s student of the Department of «Surveying and Geodesy», Abylkas Saginov Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

Nizametdinov F.K., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of «Surveying and Geodesy», Abylkas Saginov Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

Nizametdinov N.F. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Surveying and Geodesy», Abylkas Saginov Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

Сведения об авторах:

Сатбергенова А.К., м.т.н., старший преподаватель кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», «Карагандинский технический университет имени А. Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

Зекен А.К., магистрант кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан)

Низаметдинов Ф.К., д.т.н., профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан)

Низаметдинов Н.Ф., к.т.н., доцент кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан)

VIII Геолого-геофизическая конференция и выставка

GeoEurasia 2025

ГеоЕвразия-2025
Геологоразведочные технологии:
наука и бизнес

Современные вызовы –
окно возможностей
для науки и бизнеса

9 направлений программы

17 круглых столов

>500 м² выставка

Участие бесплатное*

*при регистрации до 20.04

14-16 мая 2025 г.
Москва

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ



info@gece.moscow
www.gece.moscow