

Код МРНТИ 36.23.31

***А.К. Сатбергенова¹, А.А. Калдыбаев¹, М.Б. Игемберлина², Д.С. Ожигин²**¹Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный Университет имени аль-Фараби» (г. Алматы, Казахстан),²Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический Университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОДРАБОТАННОЙ ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА КАРАГАНДЫ

Аннотация. В настоящей работе приведены результаты мониторинга состояния подработанной территории района шахты им. А. Костенко на основе архивных спутниковых радарных данных Sentinel-1B. Обработка производилась в программе SNAP 134 пар радарных снимков за период с 2018 по 2021 годы. Был проведен анализ полученных интерферограмм с целью определения участков, подверженных деформациям, для выполнения аэрофотосъемки с помощью квадрокоптера DJI Mavic 2 Pro. В данной работе выполнено планирование и аэрофотосъемка выявленного участка с учетом требований к размеру, качеству и взаимному расположению фотографий. В результате обработки в программном обеспечении Agisoft Metashape получены ортофотоплан, цифровая модель местности и трехмерная модель местности.

Ключевые слова: спутниковая радарная интерферометрия, аэрофотосъемка, цифровая модель местности, подработанная территория города Караганды, геодезический мониторинг.

Караганды қаласының өңделген аумағында жер бетінің жағдайына аэроғарыштық мониторингін жасау

Аннотация. Бұл жұмыста Sentinel-1B архивтік спутниктік радиолокациялық деректер негізінде А. Костенко атындағы кен орны аумағындағы жерасты жұмыстары жүргізілген жер аймағының жай-күйіне мониторинг нәтижелері көрсетілген. SNAP бағдарламасында 2018-2021 жылдар аралығында 134 жұп радиолокациялық түсірілімді өңдеу жүргізілді. DJI Mavic 2 Pro квадрокоптерінің көмегімен аэрофототүсірілім жасау үшін деформацияға ұшыраған аймақтарды анықтау мақсатында алынған интерферограммаларға талдау жүргізілді. Бұл жұмыста фотосуреттердің мөлшеріне, сапасына және өзара орналасуына қойылатын талаптарды ескере отырып, анықталған учаскені жоспарлау және аэрофототүсірілім жасалды. Agisoft Metashape бағдарламалық жасақтамасында өңдеу нәтижесінде ортофотоплан, рельефтің цифрлық моделі және рельефтің үш өлшемді моделі алынды.

Түйінді сөздер: спутниктік радиолокациялық интерферометрия, аэрофототүсірілім, жергілікті жердің цифрлық моделі, Караганды қаласының жерасты өңделген жер аумағы, геодезиялық мониторинг.

Aerospace monitoring of the undermined territory condition surface of the city of Karaganda

Abstract. This paper presents the results of monitoring the condition of the undermined area of the A. Kostenko mine based on archived Sentinel-1B satellite radar data. The SNAP program processed 134 pairs of radar images for the period from 2018 to 2021. The analysis of the obtained interferograms was carried out to determine the areas that subject to deformations for aerial photography using the DJI Mavic 2 Pro quadcopter. In this work, planning and aerial photography of the identified area has been carried out, considering the requirements for the size, quality and relative location of photographs. As a result of processing in the Agisoft Metashape software, an orthophotoplan, a digital terrain model and a three-dimensional terrain model were obtained.

Key words: satellite radar interferometry, aerial photography, digital terrain model, undermined territory of the city of Karaganda, geodetic monitoring.

Введение

Исследования района подработанных территорий Карагандинского каменноугольного бассейна проводятся с 2011 года с применением технологии спутниковой радарной интерферометрии [1]. Опираясь на мировой опыт по применению технологии InSAR, для мониторинга промышленных районов по добыче полезных ископаемых с целью определения оседания земной поверхности разработан и применен комплексный подход на территории месторождения [2, 3].

Методы исследования

В 2014 году выполнялся мониторинг за оседаниями земной поверхности на территории Карагандинского угольного бассейна на основе радарных данных со спутника COSMO-SkyMed (Италия) [4, 5]. Обработка космических снимков производилась в программном модуле ENVI SarScape. По результатам обработки данных в районе выемки угля выявлены муьды оседаний, которые составили около 20 мм.

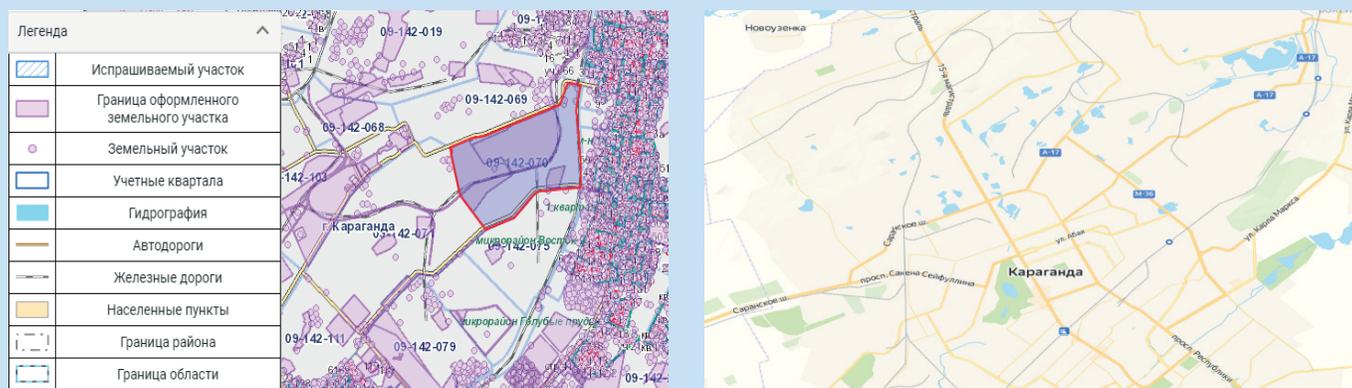
Особый интерес представляет поле угольной шахты имени И.А. Костенко, расположенное непосредственно на территории города Караганды (рис. 1). Первые шахтные вертикальные стволы были заложены в 1934 году, а шахта была введена в эксплуатацию в 1942 году. Шахтные поля были объединены с другими, в которых разработаны

8 угольных пластов Карагандинской свиты, глубина шахтных стволов достигает 840 метров.

На территории города Караганды, подработанными шахтными полями, расположены частные жилые дома и организации, объекты малого и среднего бизнеса, высоковольтные линии электропередач, международная трасса М-36, дорога республиканского значения А-17, дороги областного и местного значения, кольцевые дорожные развязки, железнодорожный тупик, трубопровод газоснабжения города, построена газораспределительная станция (рис. 2).

Результаты исследования

В качестве мониторинга за оседанием земной поверхности на подработанных территориях Карагандинского угольного бассейна были рассчитаны фазовые сдвиги между отраженными радиолокационными сигналами, полученными со спутников Sentinel-1B в программе Sentinel Application Platform (SNAP) [6]. По рассчитанным интерферограммам 134 пар снимков был проведен анализ за период с 2018 года по 2021 годы. На протяжении исследуемого периода проводилась повторная отработка угольных пластов шахты. На интерферограмме зафиксированы две муьды сдвижений, контуры которых с 2019 по 2021 годы четко обозначаются. Вертикальные оседания земной поверхности составляют в среднем



**Рис. 1. Выкопировка с сайта АИСГЗК (слева) и yandex.kz/maps (справа).
Сурет 1. МЖК ААЖ сайтынан көшіру (сол жақта) және yandex.kz/maps (оң жақта).
Figure 1. A copy from the AIS GZK website (on the left) and yandex.kz/maps (on the right).**



**Рис. 2. Газораспределительная станция по ул. Гоголя (слева) и трасса А-17 (справа).
Сурет 2. Гоголь көшесіндегі газ тарату станциясы (сол жақта) және А-17 трассасы (оң жақта).
Figure 2. Gas distribution station on Gogol Street (left) and highway A-17 (right).**

15 см в год. Построение карты смещений можно разбить на три этапа [7]:

- *коррегистрация;*
- *построение дифференциальной интерферограммы;*
- *формирование карты смещений.*

Геокодирование и калибровка выполнялись относительно полученной ранее цифровой модели рельефа города Караганды. Расчеты показали, что на протяжении проведения повторной отработки в районе шахты Костенко начали образовываться две мульды оседаний. Начиная с 2019 по 2021 годы, мульды оседаний начали увеличиваться. Оседания составляют в среднем 5,5 см за отчетный период. На шахте имени Костенко в данное время проводятся работы по пласту К3 по лаве 55 К3-3, мощность вынимаемого пласта при этом составила 2,8 м.

Получив необходимый откалиброванный .tiff файл, конвертировали в формат kml для отображения полученной интерферограммы в приложении Google Earth (рис. 3).

Для детального анализа процесса деформаций территории с выявленными характерными техногенными нарушениями проведена аэрофотосъемка квадрокоптером DJI Mavic 2 Pro с целью построения цифрового топографического плана.

Создание съемочного обоснования было проведено с помощью ГНСС оборудования, координаты центров опознавательных знаков определялись ГНСС приемником Leica GS14 (рис. 4). Привязка аэрофотоснимков с земной поверхностью производилась с помощью опознавательных знаков в виде белых кругов, в контраст с земной поверхностью для наилучшего определения их на снимках.

Перед летно-съемочными работами создано полетное задание, где учитываются основные технические параметры аэрофотосъемки: масштаб воздушного фотографирования, продольное Р и поперечное Q перекрытия аэроснимков. Они зависят от выбранного типа аэрофотоаппарата (АФА), поставленной геодезической задачи и точности ее решения. Разница от традиционной аэрофотосъемки – цифровая аэрофотосъемка осуществляется следующими методами: летно-съемочные работы, где используют камеры с ПЗС линейками, где обязательно присутствуют две системы GPS + INS, то есть Глобальная система позиционирования и Инерциальная система для вычисления положения изображения ПЗС-линейки в изометрическом пространстве в каждый момент времени полета. Эта система также часто используется при космических съемках. Бор-

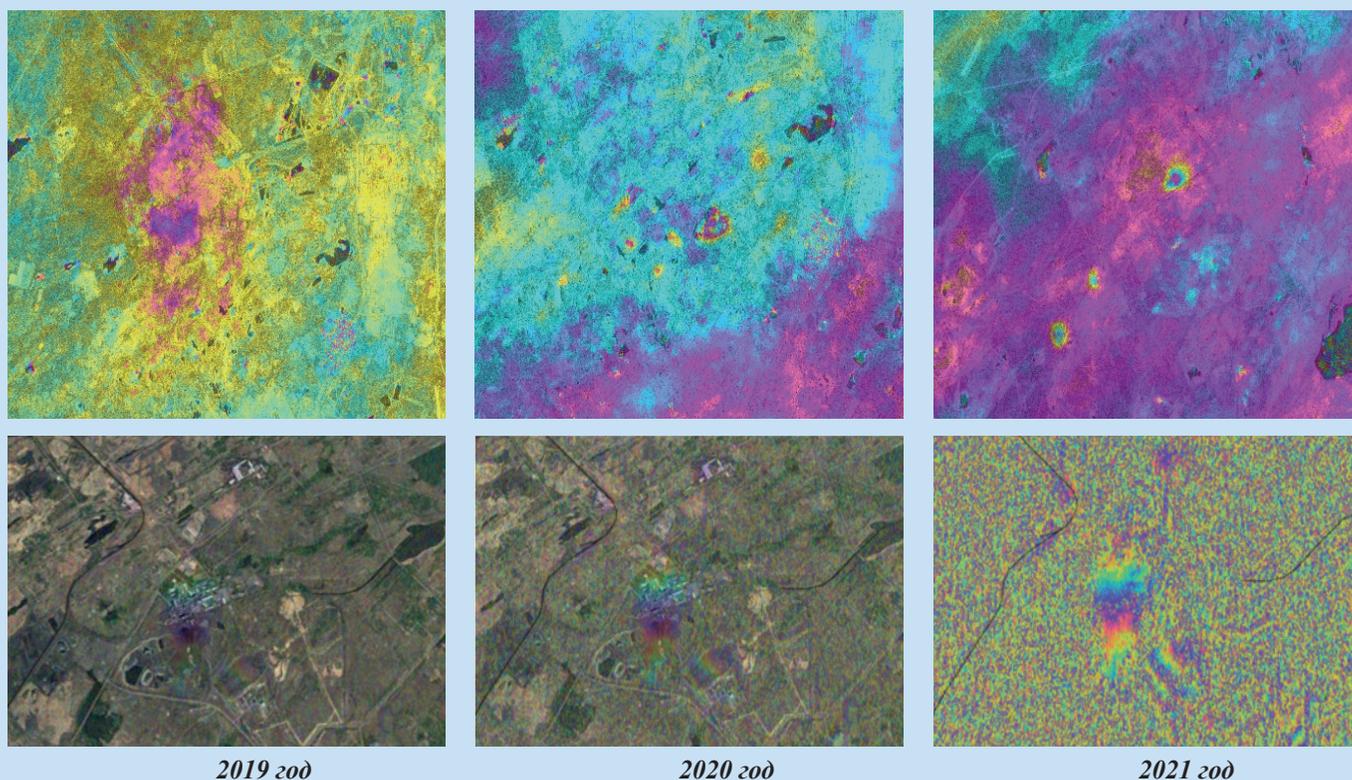


Рис. 3. Построение дифференциальной интерферограммы г. Караганда на основе пары радарных снимков с 2019 по 2021 гг. [составлено авторами].

Сурет 3. 2019-2021 жж. аралығында радар суреттерінің негізінде Қарағанды қаласының дифференциалды интерферограммасын құру [авторлар құрастырған].

Figure 3. Construction of a differential interferogram of Karaganda based on a pair of radar images for 2019-2021 [compiled by the authors].



Рис. 4. Выполнение привязки (слева) и план опознаков в районе подработанной территории (справа) [составлено авторами].

Сурет 4. Байланыстыруды орындау (сол жақта) және жұмыс істемейтін аумақ аймағында (оң жақта) белгілер жоспары [авторлар құрастырған].

Figure 4. The implementation of the binding (left) and the identification plan in the area of the part-time territory (right) [compiled by the authors].

товой компьютер и программное обеспечение позволяют переводить и передавать обработку данных с помощью GPS-приемника и данных INS – инерциальной системы и объединить, перенести изображение по ним в полные снимки и соответствующее разрешение [8-10].

Обработка результатов съемки

Результат цифровой аэрофотосъемки – цифровые аэрофотоснимки в количестве 516 шт. и их зафиксированные в полете элементы, по которым осуществляются внешние ориентиры (линейные – X_s, Y_s, Z_s – элементы центрального фотографирования; угловые – α, β, γ – положение камер относительно по оси координат).

Следуя правилам центрального проектирования, согласно которым строится изображение поверхности местности, аэроснимок поверхности содержит множество искажений, результаты которых вычисляются углом наклона оптической оси аэрофотоаппарата и колебанием рельефа поверхности местности. Удаление подобных искажений выполняется во время их фотограмметрической обработки, особенно во время трансформирования [9-11].

Обработка материалов аэрофотосъемки производилась в программном обеспечении Agisoft Metashape, который представляет собой универсальный инструмент для создания 3D-моделей поверхности обследуемых объектов на основе аэроснимков (рис. 5).

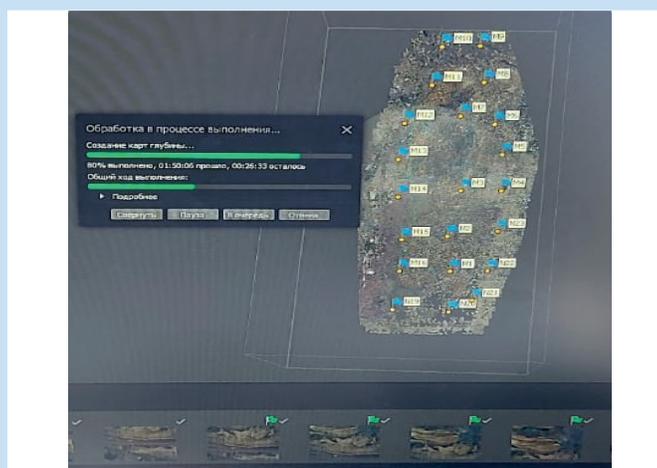
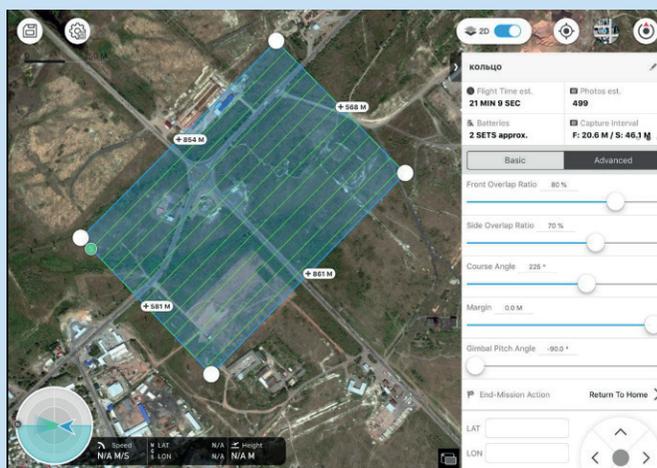


Рис. 5. Обработка материалов аэрофотосъемки в Agisoft Metashape.
Сурет 5. Agisoft Metashape бағдарламасында аэрофототүсірілім материалдарын өңдеу.
Figure 5. Processing of aerial photography materials in Agisoft Metashape.

В качестве основных исходных данных выступают: количество снимков, высота полета, разрешение съемки и площадь покрытия (табл. 1).

разреженное облако общих точек в 3D пространстве модели и данные о положении и ориентации камер (рис. 6).

Таблица 1
Исходные данные
Бастапқы деректер
Initial data

Наименование	Значение
Количество снимков	516
Высота полета	127
Разрешение съемки	2,8 см/пикс
Площадь покрытия	0,624 км ²

Обработка материалов аэрофотосъемки состоит из следующих основных этапов:

1. *Определение параметров внешнего и внутреннего ориентирования камер.* На первом этапе Agisoft Metashape находит общие точки фотографий и по ним определяет все параметры камер: положение, ориентацию, внутреннюю геометрию (фокусное расстояние, параметры дисторсии и т.п.). Результатами являются

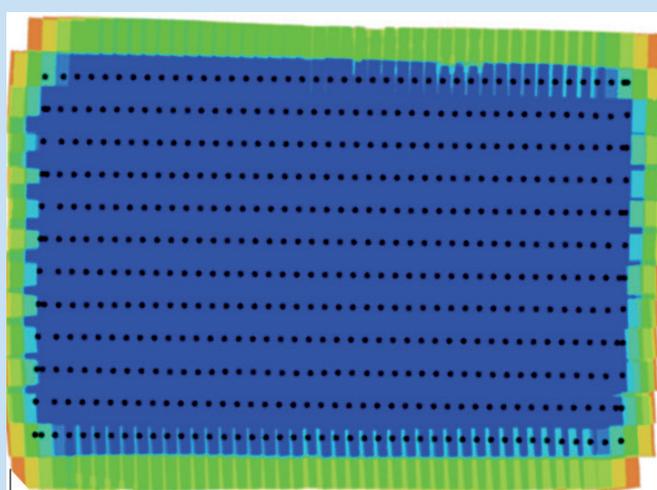


Рис. 6. Положение центров фотографирования и перекрытие снимков.
Сурет 6. Суретке түсірудің орталарының орналасуы және суреттердің қабаттасуы.
Figure 6. The position of the photographing centers and the overlap of the images.

2. Привязка полученной модели к внешней местной системе координат и настройка всех параметров системы. Весовыми коэффициентами для уравнивания являются ошибки определения координат точек съемки (фотоцентров) (табл. 2), определения координат точек наземной опорной сети, распознавание и обозначения контрольных точек на снимках (рис.7).

Таблица 2

Средняя ошибка по координатам центров фотографирования

Кесте 2

Суретке түсірудің орталарының координаттары бойынша орташа қатесі

Table 2

The average error in the coordinates of the photographing centers

Ошибка, X (мм)	Ошибка, Y (мм)	Ошибка, Z (мм)	Ошибка, XY (мм)	Общая ошибка (мм)
15	13	5	8	8



Рис. 7. Положение контрольных и опорных точек. Сурет 7. Бақылау және тірек нүктелерінің орналасуы. Figure 7. Position of control and reference points.

3. Построение плотного облака точек. На втором этапе Agisoft Metashape выполняет построение плотного облака точек на основании положений камер, рассчитанных на первом этапе обработки, и используемых фотографий.

4. На четвертом этапе Agisoft Metashape строит трехмерную поверхность: полигональную модель и/или карту высот. Трехмерная полигональная модель описывает форму объекта на основании плотного облака точек. Также возможно быстрое построение модели на основании только разреженного облака точек. Поскольку полигональная модель часто бывает излишней, Agisoft Metashape позволяет сразу перейти к построению карты высот (рис. 8), отказавшись от построения полигональной модели.

5. На финальном этапе в Agisoft Metashape доступно построение текстуры для полигональной модели (если она была построена), а также построение ортофотоплана

(рис. 9). Ортофотоплан проецируется на поверхность, указанную пользователем, это может быть карта высот или полигональная модель.

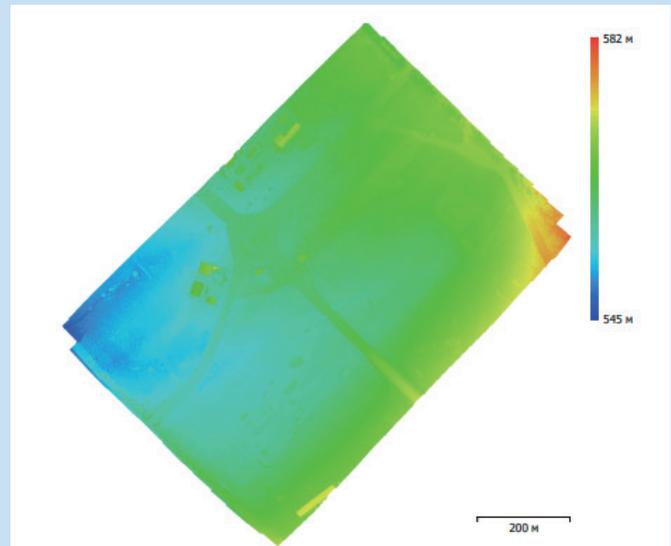


Рис. 8. Цифровая модель исследуемого участка. Сурет 8. Зерттелетін үшкінің сандық моделі. Figure 8. Digital model of the studied area.



Рис. 9. Ортофотоплан исследуемого участка. Сурет 9. Зерттелетін үшкінің ортофотопланы. Figure 9. Orthophotoplan of the studied area.

В результате обработки материалов аэрофотосъемки были получены цифровая модель местности (рис. 8) и ортофотоплан исследуемого участка (рис. 9).

Заклучение

Полученные результаты применения беспилотных летательных аппаратов свидетельствуют о достоверности полученных данных, при соблюдении всех необходимых требований к производству съемок и съемочному оборудованию может достигать точности выполнения топографических съемок масштаба 1:500. -1:2000 при сечении рельефа 0,5 метра и более.

Из анализа проделанной работы можно сделать вывод, что использование беспилотных летательных аппаратов

в качестве аэрофотосъемочной аппаратуры имеет большие перспективы для съемки линейных объектов. Цифровая аэрофотосъемка с использованием беспилотных летательных аппаратов представляет собой эффективный и точный метод для создания цифровых ортофотопланов и цифровых моделей местности. Эта технология позволяет значительно сократить затраты на производство картогра-

фических материалов и улучшить качество получаемых данных.

Благодарность

Авторы выражают благодарность докт.-инж., ведущему инженеру LGL Мозер Д.В. (г. Карлсруэ, Германия) за поддержку на протяжении исследования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мозер Д.В. Применение спутниковых технологий при исследовании состояния подработанных территорий г. Караганда. / Д.В. Мозер, А.К. Омарова, Ж.З. Төлеубекова. // Аналитический обзор. Караганда: Национальный центр научно-технической информации Республики Казахстан. 2012. С. 35 (на русском языке)
2. Мониторинг подработанных территорий Карагандинского угольного бассейна с использованием спутниковой радарной интерферометрии. / Д.В. Мозер, А.С. Туякбай, Н.И. Гей, А.А. Нагибин, А.К. Сатбергенова. Новосибирск: Интерэкспо ГЕО-Сибирь, 2014, Т. 1, 14-18 с. (на русском языке)
3. Расширенные методы для временных рядов InSAR. Измерение смещения поверхности по изображениям дистанционного зондирования. / D.H.T. Minh, R. Hanssen, M.P. Doin, E. Pathier. Изд-во Уайли, 125-153 с. (на английском языке)
4. Мозер Д.В. Мониторинг деформаций земной поверхности на территории Карагандинского угольного бассейна. / Д.В. Мозер, Е.Л. Левин, Н.И. Гей, А.Д. Каранеева, А.А. Нагибин. // Геодезия и картография. 2015. №3. С. 21-26 (на русском языке)
5. Soni Ch. Спутниковая радиолокационная интерферометрия для создания ЦМР с использованием изображений Sentinel-1A. / Ch. Soni, A. Chaudhary, U. Sharma, Ch. Sharma. // Инновации в области вычислительного интеллекта и компьютерного зрения. 2021. Т. 1189. С. 26-33 (на английском языке)
6. Низаметдинов Ф.К. Спутниковый радарный интерферометрический мониторинг подработанных территорий Карагандинского угольного бассейна. / Ф.К. Низаметдинов, Д.В. Мозер, А.С. Туякбай, Н.И. Гей, А.Д. Каранеева. // Журнал Геоматика. 2014. №4. С. 70-78 (на русском языке)
7. Zhantayev Zh., Bibossinov A., Fremd A., Iskakov B., Talgarbayeva D., Kikkarina A., Yelisseyeva A. Радиолокационная интерферометрия как метод зонального геодинамического контроля месторождений полезных ископаемых и прилегающих урбанизированных территорий. // Труды 3-ей Международной конференции по границам обработки сигналов, Париж, 2017. – С. 86-90 (на английском языке)
8. Ситникова Е. В., Хмырова Е.Н., Ожигин Д.С. Методика инструментального контроля состояния устойчивости карьерных откосов с использованием GNSS технологий. Новосибирск: Интерэкспо ГЕО-Сибирь, 2020, Т. 1, 161-168 с. (на русском языке)
9. Ожигин Д.С. Оценка точности цифровой модели местности, полученной на основе данных беспилотных летательных аппаратов масштабе 1:1000. / Д.С. Ожигин, У.А. Кубайдуллина, К.Д. Шарипова, В.Н. Долгоносков. // Журнал «Тенденции развития науки и образования». Самара. 2021. С. 108-112 (на русском языке)
10. Shults R., Appenkov A. ВІМ и фотограмметрия БПЛА для инвентаризации устойчивого развития пространственных структур. // Дистанционное зондирование и науки о пространственной информации: 2023, Т. XLVIII-5/W2-2023, С. 99-104 (на английском языке)
11. Мусина Г.А., Ожигин Д.С., Ожигина С.Б. Экологический мониторинг на основе снимков, полученных с помощью беспилотных летательных аппаратов. Новосибирск: Интерэкспо Гео-Сибирь, 2019, Т. 2. 196-204 с. (на русском языке)

ПАЙДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Мозер Д.В. Қарағанды қаласының өңделген аумақтарының жай-күйін зерттеуде спутниктік технологияларды қолдану: талдамалық шолу. / Д.В. Мозер, А.К. Омарова, Ж.З. Төлеубекова. // Қарағанды: Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылыми-техникалық ақпарат орталығы. 2012. Б. 35 (орыс тілінде)
2. Жерсеріктік радиолокациялық интерферометрияны пайдалана отырып, Қарағанды көмір бассейнінің жұмыс істеген аумақтарының мониторингі. / Д.В. Мозер, А.С. Тұяқбай, Н.И. Гей, А.А. Нагибин, А.К. Сатбергенова. Новосибирск: Интерэкспо ГЕО-Сибирь, 2014, Т.1, 14-18 б. (орыс тілінде)

3. InSAR уақыт серияларына арналған кеңейтілген әдістер. Қашықтықтан зондау кескіндері бойынша беттің жылжуын өлшеу. / D.H.T. Minh, R. Hanssen, M.P. Doin, E. Pathier. Уайли баспасы, 125-153 б. (ағылшын тілінде)
4. Мозер Д.В. Қарағанды көмір бассейні аумағындағы жер бетінің деформацияларының мониторингі. / Д.В. Мозер, Е.Л. Левин, Н.И. Гей, А.Д. Каранеева, А.А. Нагибин. // Геодезия және картография. 2015. №3. Б. 21-26 (орыс тілінде)
5. Soni Ch. Sentinel-1A кескіндерін қолдана отырып дем құруға арналған спутниктік радиолокациялық интерферометрия. / Ch. Soni, A. Chaudhary, U. Sharma, Ch. Sharma. // Есетмей интеллектісі және компьютерлік көру саласындағы инновациялар. 2021. Т. 1189. Б. 26-33 (ағылшын тілінде)
6. Низаметдинов Ф.К. Қарағанды көмір бассейнінің өңделген аумақтарының спутниктік радиолокациялық интерферометриялық мониторингі. / Ф.К. Низаметдинов, Д.В. Мозер, А.С. Тұяқбай, Н.И. Гей, А.Д. Каранеева. // Геоматика журналы. 2014. №4. Б. 70-78 (орыс тілінде)
7. Zhantayev Zh., Bibossinov A., Fremd A., Iskakov B., Talgarbayeva D., Kikkarina A., Yelisseyeva A. Радиолокациялық интерферометрия пайдалы қазбалар кен орындары мен іргелес урбанизацияланған аумақтарды аймақтық геодинамикалық бақылау әдісі ретінде. // Сигналдарды өңдеу шекаралары бойынша 3-ші Халықаралық конференцияның материалдары, Париж, 2017. – Б. 86-90 (ағылшын тілінде)
8. Ситникова Е.В., Хмырова Е.Н., Ожигин Д.С. GNSS технологияларын қолдана отырып, карьер беткейлерінің тұрақтылығын аспаптық бақылау әдістемесі. Новосибирск: Гео-Сибирь Интерэкспо, 2020, Т. 1, 161-168 б. (орыс тілінде)
9. Ожигин Д.С. 1:1000 масштабтағы ұшқышсыз ұшу аппараттарының деректері негізінде алынған жердің цифрлық моделінің дәлдігін бағалау. / Д.С. Ожигин, У.А. Кубайдуллина, К.Д. Шарипова, В.Н. Долгонос. // Ғылым мен білімнің даму тенденциялары журналы. Самара. 2021. Б. 108-112 (орыс тілінде)
10. Shults R., Appenkov A. ВІМ және кеңістіктік құрылымдардың тұрақты дамуын түгендеу үшін ұшқышсыз ұшу аппараттарының фотограмметриясы. // Қашықтықтан зондау және кеңістіктік ақпарат туралы ғылымдар: 2023, Т. XLVIII-5/W2-2023, Б. 99-104 (ағылшын тілінде)
11. Мусина Г.А., Ожигин Д.С., Ожигина С.Б. Ұшқышсыз ұшу аппараттарының көмегімен алынған суреттер негізінде экологиялық мониторинг. Новосибирск: Гео-Сибирь Интерэкспо, 2019, Т.2. 196-204 б. (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Moser D.V. Primenenie sputnikovykh tekhnologii pri issledovanii sostoyaniya podrobotannykh territorii g. Karaganda. / D.V. Moser, A.K. Omarova, Zh.Z. Toleubekova. // Analiticheskii obzor. Karaganda: Natsional'nyi tsentr nauchno-tekhnicheskoi informatsii Respubliki Kazakhstan. 2012. S. 35 [Moser D.V. The introduction of satellite technologies at the exploration of the occupied territories of Karaganda. / D.V. Moser, A.K. Omarova, Zh.Z. Toleubekova. // Analytical review. Karaganda: National Center of scientific and technical information of the Republic of Kazakhstan. 2012. P. 35] (in Russian)
2. Monitoring podrobotannykh territorii Karagandinskogo ugol'nogo basseina s ispol'zovaniem sputnikovoi radarnoi interferometrii. / D.V. Moser, A.S. Tuyakbai, N.I. Gei, A.A. Nagibin, A.K. Satbergenova. Novosibirsk: Interexpo GEO-Sibir', 2014, T. 1, 14-18 s. [Monitoring of the protected territory of the Karaganda Upland basin with the use of satellite radar interferometry. / D.V. Moser, A.S. Tuyakbay, N.I. Gay, A.A. Nagibin, A.K. Satbergenova. Novosibirsk: Interexpo Geo-Siberia, 2014, Vol. 1, 14-18 p.] (in Russian)
3. Extended methods for time frames of InSAR. Revision of the level of efficiency of remote sensing. / D.H.T. Minh, R. Hanssen, M.P. Doin, E. Pathier. ISD-V. Wiley, 125-153 p. (in English)
4. Moser D.V. Monitoring deformatsii zemnoi poverkhnosti na territorii Karagandinskogo ugol'nogo basseina. / D.V. Moser, E.L. Levin, N.I. Gei, A.D. Karaneeva, A.A. Nagibin. // Geodeziya i kartografiya. 2015. №3. S. 21-26 [Moser D.V. Monitoring the deformation of the Earth's surface on the territory of the Karaganda Upland Basin. / D.V. Moser, E.L. Levin, N.I. Gay, A.D. Karaneeva, A.A. Nagibin. // Geodesy and cartography. 2015. №3. P. 21-26] (in Russian)
5. Soni Ch. Satellite radar interferometry for the creation of CMR with the use of the Sentinel-1A sample. / Ch. Soni, A. Chaudhary, U. Sharma, Ch. Sharma. // Innovation in the field of competitive intelligence and computer science. 2021. Vol. 1189. P. 26-33 (in English)
6. Nizametdinov F.K. Sputnikovyi radarnyi interferometricheskii monitoring podrobotannykh territorii Karagandinskogo ugol'nogo basseina. / F.K. Nizametdinov, D.V. Moser, A.S. Tuyakbai, N.I. Gei, A.D. Karaneeva. // Zhurnal Geomatika. 2014. №4. S. 70-78 [Nizametdinov F.K. Satellite radar interferometric monitoring of the occupied territories of the Karaganda Upland Basin. /

- F.K. Nizametdinov, D.V. Moser, A.S. Tuyakbay, N.I. Gay, A.D. Karaneeva. // Journal Geomatics. 2014. №4. P. 70-78] (in Russian)*
7. *Zhantayev Zh., Bibossinov A., Fremd A., Iskakov B., Talgarbayeva D., Kikkarina A., Yelisseyeva A. Radar interferometry as a method of zonal geodynamic control of mineral deposits and adjacent urbanized territories. // Proceedings of the 3rd International Conference on the Boundaries of Signal Processing, Paris, 2017. – P. 86-90 (in English)*
 8. *Sitnikova E. V., Khmyrova E.N., Ozhigin D.S. Metodika instrumental'nogo kontrolya sostoyaniya ustoychivosti kar'ernykh otkosov s ispol'zovaniem GNSS tekhnologii. Novosibirsk: Interexpo GEO-Sibir', 2020, T. 1, 161-168 s. [Sitnikova E.V., Khmyrova E.N., Ozhigin D.S. Methods of instrumental control of the stability of quarry slopes using GNSS technologies. Novosibirsk: Interexpo GEO-Siberia, 2020, Vol. 1. 161-168 p.] (in Russian)*
 9. *Ozhigin D.S. Otsenka tochnosti tsifrovoi modeli mestnosti, poluchennoi na osnove dannykh bespilotnykh letatel'nykh apparatov masshtabe 1:1000. / D.S. Ozhigin, U.A. Kubaidullina, K.D. Sharipova, V.N. Dolgonosov. // Zhurnal «Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya». Samara. 2021. S. 108-112 [Ozhigin D.S. Evaluation of the accuracy of a digital terrain model obtained on the basis of data from unmanned aerial vehicles at a scale of 1:1000. / D.S. Ozhigin, U.A. Kubaidullina, K.D. Sharipova, V.N. Dolgonosov. // Journal «Development Trends science and Education». Samara. 2021. P. 108-112] (in Russian)*
 10. *Shults R., Annenkov A. BIM and UAV photogrammetry for inventory of sustainable development of spatial structures. // Remote sensing and spatial information sciences: 2023, Vol. XLVIII-5/W2-2023, P. 99-104 (in English)*
 11. *Musina G.A., Ozhigin D.S., Ozhigina S.B. Yshqyshsyz qshu apparattarynuñ kómegimen alynzan suretter negizinde ekologiyalyq monitoring. Novosibirsk: Geo-Sibir' Interexpo, 2019, T.2. 196-204 b. [Musina G.A., Ozhigin D.S., Ozhigina S.B. Environmental monitoring based on images obtained using unmanned aerial vehicles. Novosibirsk: Interexpo Geo-Siberia, 2019. Vol. 2. 196-204 p.] (in Russian)*

Сведения об авторах:

Сатбергенова А.К., докторант PhD КазНУ имени аль-Фараби, старший преподаватель кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» НАО «Карагандинский технический университет имени А. Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), a.satbergenova@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-5806-2827>

Қалдыбаев А.А., доктор PhD, доц. кафедры «Геоинформатика и картография» НАО «КазНУ имени аль-Фараби» (г. Алматы, Казахстан), azamat.kaldybaev@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-0563-282X>

Игемберлина М.Б., доктор PhD, старший преподаватель кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» НАО «Карагандинский технический университет имени А. Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), igemberlina@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4243-7748>

Ожигин Д.С., доктор PhD, и. о. доц. кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» НАО «Карагандинский технический университет имени А. Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), ozhigin.dima@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2443-3068>

Авторлар туралы мәліметтер:

Сатбергенова А.К., PhD докторанты, «Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті», «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының аға оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Қалдыбаев А.А., PhD докторы, доц. «Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ» «Геоинформатика және картография» кафедрасы (Алматы қ., Қазақстан)

Игемберлина М.Б., PhD докторы, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының аға оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Ожигин Д.С., PhD докторы, доц. «Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті», «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Satbergenova A.K., PhD student, Senior Lecturer of the Department of Surveying and Geodesy «Karaganda Technical University named after A. Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

Kaldybaev A.A., PhD doctors, associate professor «Geoinformatics and cartography» departments, «Al-Farabi named KazUU» (Almaty, Kazakhstan)

Igemberlina M.B., PhD doctors, Senior Lecturer of the Department of Surveying and Geodesy «Karaganda Technical University named after A. Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

Ozhigin D.S., PhD doctors associate professor of the Department of Surveying and Geodesy «Karaganda Technical University named after A. Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)