

Код МРНТИ 36.23.27

Г. Рахимов, \*М.Б. Игемберлина, Ж. Алданыш, Ж.Қ. Қадыр  
«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті»  
коммерциялық емес акционерлік қоғамы (Қарағанды қ., Қазақстан)

## PHOTOMOD САНДЫҚ ФОТОГРАММЕТРИЯЛЫҚ ЖҮЙЕСІНДЕ 1:2000 МАСШТАБТЫ САНДЫҚ ОРТОФОТОПЛАНАРДЫ ҚҰРУ

**Аннотация.** Мақала 1:2000 масштабтағы цифрлық ортофотопландарды (ЦОФП) құру процесіне арналған – ортотрансформацияланған аэрофотосуреттерден жасалған егжей-тегжейлі топографиялық карталар. Мақалада жұмысты орындаудың негізгі кезеңдері бастапқы материалдарды кірісті бақылауды, фототриангуляция желісін құруды және цифрлық рельеф моделін құруды, мамандандырылған PHOTOMOD бағдарламалық жасақтамасын қолдана отырып, суреттерді ортотрансформациялауды қамтиды. Процесс ішкі және сыртқы бағдарлауды, кескін блогын теңестіруді, алынған деректердің дәлдігін бақылауды қамтиды. Кезеңдердің сипаттамасы тірек және бақылау нүктелерін пайдалану мысалдарымен, өлшеу және теңестіру әдістерімен, сондай-ақ сапалы ортофотопландарды жасау бойынша ұсыныстармен нығайтылған. Қорытынды кескіндердің дәлдігі мен визуалды сапасының стандарттарын сақтауға ерекше назар аударылады.

**Түйінді сөздер:** сандық ортофотоплан, ішкі бағдарлау, сыртқы бағдарлау элементтері, блоқты теңестіру, жер бедерінің сандық моделін құру, ортотрансформация.

### Creation of digital orthophotos at a scale of 1:2000 in the PHOTOMOD digital photogrammetric system

**Abstract.** The article is devoted to the process of creating 1:2000 scale digital orthophotoplanes (DSP) – detailed topographic maps made up of orthotransformed aerial photographs. The article presents the main stages of the work, including input control of raw materials, building a phototriangulation network and creating a digital terrain model, orthotransforming images using specialized PHOTOMOD software. The process includes internal and external orientation, alignment of the image block, and control of the accuracy of the received data. The description of the stages is supported by examples of the use of reference and control points, measurement and equalization methods, as well as recommendations for creating high-quality orthophotoplanes. Special attention is paid to compliance with the standards of accuracy and visual quality of the final images.

**Key words:** digital orthophoto, internal orientation, elements of external orientation, block alignment, creation of a digital terrain model, orthotransformation.

### Создание цифровых ортофотопланов в масштабе 1: 2000 в цифровой фотограмметрической системе PHOTOMOD

**Аннотация.** Статья посвящена процессу создания цифровых ортофотопланов (ЦОФП) масштаба 1:2000 – детализированных топографических карт, составленных из ортотрансформированных аэрофотоснимков. В статье приведены основные этапы выполнения работ, которые включают входной контроль исходных материалов, построение сети фототриангуляции и создание цифровой модели рельефа, ортотрансформирование снимков с использованием специализированного программного обеспечения PHOTOMOD. Процесс включает внутреннее и внешнее ориентирование, уравнивание блока изображений, контроль точности полученных данных. Описание этапов подкреплено примерами использования опорных и контрольных точек, методов измерения и уравнивания, а также рекомендациями по созданию качественных ортофотопланов. Особое внимание уделено соблюдению стандартов точности и визуального качества итоговых изображений.

**Ключевые слова:** цифровой ортофотоплан, внутреннее ориентирование, элементы внешнего ориентирования, уравнивание блока, создание цифровой модели местности, ортотрансформация.

### Кіріспе

Бүгінгі таңда кадастрдағы аэрофототүсірілім өте өзекті, өйткені ол жер учаскелері туралы нақты, егжей-тегжейлі және жедел ақпарат береді, сонымен қатар жер ресурстарын есепке алу мен басқаруға байланысты әртүрлі міндеттерді тиімді шешуге мүмкіндік береді. Сондай-ақ, аэрофототүсірілім әртүрлі аймақтардағы жерді бақылаумен айналысатын кадастрлық органдар үшін маңызды болып табылатын үлкен аумақтарды жедел қамтуға мүмкіндік береді. Аэрофототүсірілім және кейіннен геоақпараттық жүйелерді (ГАЗ) пайдалану арқылы жер учаскелерінің ауданын, шекара ұзындығын және басқа сипаттамаларын анықтауға байланысты өлшеулер мен есептеулерді автоматты түрде жүргізуге болады.

Ортофотоплан (цифрлық) – номенклатуралық парақтар шеңберінде немесе берілген шекараларда ұсынылатын және белгілі бір номиналды кеңістіктік ажыратымдылықпен сипатталатын ортотрансформацияланған аэрофотосуреттерден тұратын топографиялық сандық фотоплан [1].

Жерді қашықтықтан зондтаудың заманауи ғарыш аппараттары бір пиксельге 15 см-ге дейін кеңістіктік ажыратымдылыққа ие және үлкен аумақтарға жедел ақпарат алу үшін жоғары көрініске ие. Ал дрондар бір пиксельге 2–5 см дейінгі кеңістіктік ажыратымдылықтағы кескіндерді тез алуға мүмкіндік береді.

Осыған сәйкес ғарыштық және аэрофотосуреттер 1:5000-ға дейінгі масштабта ортофотопландар жасауға (ғарыштық суреттерді қолдана отырып); 1:500-ге дейінгі

масштабта ортофотопландар жасауға (ҰҰА көмегімен); ортокоррекция үшін жоғары дәлдіктегі ЖСМ жасауға; бұрын есепке алынбаған объектілерді анықтауға; жергілікті жер объектілерінің жай-күйіне жедел ден қоюға; шолу және деректерді алу жылдамдығы есебінен жұмыстарды жүргізу мерзімдерін айтарлықтай қысқартуға мүмкіндіктер береді [2, 3].

СОФП (Сандық ортофотопландар) құру жөніндегі жұмыстарды орындау мынадай схема бойынша орындалады:

1. АФТ материалдарын кіріс бақылау. Бұлттылық пен бұрмаланулардың бар-жоғына, жұмыс ауданының қамтылуының толықтығына суреттерді визуалды тексеру жүргізіледі. Сондай-ақ, суретке түсіру негіздері, суреттердің қабаттасуы, маршруттардың түзулігі, сондай-ақ СБЭ (сыртқы бағдарлау элементтері) каталогтары тексеріледі.

2. Фототриангуляция желісін құру және теңестіру. Бұл кезеңде бастапқы координаттар жүйесінде жобаны құру, ішкі және сыртқы бағдарлау, далалық өлшеулерде алынған бақылау және тірек нүктелерін өлшеу жүзеге асырылады, содан кейін жобаны теңестіру жүзеге асырылады.

3. Жер бедерінің сандық моделін құру. Жер бедерінің сандық моделі нүктелік бұлт, оны сзуу және құрылымдық сызықтар жасау негізінде немесе тығыз сандық модель жасау әдісін қолдану арқылы жасалады.

4. Ортотрансформация. Аэрофотосуреттерді ортотрансформациялау өңдеудің алдыңғы кезеңінде жасалған

жер бедерінің сандық моделі көмегімен жүзеге асырылады.

5. Ортоформаланған суреттердің фрагменттерінен ортофотопланды монтаждау. Жасалған және өңделген кескіндердің көмегімен мозаика фрагменттерін бір кескінге тігу. Қажет болған жағдайда номенклатуралық парақтарға кесу

6. СОФП дәлдігін бақылау. Дәлдікті бақылау тірек және бақылау нүктелерінде, фрагменттердің (кескіндердің) қосылу сызықтарында орындалады, сонымен қатар растрлық файлдардың параметрлері тексеріледі [4].

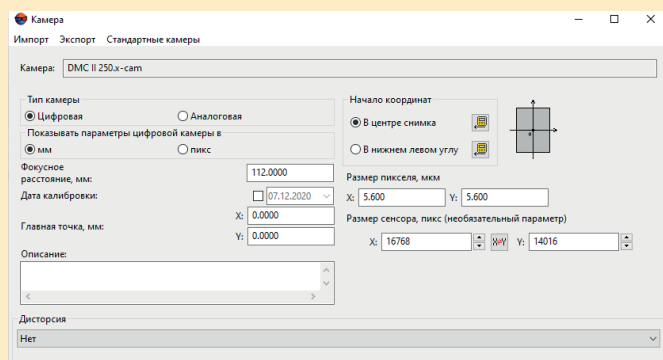
### Зерттеу әдістері

PHOTOMOD бағдарламасында сандық ортофотопландарды кезең-кезеңімен құруды қарастырайық.

**Жобаны құру.** Жобаны құру кезінде бастапқы кескіндерге байланысты оның түрін көрсету керек, координаттар жүйесін таңдап, жердің биіктігін орнату керек. Содан кейін одан әрі өңдеу үшін аэрофотосуреттерді жүктейміз.

**Ішкі бағдарлау.** Ішкі бағдарлау элементтері түсіру процесінің геометриялық сипаттамаларын анықтайды. Аэротүсірілімнің ішкі бағдарлау элементтері аэротүсірілімге қатысты жобалау центрінің орнын табуға және суретке түсіру кезінде жобалау сәулелерінің (сәулелер байламдарының) өзара орналасуын қалпына келтіруге мүмкіндік береді [5].

Ішкі бағдарлау элементтеріне объективтің фокустық қашықтығы және негізгі нүктенің екі өлшемді координаттары жатады (бірақ суретке түсіру кезінде енгізілген бұрмаланулардың сипаты да ескерілуі мүмкін, мысалы, объективтің бұрмалануы, фотоматериалдың деформациясы). Жоба камерасын жасау кезінде камера паспортының параметрлері қолданылады (сурет 1).



Сурет 1. Ішкі бағдарлау элементтерін дайындау.  
Figure 1. Preparation of elements of internal orientation.

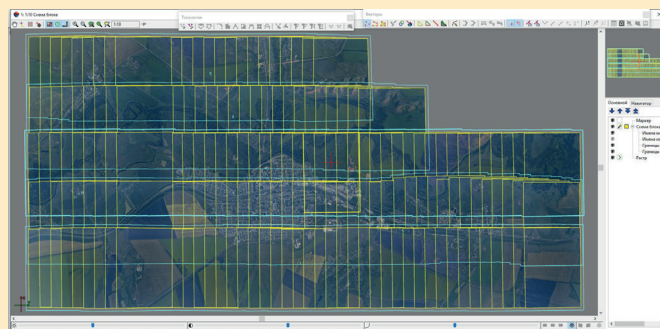
Рис. 1. Подготовка элементов внутреннего ориентирования.

Камера жасалғаннан кейін оны жобаның барлық суреттеріне тағайындау керек. Осылай ішкі бағдарлау жұмыстарын аяқтағаннан кейін сыртқы бағдарлау элементтерін жүктеу жұмыстары жүргізіледі.

Сыртқы бағдарлау элементтерін жүктеу (СБЭ). Маршруттағы суреттерді бір-біріне қатысты бағдарлау үшін сыртқы бағдарлау элементтерін орнату қажет. Аэротүсі-

рілімнің сыртқы бағдарлау элементтері кеңістіктегі сәулелер шоғырының орнын анықтайды және ішкі бағдарлау элементтерімен бірге суретке түсіру кезінде координаттар жүйесіне қатысты жобалау сәулелерінің орнын қалпына келтіруге мүмкіндік береді. Сыртқы бағдарлау элементтеріне проекция центрінің үш өлшемді координаттары, суреттің бойлық және көлденең бұрыштары және айналу бұрышы жатады.

СБЭ жүктелгеннен кейін біз маршруттарға бөлеміз және қаптаманы орнатамыз (сурет 2).

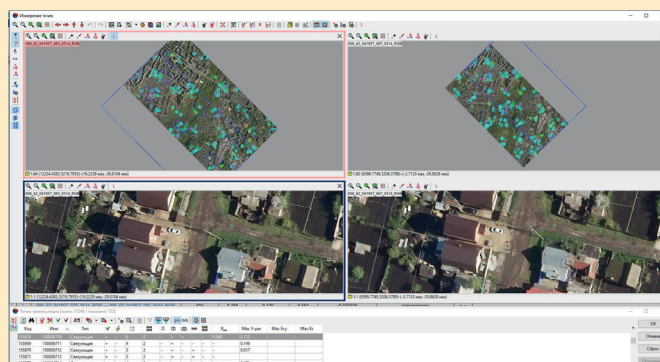


Сурет 2. Маршруттарға бөлу және қаптаманы орнату.  
Figure 2. Splitting into routes and building a folding installation.

Рис. 2. Разбиение на маршруты и построение накидного монтажа.

Маршруттарға бөліп, талап етілетін қаптаманы орнату жүзеге асырылған соң, байланыстырушы нүктелерді өлшейміз.

**Өзара бағдарлау.** Автоматты режимде байланыстырушы нүктелер өлшенеді (сурет 3). Байланыстырушы нүктелерді автоматты түрде өлшегеннен кейін біз өзара бағдарлау есебін ашамыз, қателерді түзетеміз, егер маршруттар байланыспаса немесе нүктелер жеткіліксіз болса, нүктелерді қолмен қосамыз. Ең жақсы нұсқа – стерео жұптағы 12–18 байланыстырушы нүктені өлшеу (6 стандартты аймақтың әрқайсысында 2–3 нүктеден), егер өлшеу қолмен жасалса.

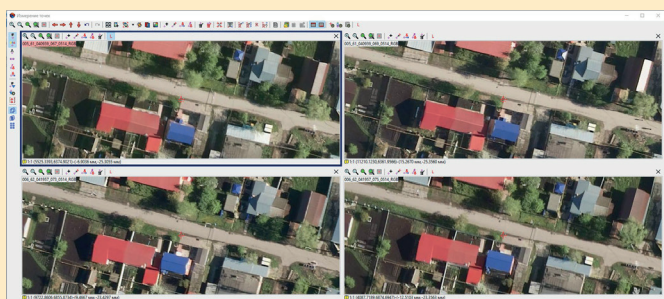


Сурет 3. Автоматты өлшеу режимінде алынған стерео жұптың байланыстырушы нүктелері.  
Figure 3. Connecting points of the stereo pair obtained in the automatic measurement mode.

Рис. 3. Связующие точки стереопары, полученные при автоматическом режиме измерений.

Тірек және бақылау нүктелерін жүктеу және өлшеу. Орташа өлшемді блокқа (15 стерео жұптан 10 маршрут) «конверт» схемасы бойынша орналастыра отырып, кемінде бес жоспарлы-биіктік белгілерін анықтау қажет. Блоктың үлкен көлемімен және желінің дәлдігіне қойылатын талаптардың жоғарылауына байланысты қажетті белгілердің саны артады. Ең алдымен, қосымша белгілерді блоктың бүйірлерінің ортасына, содан кейін оның ауданы бойынша біркелкі орналастыру керек. Белгілер ретінде аэрофотосуреттерде айқын танылатын объектілерді және рельефтің нақты контурларын таңдау қажет [6, 7].

Тірек және бақылау нүктелерінің каталогын импорттағаннан кейін стерео режимде стерео жұптағы әрбір нүктені өлшейміз. 4 суретте тірек нүктелерін өлшеу терезесі көрсетілген. Бұл жағдайда белгі ретінде алаңның солтүстік-батыс бұрышы алынып өлшенген.



**Сурет 4. Тірек нүктелерін өлшеу.**

**Figure 4. Measurement of reference points.**

**Рис. 4. Измерение опорных точек.**

Сыртқы бағдарлау, блокты теңестіру. PHOTOMOD бағдарламасы кескін блогын теңестірудің 3 әдісін ұсынады:

1. Тәуелсіз маршрут әдісі өрескел қателерді анықтау үшін қолданылады (мысалы, тірек нүктелерінің координаттары дұрыс емес, байланыстырушы нүктелердің орналасу қателері). Бұл әдіспен ұзын маршруттарды теңестіру дәлдігі (10-нан астам сурет) басқа екі әдіспен теңестіру дәлдігінен ондаған есе нашар болуы мүмкін.

2. Тәуелсіз стерео жұптар әдісі бірінші теңестіру әдісінің дәлдігін жақсарту, нәзік қателерді анықтау және түпкілікті теңестіру үшін қолданылады.

3. Байлам әдісі блокты түпкілікті теңестіру үшін қолданылады.

Біз блокты барлық нүктелер теңестіру дәлдігіне қойылатын барлық талаптарға сәйкес шектік мәнге жеткенше теңестіреміз.

Жобаны теңестіру аяқталғаннан кейін теңестіру туралы есеп жасалады, онда:

- жобаның барлық нүктелерінің каталогы;
- тірек, бақылау және байланыстырушы нүктелердегі, проекция центрлеріндегі және тұтастай алғанда блок бойынша және әрбір нүкте бойынша қиылыспаушылықтар;

- суреттердің сыртқы бағдарлау элементтері көрсетіледі.

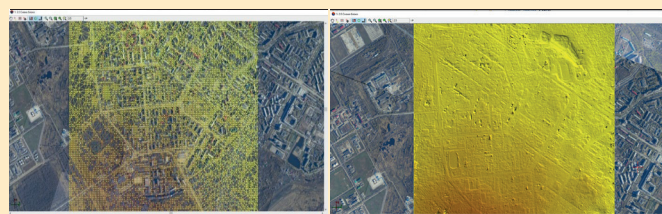
Жер бедерінің сандық моделін (ЖБСМ) құру. Орындалған аэрофототүсірілім негізінде жұмыс ауданының ЖБСМ әдетте аралас фотограмметриялық әдіспен құрылады (сурет 5):

- автоматты түрде жасалған және сүзілген пикеттер мен қолмен стерео режимде оператор жасаған құрылымдық сызықтар арқылы;

- сүзілген және жер бетінің деңгейіне келтірілген жер бедерінің тығыз моделі.

Пикеттердің көмегімен ЖБСМ құру келесі схема бойынша орындалады: Пикеттер > Пикеттерді сүзу > Құрылымдық сызықтар > TIN > DEM > Дәлдікті бақылау.

Тығыз модельді құру келесі схема бойынша жүзеге асырылады: Тығыз DEM > Сүзу > Интерполяция > Дәлдікті бақылау [8].



*a*

*b*

**Сурет 5. Жер бедерінің сандық моделін құру:**

*a* – пикеттер көмегімен; *b* – тығыз модель.

**Figure 5. Building a digital terrain model:**

*a* – using pickets; *b* – a dense model.

**Рис. 5. Построение ЦМР:**

*a* – с помощью пикетов; *b* – плотная модель.

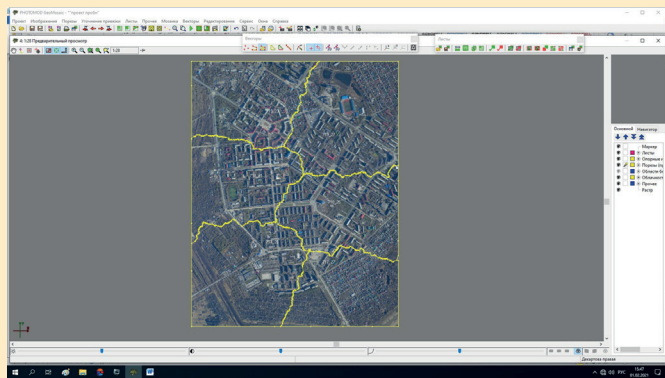
Жоғарыда құрылған ЖБСМ әрі қарай аэрофотосуреттерді ортотрансформациялауды жүзеге асыруға көмектеседі.

Суреттерді ортотрансформациялау аэрофотосуреттің бастапқы ажыратымдылығын міндетті түрде сақтай отырып, ЖБСМ көмегімен орындалады.

### Зерттеу нәтижелері

GeoMosaic-те сандық ортофотоплан (СОФП) құру. Мозаика фрагменттерін ортофотопланға тігу көршілес фотосуреттердің түсі мен реңін теңестірумен орындалуы керек. Ортотрансформацияланған суреттерден ортофотопланды монтаждау кезінде тек олардың орталық бөліктері ғана пайдаланылуы керек, осылайша монтаждалған суреттер арасындағы шекара (кесу сызығы) қабаттасатын бөліктердің шамамен ортасынан өтеді. Бұл жағдайда кесу сызығы айқын контуры жасанды объектілердің бейнесі бойынша өтетін жағдайларды азайтып, біркелкі құрылымы бар табиғи аудандық нысандардың (егістік, орман, шалғын, бос жер, батпақ және т. б.) біртекті кескінінде немесе сызықтық нысандардың (жол жиегіне жақын, ауылдық жолдың жанында) бойында (жанында) орналасуына барынша көңіл бөлу қажет (сурет 6). Айқын сызықтық контурлармен (автомобиль жолы, теміржол және т. б.) тігіс сызығы 90°-қа жақын бұрышта қиылысуы керек [9].

Барлық жасалған кесу сызықтарын артық қиылыспауын қарап шығу керек. Кесу сызығы (трансформация аймағының шекаралары) биіктік нысандар мен бағдарлар ретінде қызмет ететін нысандарды кесіп өтпеуі керек. Кесу сызықтарын соңғы бақылау кезінде ортотрансфор-



**Сурет 6. Ортотрансформацияланған кескіндердің фото реңі теңестірілген бөліктерінің кесу сызығы арқылы тігілуі.**

**Figure 6. Stitching fragments of phototone-aligned orthotransformed images using cuts.**

**Рис. 6. Сшивка фрагментов, выровненных по фототону ортотрансформированных изображений с помощью порезов.**

мациялау үшін қолданылатын матрицада «тесіктер» мен артефактілердің болмауын қадағалау қажет. Фрагменттерді тігу кезінде монтаждалған суреттердің түйіскен жеріндегі контурлардың туралануы, яғни кесу сызықтары бойынша бақылануы керек. Объектілер контурларының сәйкес келмеу мәндері ортофотопландар масштабында 0,5 мм аспауға тиіс.

Жұмыстың келесі кезеңінде номенклатуралық парақтарға кесу және қорытынды өнімді – сандық ортофотопланды алу жүзеге асырылады (сурет 7).

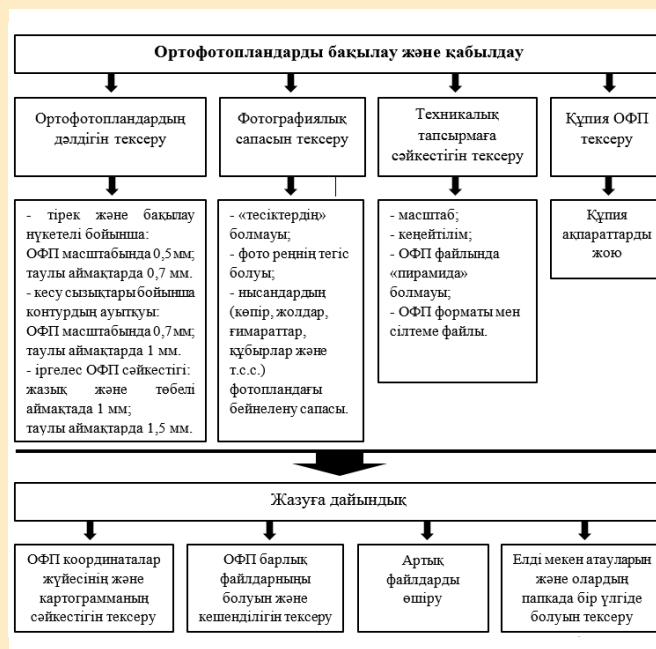


**Сурет 7. Сандық ортофотоплан.**  
**Figure 7. Digital orthophoto.**  
**Рис. 7. Цифровой ортофотоплан.**

Жергілікті ортофотопландар карталарды, топопландар мен схемаларды жасау үшін кеңістіктік негіз ретінде де, картография, кадастрлық жұмыстар, инженерлік ізденістер және т.б. үшін дербес өнім түрінде де қолданылады.

**Нәтижелер және оларды талқылау**

СОФП құрылғаннан кейін тірек және бақылау нүктелері бойынша дәлдікті бақылауды жүргізу (сурет 8). Жазық және төбелі аймақтар үшін ортофотопландағы бақылау нүктелерінің жоспарлы жағдайындағы шекті ауытқулар құрылатын СОФП масштабында 0,5 мм-ден, таулы аймақтарда үшін – 0,7 мм-ден аспауға тиіс [10].



**Сурет 8. Ортофотопландарды бақылау және қабылдау.**

**Figure 8. Control and acceptance of orthophotos.**  
**Рис. 8. Контроль и приемка ортофотопланов.**

Қателер анықталған жағдайда, ЖБСМ-не немесе байланыстырушы нүктелерге түзетулер енгізіледі және суреттер қайта ортотрансформацияланады.

**Қорытынды**

Қорытындылай келе, аэрофототүсірілім мен геоақпараттық жүйелердің (ГАЗ) қолданылуы қазіргі кадастрлық жұмыстардың тиімділігін арттырады. Бұл технологиялар жер учаскелері мен ресурстарын есепке алу, басқару және бақылауда маңызды рөл атқарады. Аэрофототүсірілімдер үлкен аумақтарды жедел қамтуға мүмкіндік береді, сондай-ақ жердің нақты сипаттамалары мен ауданын анықтауға автоматты өлшеулер мен есептеулер жүргізуге мүмкіндік туғызады. Сандық ортофотопландар мен жер бедерінің сандық модельдерін (ЖБСМ) құру процесі арқылы орнатылған дәлдік жоғары, бұл жергілікті аумақтарды тиімді басқаруға және олардың жағдайын бақылауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, аэрофотосуреттердің ортотрансформациясы мен мозаикалаудың

әдістері жергілікті карталарды, топографиялық схемаларды жасау үшін және инженерлік ізденістерде пайдалы нәтижелер береді. Бұл зерттеу мен технологиялар кадастрлық қызметтердің нәтижелі жұмысын қамтамасыз етеді және алдағы уақытта осы саланың дамуына үлкен әсерін тигізеді.

#### АЛҒЫС

*Авторлар «GeoServiceKRG» ЖШС қызметкерлеріне және «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ-ның МІ және Г кафедрасының профессорлық-оқытушылық құрамына осы мақаланы жазуға көмектері мен кеңестері үшін алғыстарын білдіреді.*

#### ПАЙДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Фотограмметрия. Сандық фотограмметрия: 1-31 02 01 «География» мамандығының студенттеріне арналған ОӘК. / А.А. Михеева, В.В. Ялтыхов. – Новополюк: ПГУ, 2016. – 140 б. (орыс тілінде)
2. Jovanovi'c D. «Ақылды қалалар» қосымшалары үшін қаланың виртуалды 3D моделін құру: Нови Сад университетінің кампусындағы практикалық мысал. / Jovanovi'c D., Milovanov S., Ruskovski I., Govedarica M., Sladi'c D., Radulovi'c A. et al. // ISPRS Int. J. Geo. Inf. 2020. № 9 (8). Б. 476 (ағылшын тілінде)
3. Pepe M. VHR спутниктік стерео кескіндеріне негізделген қаланың 3D моделін құруға арналған терең оқытуға, ГАЗ және геометриялық Бағдарламалық жасақтамаға негізделген жаңа әдіс. / Pepe M., Costantino D., Alfio V.S., Vozza G., Cartellino E. // ISPRS Int. J. Geo. Inf. 2021. № 10 (10). Б. 697 (ағылшын тілінде)
4. Gerke M. et al. Қиғаш әуедегі кескіндер жиынтығының бағыты-ISPRS тәжірибесі/EUROSDR benchmark on multi-platform photogrammetry. // Фотограмметрия, Қашықтықтан Зондау және Кеңістіктік ақпараттық ғылымдардың халықаралық мұрағаты, XLI-B1 бөлімі, ISPRS XXIII Конгресі. 2016. № 41. Б. 185–191 (ағылшын тілінде)
5. PHOTOMOD сандық фотограмметриялық жүйесі. Пайдаланушы нұсқаулығы. Жобаны құру. М.: Ракурс, 2020. – 169 б. (орыс тілінде)
6. PHOTOMOD сандық фотограмметриялық жүйесі. Пайдаланушы нұсқаулығы. Желіні құру. М.: Ракурс, 2020. – 271 б. (орыс тілінде)
7. PHOTOMOD сандық фотограмметриялық жүйесі. Пайдаланушы нұсқаулығы. Желіні теңестіру. М.: Ракурс, 2020. – 105 б. (орыс тілінде)
8. PHOTOMOD сандық фотограмметриялық жүйесі. Пайдаланушы нұсқаулығы. Жер бедерінің сандық моделін құру. М.: Ракурс, 2020. – 301 б. (орыс тілінде)
9. Wang C. Қалалық Лидар деректері үшін пикселдерді салыстыру ерекшеліктеріне негізделген кездейсоқ орман жіктеуіші. / Wang C., Shu Q., Wang X., Guo Bo, Liu P., Li Q. // ISPRS J. Photogramm Remote Sens. 2019. № 148. Б. 75–86 (ағылшын тілінде)
10. Қолданбалы фотограмметрия: жоғары оқу орындарына арналған оқулық: 21.04.02 Фотограмметрия және кадастрлар мамандығы бойынша оқитын жоғары оқу орындарының студенттері үшін / А.Н. Лимонов, Л.А. Гаврилова. М.: Академиялық жоба, 2016, 254 б. (орыс тілінде)

#### REFERENCES

1. Fotogrammetriya. Tsifrovaya fotogrammetriya: UMK dlya studentov spetsial'nosti 1-31 02 01 «Geografiya» / A.A. Mikheeva, V.V. Yaltykhov. Novopolotsk: PGU, 2016, 140 s. [Photogrammetry. Digital photogrammetry: UMK for students of specialty 1-31 02 01 «Geography» / A.A. Mikheeva, V.V. Yaltykhov. Novopolotsk: PSU, 2016. 140 p.] (in Russian)
2. Jovanovi'c D. Building virtual 3D city model for smart cities applications: a case study on campus area of the university of Novi Sad. / Jovanovi'c D., Milovanov S., Ruskovski I., Govedarica M., Sladi'c D., Radulovi'c A. et al. // ISPRS Int. J. Geo. Inf. 2020. № 9 (8). P. 476 (in English)
3. Pepe M. A novel method based on deep learning, GIS and geomatics software for building a 3D city model from VHR satellite stereo imagery. / Pepe M., Costantino D., Alfio V.S., Vozza G., Cartellino E. // ISPRS Int. J. Geo. Inf. 2021. № 10 (10). P. 697 (in English)
4. Gerke M. et al. Orientation of oblique airborne image sets-experiences from the ISPRS/EUROSDR benchmark on multi-platform photogrammetry. // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B1, 2016, XXIII ISPRS Congress. 2016. № 41. P. 185–191 (in English)
5. Tsifrovaya fotogrammetricheskaya sistema PHOTOMOD. Rukovodstvo pol'zovatelya. Sozdanie proekta. M.: Rakurs, 2020. – 169 s. [PHOTOMOD digital photogrammetric system. User's Guide. Creation of the project. M.: Rakurs, 2020. – 169 p.] (in Russian)
6. Tsifrovaya fotogrammetricheskaya sistema PHOTOMOD. Rukovodstvo pol'zovatelya. Postroenie seti. M.: Rakurs, 2020. – 271 s. [PHOTOMOD digital photogrammetric system. User's Guide. Building a network. M.: Rakurs, 2020. – 271 p.] (in Russian)
7. Rukovodstvo pol'zovatelya. Uravnivanie seti. M.: Rakurs, 2020. – 105 s. [User's Guide. Equalization of the network. M.: Rakurs, 2020. – 105 p.] (in Russian)
8. Tsifrovaya fotogrammetricheskaya sistema PHOTOMOD. Rukovodstvo pol'zovatelya. Sozdanie tsifrovoi modeli rel'efa. M.: Rakurs, 2020. – 301 s. [PHOTOMOD digital photogrammetric system. User's Guide. Creating a digital relief model. M.: Foreshortening, 2020. – 301 p.] (in Russian)

9. Wang C. A random forest classifier based on pixel comparison features for urban LiDAR data. / Wang C., Shu Q., Wang X., Guo Bo, Liu P., Li Q. // ISPRS J. Photogramm Remote Sens. 2019. № 148. P. 75–86 (in English)
10. Прикладная фотограмметрия: учебник для вузов: для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 21.04.02 – Фотограмметрия и кадастры / А.Н. Лимонов, Л.А. Гаврилова. М.: Академический проект, 2016, 254 с. [Applied photogrammetry: textbook for universities: for students of higher educational institutions studying in the field of training 04/21/02 – Photogrammetry and cadastres / A.N. Limonov, L.A. Gavrilova. M.: Academic project, 2016, 254 p.] (in Russian)

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Фотограмметрия. Цифровая фотограмметрия: УМК для студентов специальности 1-31 02 01 «География» / А.А. Михеева, В.В. Ялтыхов. Новополюк: ПГУ, 2016, 140 с. (на русском языке)
2. Jovanovi'c D. Создание виртуальной 3D-модели города для приложений «умных городов»: практический пример на территории кампуса университета Нови-Сада. / Jovanovi'c D., Milovanov S., Ruskovski I., Govedarica M., Sladi'c D., Radulovi'c A. et al. // ISPRS Int. J. Geo. Inf. 2020. № 9 (8). С. 476 (на английском языке)
3. Пере М. Новый метод, основанный на глубоком обучении, ГИС и геоматическом программном обеспечении для построения 3D-модели города на основе спутниковых стереоизображений VHR. / Пере М., Costantino D., Alfio V.S., Vozza G., Cartellino E. // ISPRS. Int. J. Geo. Inf. 2021. № 10 (10). С. 697 (на английском языке)
4. Gerke M. et al. Ориентация наборов наклонных бортовых изображений – результаты тестирования ISPRS/EUROSDR по мультиплатформенной фотограмметрии. // Международный архив Фотограмметрии, Дистанционного зондирования и Наук о пространственной информации, Том XLI-B1, 2016, XXIII Конгресс ISPRS. 2016. № 41. С. 185–191 (на английском языке)
5. Цифровая фотограмметрическая система PHOTOMOD. Руководство пользователя. Создание проекта. М.: Ракурс, 2020. – 169 с. (на русском языке)
6. Цифровая фотограмметрическая система PHOTOMOD. Руководство пользователя. Построение сети. М.: Ракурс, 2020. – 271 с. (на русском языке)
7. Руководство пользователя. Уравнение сети. М.: Ракурс, 2020. – 105 с. (на русском языке)
8. Цифровая фотограмметрическая система PHOTOMOD. Руководство пользователя. Создание цифровой модели рельефа. М.: Ракурс, 2020. – 301 с. (на русском языке)
9. Wang C. Классификатор случайных лесов, основанный на характеристиках сравнения пикселей для городских лидарных данных. / Wang C., Shu Q., Wang X., Guo Bo., Liu P., Li Q. // ISPRS J. Photogramm Remote Sens. 2019. № 148. С. 75–86 (на английском языке)
10. Прикладная фотограмметрия: учебник для вузов: для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 21.04.02 – Фотограмметрия и кадастры / А.Н. Лимонов, Л.А. Гаврилова. М.: Академический проект, 2016, 254 с. (на русском языке)

**Авторлар туралы мәліметтер:**

**Рахимов Г.**, т.ғ.к., «Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті», «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының аға оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан), [gelman.rakhimov@mail.ru](mailto:gelman.rakhimov@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-4930-4075>

**Игемберлина М.Б.**, Ph.D докторы, «Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті», «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының доцент м.а. (Қарағанды қ., Қазақстан), [igemberlina@mail.ru](mailto:igemberlina@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-4243-7748>

**Алданыш Ж.**, т.ғ.м., «Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті», «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының аға оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан), [zhadra.bota.90@mail.ru](mailto:zhadra.bota.90@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-4106-0176>

**Қадыр Ж.К.**, «Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті», «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының магистранты (Қарағанды қ., Қазақстан), [zhanibek.kadyr@mail.ru](mailto:zhanibek.kadyr@mail.ru); <https://orcid.org/0009-0001-1440-161X>

**Information about the authors:**

**Rakhimov G.**, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Surveying and Geodesy, NAO «Karaganda Technical University named after A. Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

**Igemberlina M.B.**, Doctor of Ph.D, acting associate professor of the Department of Surveying and Geodesy, NAO «Karaganda Technical University named after A. Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

**Aldanysh Zh.**, Master of Engineering Science, Senior Lecturer of the Department of Surveying and Geodesy, NAO «Karaganda Technical University named after A. Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

**Kadyr Zh.K.**, undergraduate student of the Department of Surveying and Geodesy, NAO «Karaganda Technical University named after A. Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

**Сведения об авторах:**

**Рахимов Г.**, к.т.н., старший преподаватель кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» НАО «Карагандинский технический университет имени Абылқаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

**Игемберлина М.Б.**, доктор Ph.D, и.о. доцента кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» НАО «Карагандинский технический университет имени Абылқаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

**Алданыш Ж.**, м.т.н., старший преподаватель кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» НАО «Карагандинский технический университет имени Абылқаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

**Қадыр Ж.К.**, магистрант кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» НАО «Карагандинский технический университет имени Абылқаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)