

**ШЫГЫС ҚАЗАҚСТАН ОБЛЫСЫНЫҢ ҚӨШКІН ҚАУПІ БАР УЧАСКЕЛЕРИНІҢ
БЕТКЕЙЛЕРІН ЖЕР БЕДЕРІНІҢ ЦИФРЛЫҚ МОДЕЛЬДЕРІ АРҚЫЛЫ
ГЕОМОРФОМЕТРИЯЛЫҚ ТАЛДАУ**

¹А.К. Капасов, ¹Н.Ф. Денисова, ¹М.Е. Рахымбердина[✉], ²Н.П. Сапарходжаев, ¹Е.Т. Бекишев

¹Д. Серікбаев атындағы Шыгыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан,

²Рудный индустримальдық университеті, Рудный, Қазақстан

[✉] Корреспондент-автор: MRahyimberdina@edu.ektu.kz

Мақалада Жер бедерінің цифрлық моделдерін пайдалану негізінде Шыгыс Қазақстан облысының аумағындағы қөшкін қауіпі бар участкерлердің баурайларына геоморфометриялық талдау жүргізу ерекшеліктері қарастырылады. Жер беті туралы цифрлық деректерді жасау мен өндөудің, сондай-ақ қөшкін қаупіне әсер ететін беткейлердің морфометриялық параметрлерін оқшаулаудың әдістемелік тәсілдері қаралды. Геоморфологиялық карталардың екі түрі жасалынды: биіктік карталары және морфометриялық (беткейлердің енісі) карталары. Тақырыптық карталар SRTM деректері және лидарлық түсіріс деректері бойынша құрылған жер бедерінің цифрлық моделі негізінде жасалынған. Қөшкіннің ықтимал аймақтарын айқындау кезінде шешуші мәнге ие беткейлерді, беткейлер экспозицияларын және басқа да параметрлерді айқындау мақсатында жер бедерінің цифрлық моделдеріне кешенді талдау жүргізілді. Қөшкін жинағыштар негізінен 25-45⁰ еністі баурайларда орналасқаны анықталды. Сонымен қатар, 15-25⁰ еністі баурайлар кездеседі. Алынған нағижендер қөшкін қауіпі бар аймақтардың шекаралары мен ауқымын нақтылауға, қауіпті табиғи құбылыстарды болжая дәлдігін арттыруға және зерттелетін ауماқта профилактикалық іс-шараларды жоспарлауды оңтайланыруға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: қар қөшкіні, цифрлық модель, қашықтықтан зондтау, геоморфометриялық талдау

**ГЕОМОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СКЛОНОВ ЛАВИНООПАСНЫХ УЧАСТКОВ
ВОСТОЧНО-КАЗАХСАНСКОЙ ОБЛАСТИ С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА**

¹А.К. Капасов, ¹Н.Ф. Денисова, ¹М.Е. Рахымбердина[✉], ²Н.П. Сапарходжаев, ¹Е.Т. Бекишев

¹Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан,

²Рудненский индустральный институт, Рудный, Казахстан,
email: MRahyimberdina@edu.ektu.kz

В статье рассматриваются особенности проведения геоморфометрического анализа склонов лавиноопасных участков на территории Восточно-Казахстанской области на основе использования цифровых моделей рельефа. Рассмотрены методические подходы к созданию и обработке цифровых данных о поверхности, а также к локализации морфометрических параметров склонов, влияющих на лавинную опасность. Созданы два вида геоморфологических карт: карты высот и морфометрические (крутизна склонов) карты. Тематические карты были созданы на основе цифровой модели рельефа, построенной по данным SRTM и данным лидарной съемки. Был проведен комплексный анализ цифровых моделей рельефа с целью определения склонов, экспозиций склонов и других параметров, которые имеют решающее значение при определении возможных зон схода лавин. Установлено, что лавиносыбры в основном расположены на склонах с крутизной 25-45⁰. Вместе с тем отмечается, наличие участков с крутизной склонов 15 - 25⁰. Полученные результаты позволяют уточнить границы и масштабы лавиноопасных зон, повысить точность прогнозирования опасных природных явлений и оптимизировать планирование профилактических мероприятий на исследуемой территории.

Ключевые слова: снежная лавина, цифровая модель, дистанционное зондирование, геоморфометрический анализ

GEOMORPHOMETRIC ANALYSIS OF SLOPES OF AVALANCHE-PRONE AREAS OF EAST KAZAKHSTAN REGION USING DIGITAL TERRAIN MODELS

¹A.K. Kapasov, ¹N.F. Denisova, ¹M.Ye. Rakhymberdina[✉], ²N.P. Saparhodzhaev, ¹Ye.T. Bekishev

¹Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan,

²Rudny industrial university, Rudny, Kazakhstan,

e-mail: MRahymberdina@edu.ektu.kz

The article considers the features of geomorphometric analysis of slopes of avalanche prone areas in the territory of the East Kazakhstan region on the basis of the using digital elevation models. Methodical approaches to the creation and processing of digital surface data, as well as to the localisation of morphometric parameters of slopes influencing the avalanche hazard are considered. Two types of geomorphological maps were created: elevation maps and morphometric (slope steepness) maps. The thematic maps were created on the basis of a digital elevation model constructed from SRTM data and lidar survey data. A comprehensive analysis of the digital elevation models was carried out to determine slope steepness, slope exposure and other parameters relevant to the identification of potential avalanche zones. It was found that avalanche zones are mainly located on slopes with a steepness of 25-45 degrees. At the same time, the presence of areas with slope steepness of 15 - 25 degrees is noted. The results obtained will make it possible to clarify the boundaries and dimensions of the avalanche-prone areas, to improve the accuracy of forecasts of dangerous natural phenomena and to optimise the planning of preventive measures in the study area.

Keywords: snow avalanche, digital model, remote sensing, geomorphometric analysis

Кіріспе. Соңғы жылдары аумақтардың көшікін қауіпін талдау үшін цифрлық жер бедері үлгілерін және геоакпараттық технологияларды пайдалану геоморфологиядағы, табиғи қауіптердегі және апаттардың алдын алудағы зерттеулердің маңызды құрамдас бөлігі болды. Шығыс Қазақстан облысы (ШҚО) күрделі таулы ландшафттары бар және қар көшкіні жиі болатын аумақ болып табылады. Қазіргі таңда ШҚО-да 497 қар көшкіні болатын участекелер белгіленген (сурет 1) [1]. Қазіргі кеңістіктік мәліметтерге негізделген геоморфометриялық талдау көшкін қауіпін бағалау және болжау үшін үлкен маңызға ие болуда.

Жер бедерінің цифрлық моделі мамандандырылған ГАЖ-пакеттерде (GIS, ArcGIS, QGIS және т.б.) өндірілетін есептеулер негізінде еніс, көлбеу экспозициясы, қисықтығы, жер бедері сияқты жер бетінің сандық сипаттамаларын бөліп көрсетуге мүмкіндік береді. [2] жұмыстың авторлары цифрлық модельдердің дәлдігі мен рұқсаты көшкін қауіпін бағалау кезінде негізгі рөл атқаратыны атап өтеді. Көшкін процестерін модельдеу үшін аэрофототүсіріс немесе Жерді қашықтықтан зондтау деректері негізінде алынған жоғары кеңістіктік шешімдегі цифрлық модельдер негұрлым тиімді пайдаланылады [3].

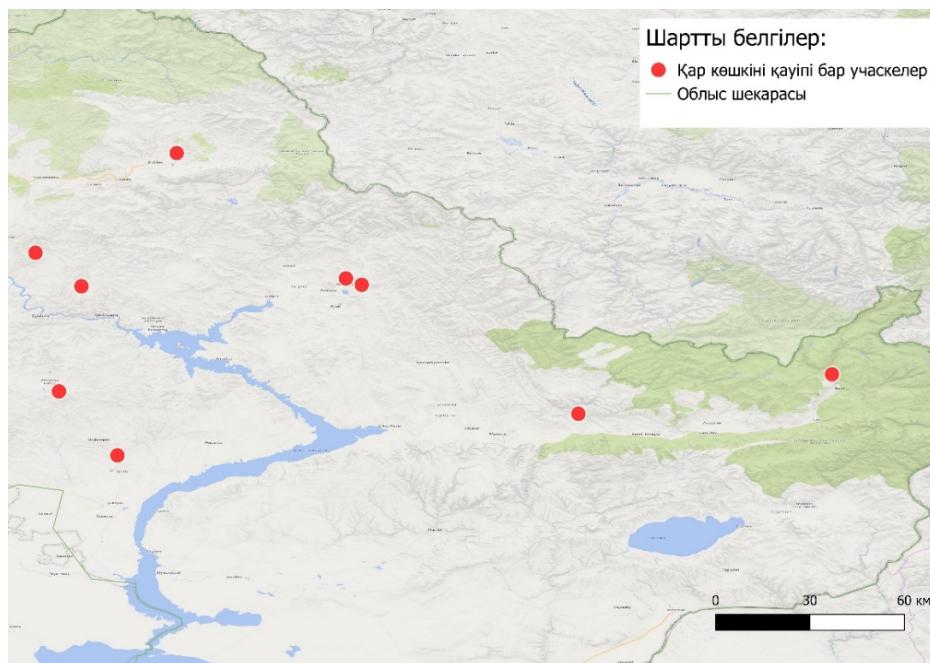
Қашықтықтан зондтаудың қазіргі заманғы жетістіктері жер бедерінің жоғары сапалы цифрлық модельдерін жасау үшін кең мүмкіндіктер ашады. Лидарлық суретке түсіру (LiDAR), серіктік радарлық және стереофотограмметриялық әдістер тау бөктерінің микро жер бедерін егжейтегжайлі көрсетуге мүмкіндік береді [4]. Қар көшкін процестерін дәл болжау үшін далалық бақылау деректердің түрлері мен сапасы қашықтықтан зондтау деректерімен біріктіру қажет [4, 5].

Цифрлық модельдер негізінде беткейлердің сандық көрсеткіштерін есептеуге және көшкінге неғұрлым бейім аумақтарды анықтауға мүмкіндік беретін геоморфометриялық талдау жүргізіледі. Маңызды геоморфометриялық сипаттамалар еніс, көлбеу экспозициясы, қисық және топографиялық ылғалдылық индексі болып саналады [2]. Бірқатар зерттеулерде осы сипаттамалар мен көшкін жиілігі арасындағы тұракты байланыс расталады [6, 7, 8].

Шығыс Қазақстан облысының аумағы биіктіктің күрт ауысуы, күрделі климаттық жағдайлар және сейсмикалық белсененділік себебінен көшкін қауіпіне едәуір ұшырайды. Алайда, бұл

жерде цифрлық геоморфометриялық талдаудың мүмкіндіктерін толық ашатын зерттеулер әзірге жеткіліксіз. Жергілікті ғалымдардың жекелеген жарияланымдары [9, 10] геоақпараттық талдау мен қашықтықтан зондтаудың қазіргі заманғы әдістерін, атап айтқанда, көшкін белсенділігінің қауіптілігі мен болжамын бағалау үшін жоғары сапалы цифрлық модельдер қолдана отырып ықпалдастыру қажеттігіне назар аударады.

Бұл зерттеудің негізгі мақсаты Шығыс Қазақстан облысының көшкін қауіпі бар участкерінің беткейлерін жер бедерінің цифрлық модельдері арқылы геоморфометриялық талдау болып табылады. Нәтижесінде, геоморфологиялық карталардың 2 түрі жасалынды: биіктік карталары және морфометриялық (еністердің тіктігі) карталары.



1 - сурет. Шығыс Қазақстанда көшкін қауіпі бар аймақтардың орналасуы

Материалдар мен әдістер. Табиги апаттардың тәуекелдерін бағалау, жер бедерінің ерекшеліктерін ескере отырып, көшкін қауіпі бар участкелерін зерттеу стратегиясын әзірлеу және инфрақұрылымын жоспарлау үшін геоморфологиялық карталар негізінде жергілікті жердің геоморфологиялық талдау жүргізілді. Геоморфологиялық карталар - бұл жер беті бедерінің нысандарын көрсететін мамандандырылған тақырыптық карталар [11, 12].

Көшкіндерді зерттеу едәуір дәрежеде геоморфологиялық карталарға сүйенеді. Олар көшкін қауіптілігін талдауға және болжауға, сондай-ақ аумақтық қорғау шараларын әзірлеуге көмектеседі. Мұндай карталарда көшкін қауіпі бар аудандарды анықтауға және көшкін процестерінің ди-

намикасын түсінуге мүмкіндік беретін ақпарат бар.

Тақырыптық карталар жер бедерінің цифрлық моделі негізінде жасалынды. Google Earth Pro-ның координаталық және биіктік деректері негізінде зерттелетін участкелердің биіктік карталары мен 3D модельдері жасалды. Google Earth Pro биіктік деректерін әртүрлі көздерден, соның ішінде SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) деректерінен алады. Цифрлық модельдерді құру негізі ретінде SRTM деректері таңдал алынды. SRTM - радиолокациялық қашықтықтан зондтау деректерін пайдалана отырып, Жер бедерінің дәлдігі жоғары цифрлық моделін жасауға бағытталған халықаралық жоба болып табылады. Бұл жобаның барысында жер бетінің басым бөлігі

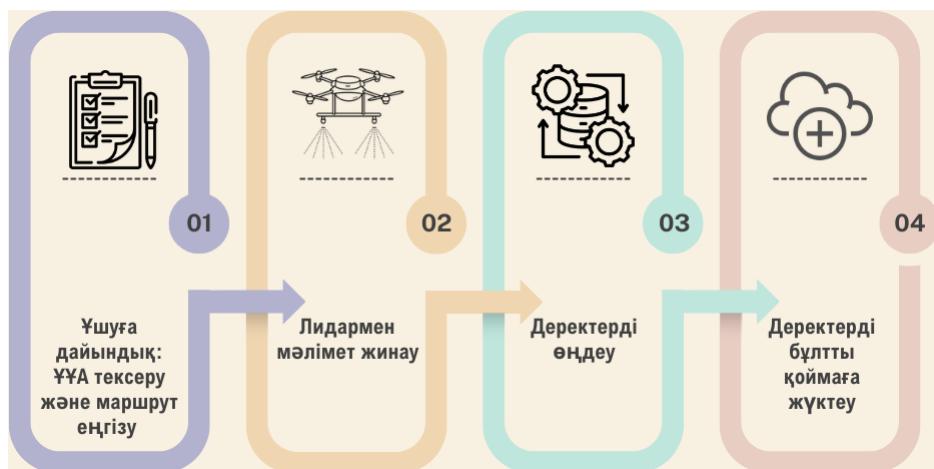
(80% жуық) үшін жер бедердің жаһандық цифрлік модельдерін жасауға мүмкіндік беретін деектортер жиналды [13, 14].

Қазіргі заманғы әдістермен жасалатын дәлдігі жоғары цифрлық модель негізінде геоморфологиялық талдау (аэрофототұсіріс, LiDAR, жерүстілік лазерлік сканерлеу).

Тұсіріс DJI Matrice 300 RTK және лидар Emesent Hovermap ST үшқышсыз авиациялық жүйесінің (сурет 2) көмегімен жүргізілді. Шығыс Қазақстан облысының аумағында таңдалған көшкін жинағыштардың сандық 3D моделін тұсіру және жасау келесі ретпен орындалады (сурет 3). жерүстілік лазерлік сканерлеу).



2 - сурет. Hovermap лидарымен DJI Matrice 300 RTK ҰҰА көрінісі



3 - сурет. ҰҰА және LiDAR көмегімен зерттеуді жүргізу реті

Зерттеу объектісі ретінде Шығыс Қазақстан облысында көшкін қауіп бар аймақтар алынған. Далалық жұмыстар «Зубовская» тауы, Проходная

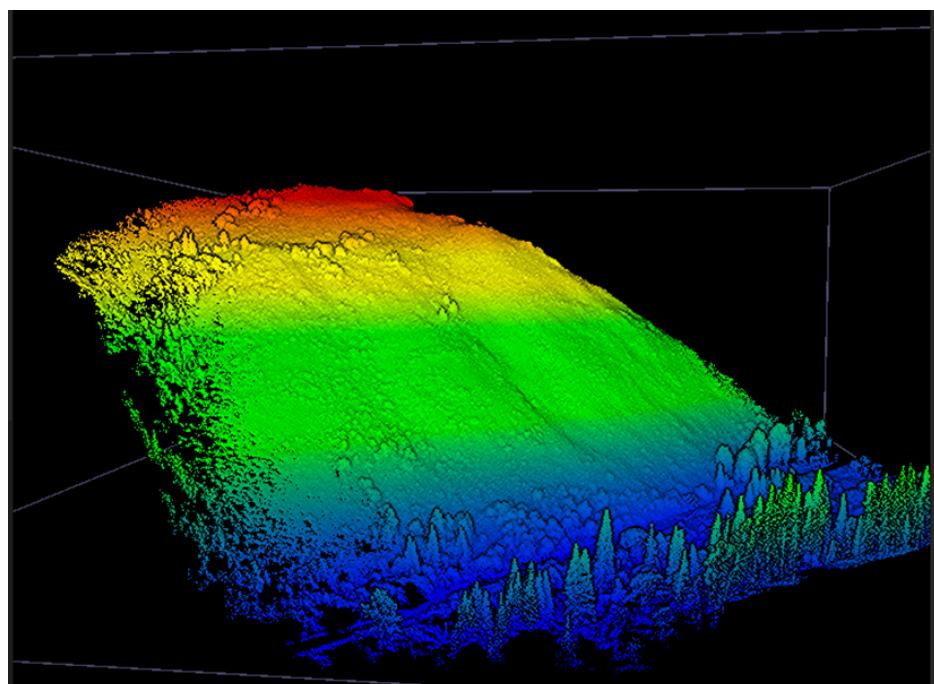
өзені, Лайлы өзені, Таинты өзені, Богатыревская копь аймақтарында жүргізілді.

Нәтижелер мен талқылау. Лидар техноло-

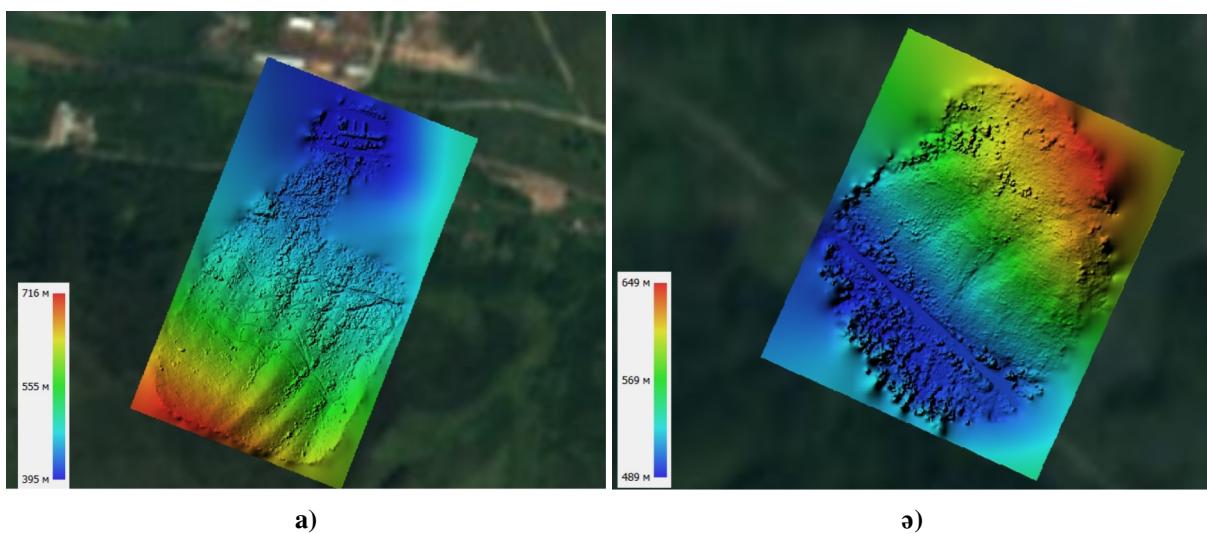
гиясы аумақ пен нысандар туралы жоғары дәлдіктегі үш өлшемді ақпаратты алуға мүмкіндік береді және оның негізінде жасалған цифрлық модельдер картографияда, құрылышта, инженерлік нысандарды жобалауда, геологияда, межеледі де және қалалық ортада кеңінен қолданылады. Лидарлық түсіріс материалдары бойынша цифрлық модельдерді құру әртүрлі қызмет салаларында сұранысқа ие, аумақтар мен объектілердің дәл және интерактивті үш өлшемді көріністерін алуға мүмкіндік беретін мамандандырылған тех-

нологиялық және аналитикалық процестер сериясын қамтиды [15].

Лидардан алынған деректерді бастапқы өндөу Aura бағдарламасында жүзеге асырылады (сурет 4). Бағдарлама лидардан бүлтты нұктелерді құруга арналған. Бағдарламада шығу деректерімен құрделі емес операцияларды жүргізуге болады. Нұктелерді кесу, сирету, координаталық жүйені ауыстыру және т.б. Сондай-ақ шығу деректерін әртүрлі жазықтықта көруге болады (сурет 5).

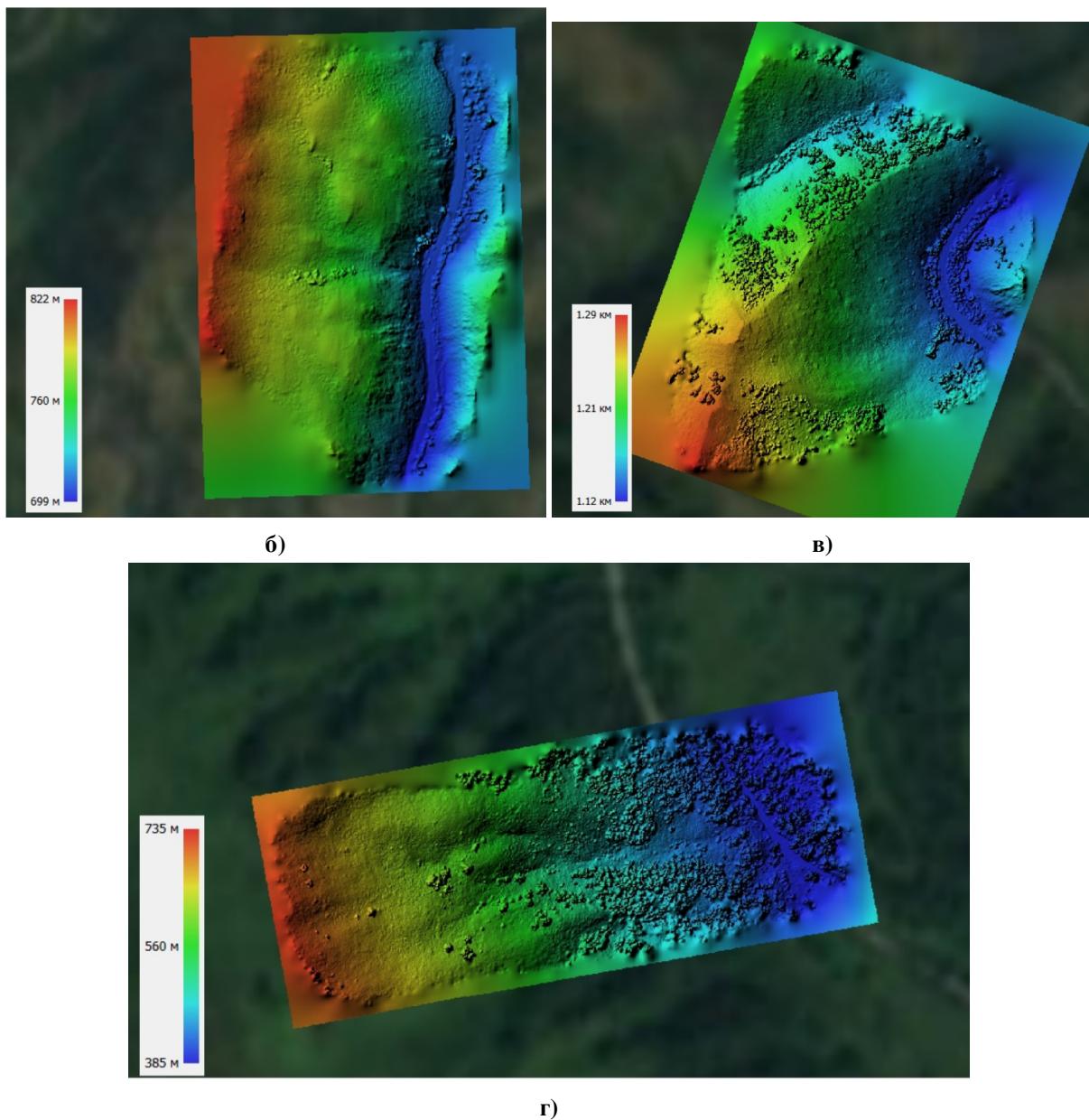


4 - сурет. Aura бағдарламасындағы түсіріс нәтижелері



a)

е)



5 - сурет. Лидардан алынған өндегу деректері: а) «Зубовская» тауы; ә) Проходная өзені; б) Лайлы өзені; в) Таинты өзені; г) Богатыревская копъ

Зерттеу жүргізу барысында лидар түсіру технологиясының дәстүрлі түсіру әдістерімен салыстырғанда бірқатар маңызды артықшылықтарға ие, сонымен қатар кемшіліктерін де атап өтуге болады (1-кесте).

Сондықтан лидар түсірісі кеңістіктік деректерді жинаудың жылдам, дәл және жоғары сапалы

әдісі болып табылады, бұл әр түрлі мәселелерді шешу үшін ақпараттың егжей-тегжейін, алу жылдамдығын, сенімділігі мен дәлдігін едәуір арттыра алады [16].

SRTM мәліметтері негізінде цифрлық модельдерді құру.

1 - кесте. Лидарлық түсірістің артықшылықтары мен кемшіліктері

Артықшылықтары	Кемшіліктер
-----------------------	--------------------

Кеңістіктің жоғары дәлдігі мен нақтылығы (сан-тиметр мен миллиметрге дейін), бұл микро жер бедерін жақсы анықтауга және жергілікті геоморфологиялық процестерді зерделеуге мүмкіндік береді.	Деректерді алуға және оларды өңдеуге жұмсалатын жоғары құн мен еңбек шығындары.
Үдерістердің мониторингі және жер бедерінің динамикасы жағдайында бақылауларды үнемі жаңарту және толықтыру мүмкіндігі.	Ұлken аумақтарда өлшеуді жүзеге асыру қын.
Өсімдіктер мен құрылым салынған аумақтардың аз әсері (әсіресе орман алқаптары мен жерге дәл енуді қамтамасыз ететін LiDAR үшін).	Деректерді жинау жүйесінде технологиялық шектеулердің болуы (мысалы, ауа райы жағдайлары, дрондарды пайдалануға шектеулер, өңдеу үшін курделі аппаратура мен мамандардың қажеттілігі).
Әдістеменің ұлken әмбебаптығы мен икемділігі: түрлі тапсырмаларға түсіру параметрлерін өзгерту мүмкіндігі.	

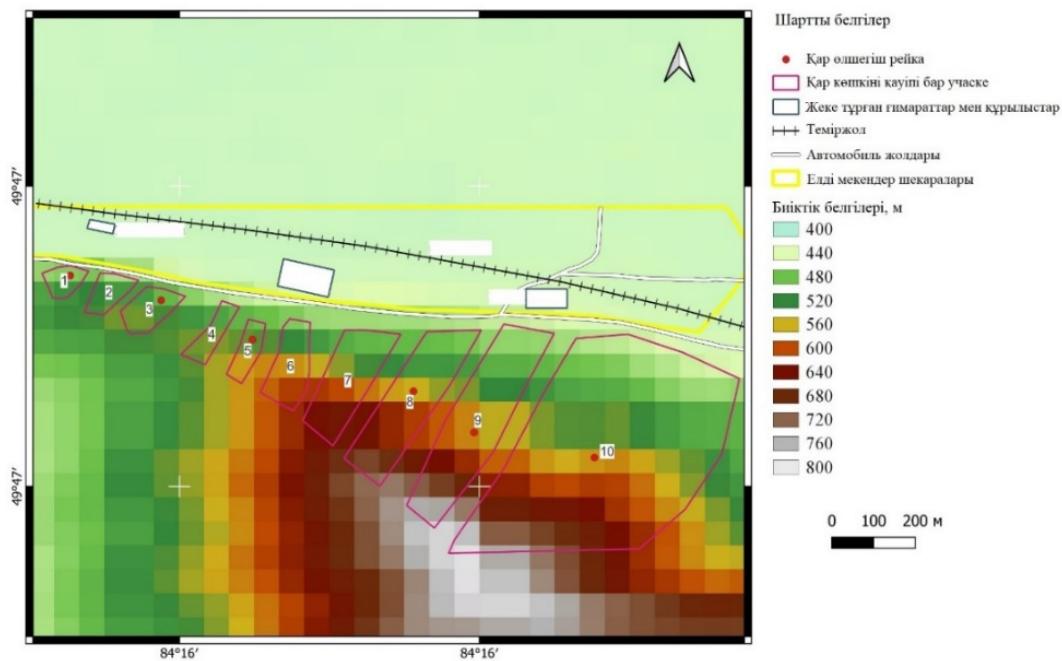
Биіктік карталар QGIS 3.36 нұсқасындағы бағдарламалық жасақтамада SRTM негізінде жасалынды. Жүктелген растрлар Topography сызықтық градиенті бар бір арналы жалған түсті кескінге түрлендірілді. Цифрлық деректер (биіктік белгілері) жергілікті жердің биіктігіне сәйкес тең диапазондарға бөлінген.

Сондай-ақ, картаға қар өлшетін рейкалар, көшкін қауіпі бар участкелердің шекаралары, цифрлық модельдер деректері негізінде құрылған автомобиль жолдары және т.б. түріндегі кар-

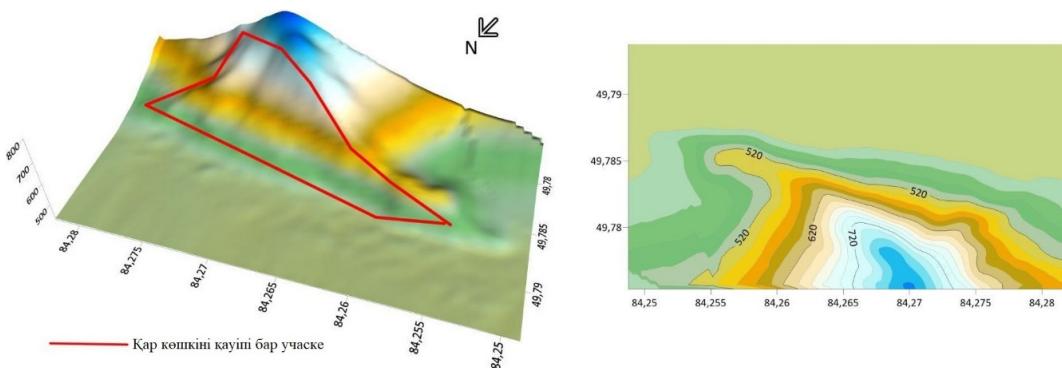
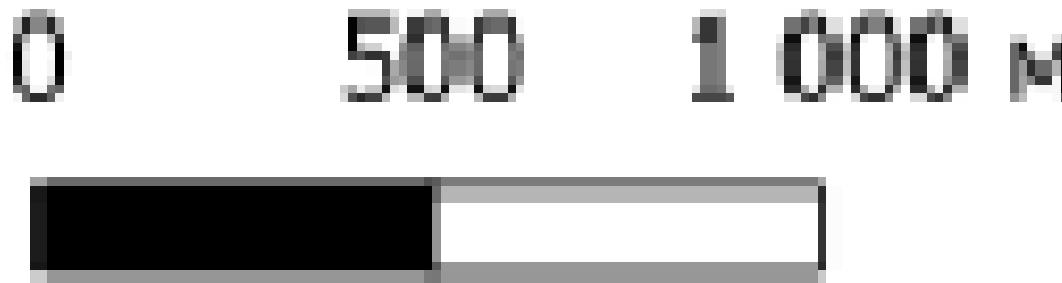
тографиялық жағдайлар қосылды.

Морфометриялық мәлеметтерді талдау нәтижесінде көшкін қауіпі бар участкелердің жердің биіктігі бойынша сипаттама берілген [17].

«Зубовская» тауының участкесі 480 - 800 м деңгейінде орналасқан (сурет 6). № 1 - 5 көшкін жинағыштар 480 - 560 м биіктікте орналасқан, көшкін жинағыштардың абсолюттік белгілері онтүстік-шығыста жоғары орналасқан. Ең ұлken көшкін жинағы (№ 10) 800 м биіктікте орналасқан (сурет 7).

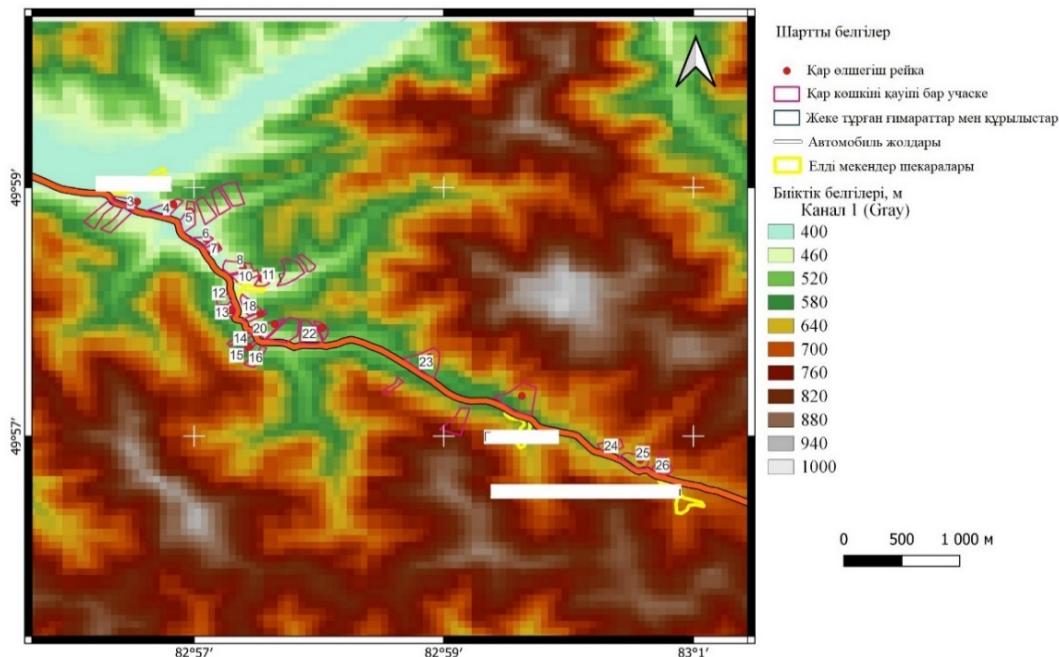


6 - сурет. «Зубовск» тауы участкесінің биіктік картасы (SRTM мәліметтері негізінде)

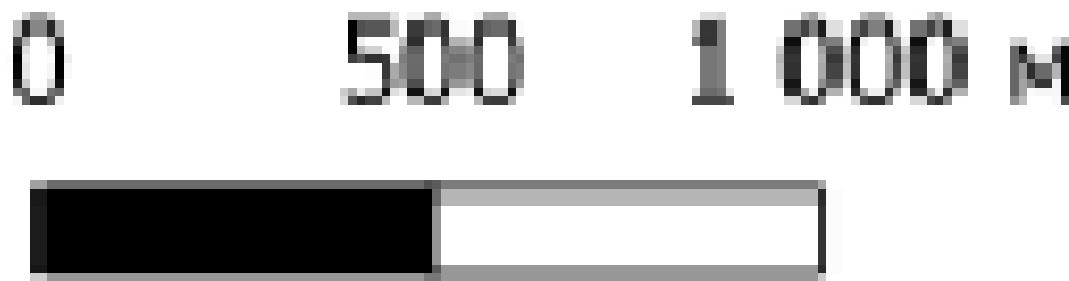


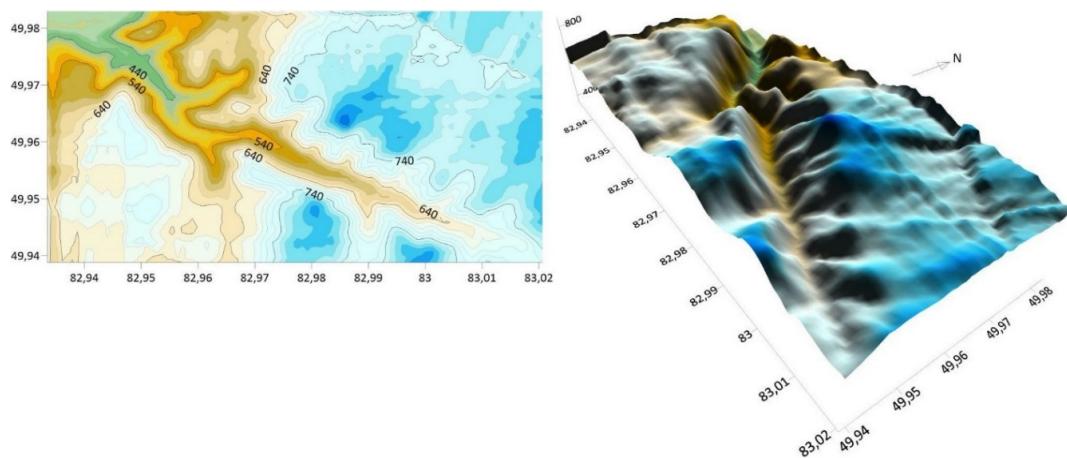
7 - сурет. Google Earth Pro деректері негізінде биіктік карталары мен 3D модельдері («Зубовск» тауы участкесі)

Проходная өзенінің участкесінде, Горная Ульбинка ауылында (сурет 8) көшкін жинағыштар негізінен (№ 22 дейін) 460 - 580 м биіктікте орналасқан, онтүстік-шығысқа қарай, көшкін жинағыштар биіктігінің таулар арасындағы арақашықтықта (№ 23 - 26) 850 - 880 м дейін жетеді (сурет 9).



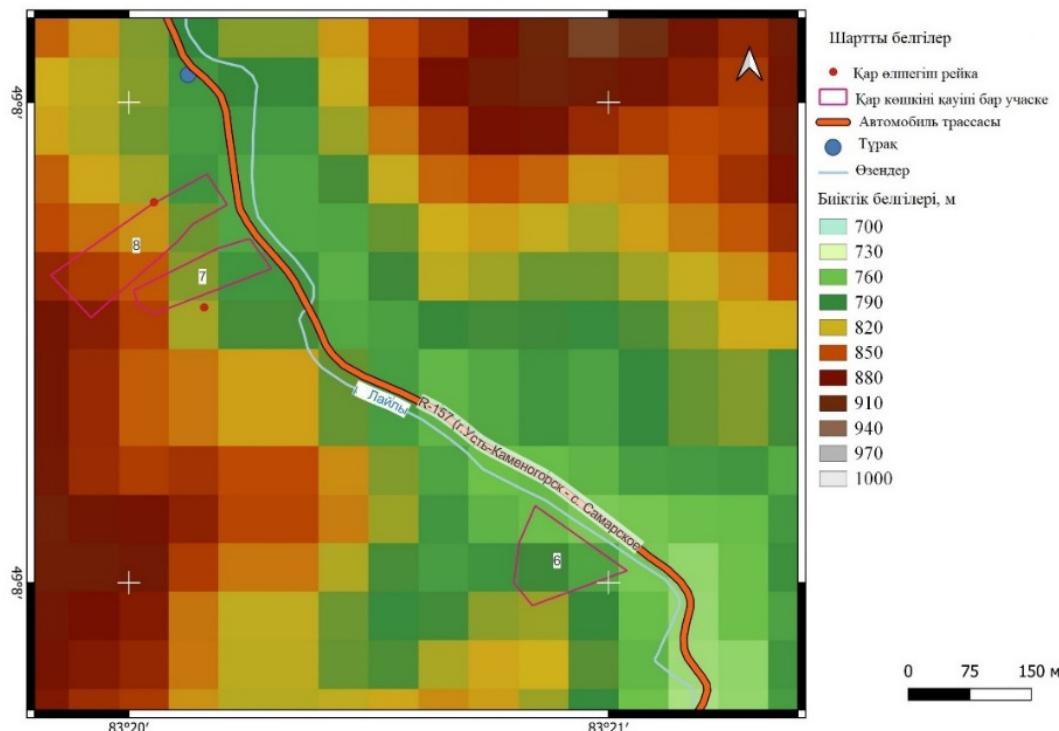
8 - сурет. Проходная өзені участкесінің биіктік картасы (SRTM мәліметтері негізінде)



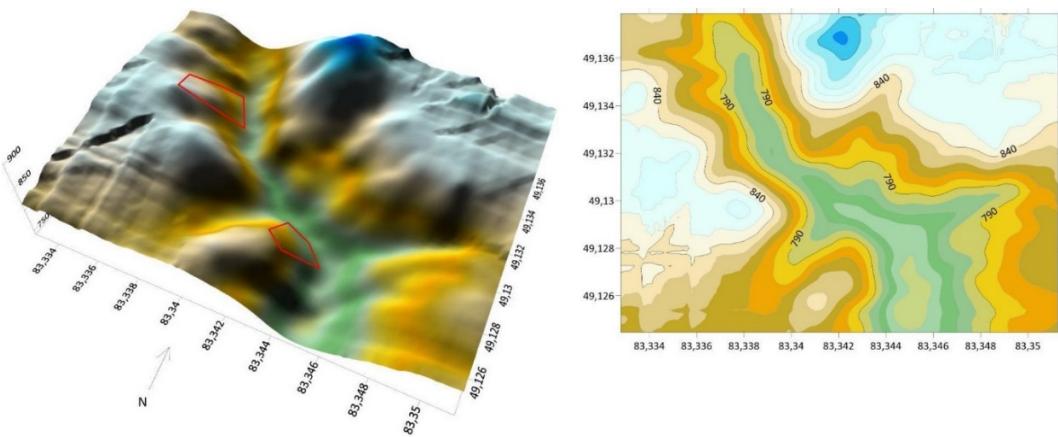
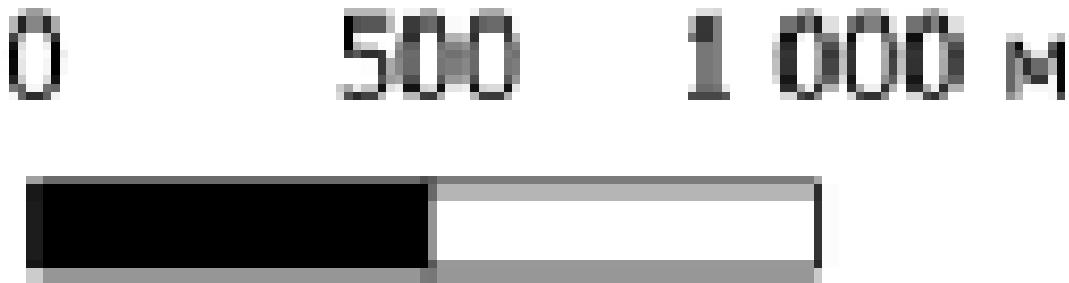


9 - сурет. Google Earth Pro деректері негізінде биіктік карталары мен 3D модельдері (Проходная өзені участке)

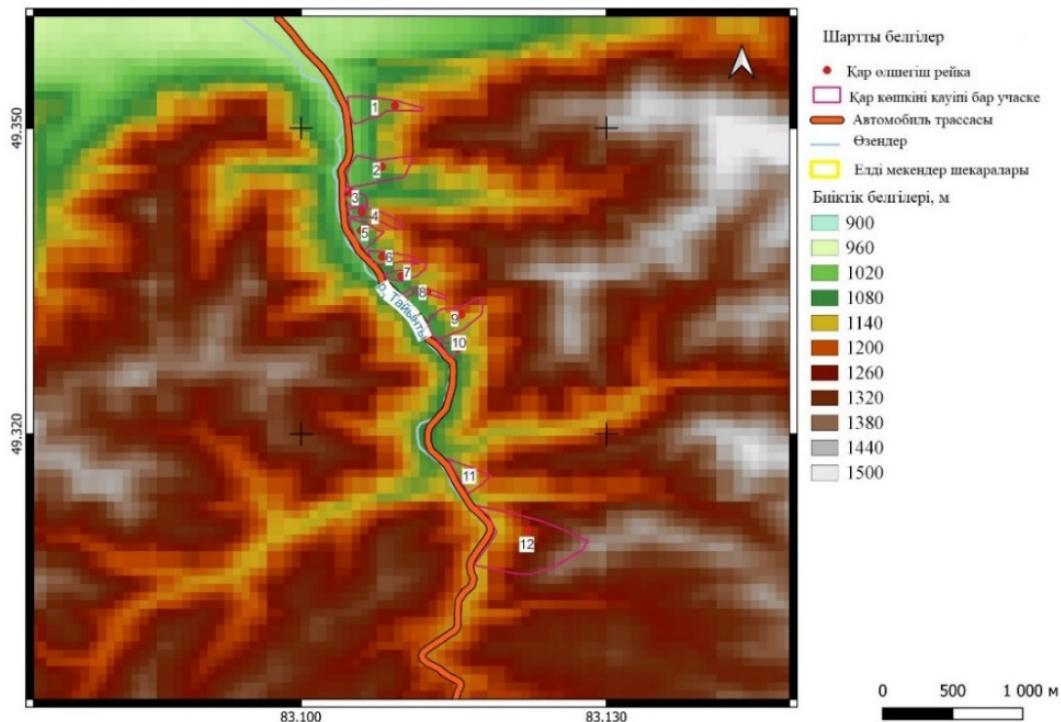
Лайлы өзені участкесінің барлық 3 қар көшкін жинағыштары (сурет 10) өзеннің оң жағалауында 750 - 850 м биіктікте орналасқан (сурет 11), Тайынты өзені ауданы бойынша көршілес участке (сурет 12) Тайынты өзенінің оң жағалауындағы тар шатқалда орналасқан. № 1 - 10 қар көшкін жинағыштардың 950 - 1200 м диапазонында абсолюттік белгілері бар, № 11, 12 қар көшкін жинағыштар тік баурайларда орналасқан. № 12 қар көшкін жинағыштың жоғарғы бөлігінің биіктігі 1450 м тең (сурет 13).



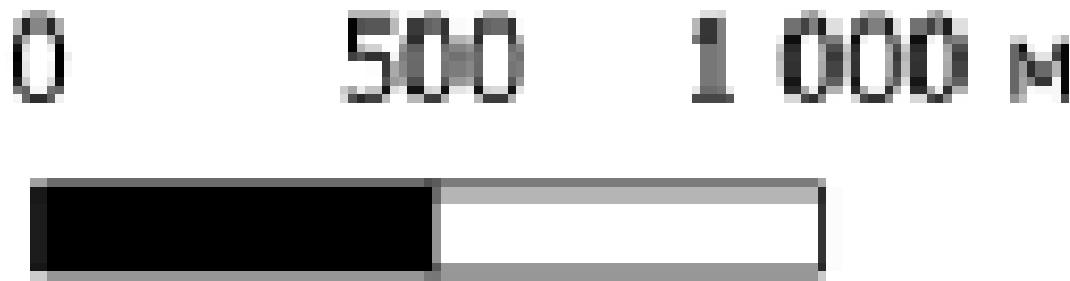
10 - сурет. Лайлы өзені участкесінің биіктік картасы (SRTM мәліметтері негізінде)

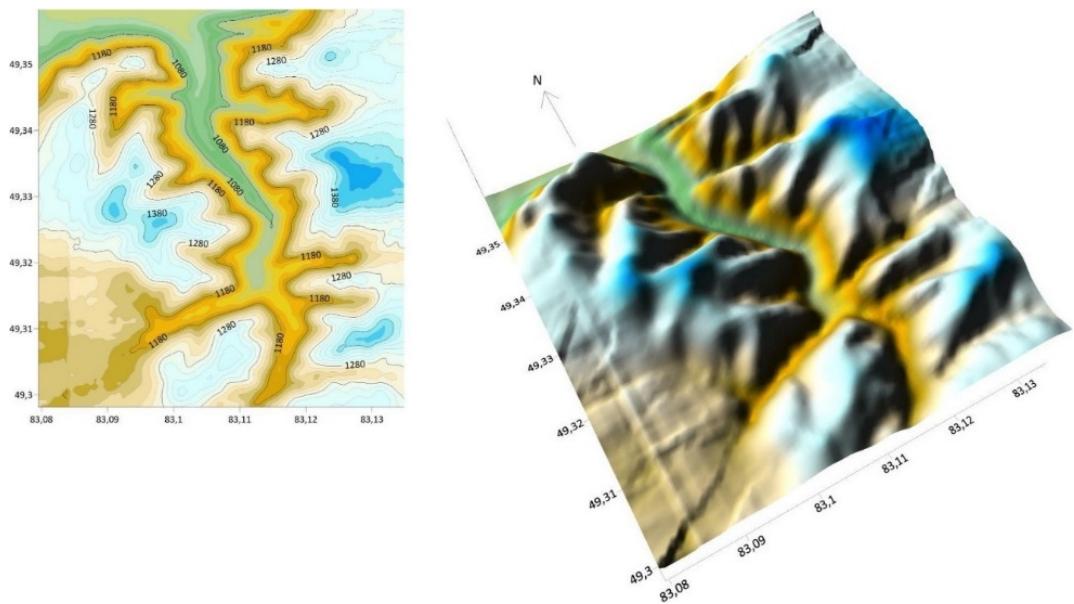


11 - сурет. Google Earth Pro деректері негізінде биіктік карталары мен 3D модельдері (Лайллы өзені үчаскесі)



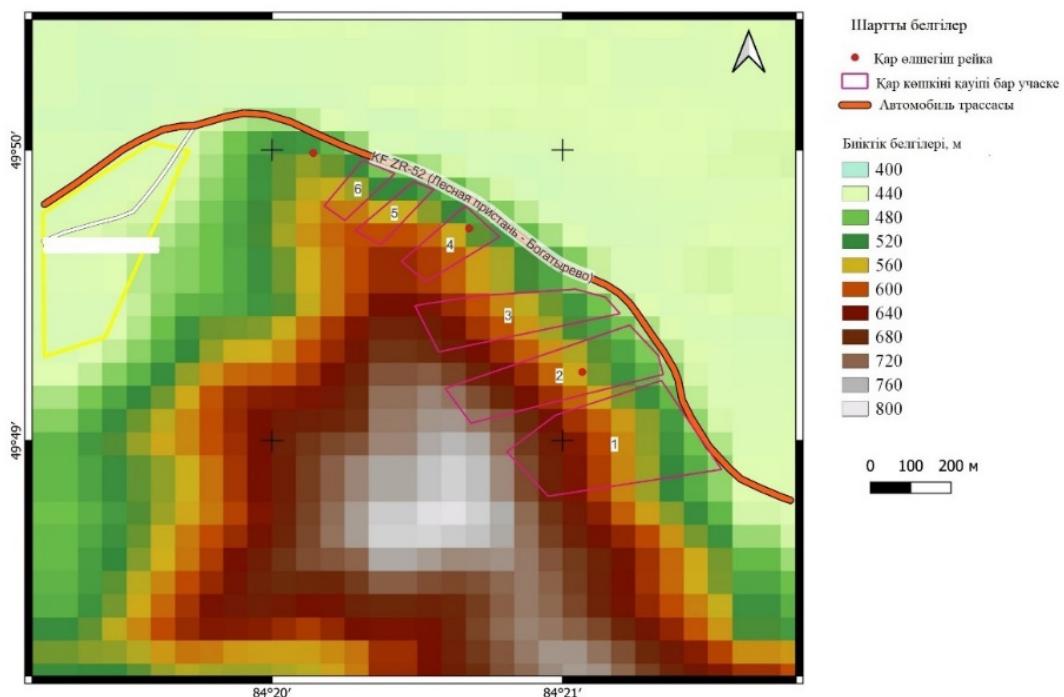
12 - сурет. Таинты өзені участкесінің биіктік картасы (SRTM мәліметтері негізінде)





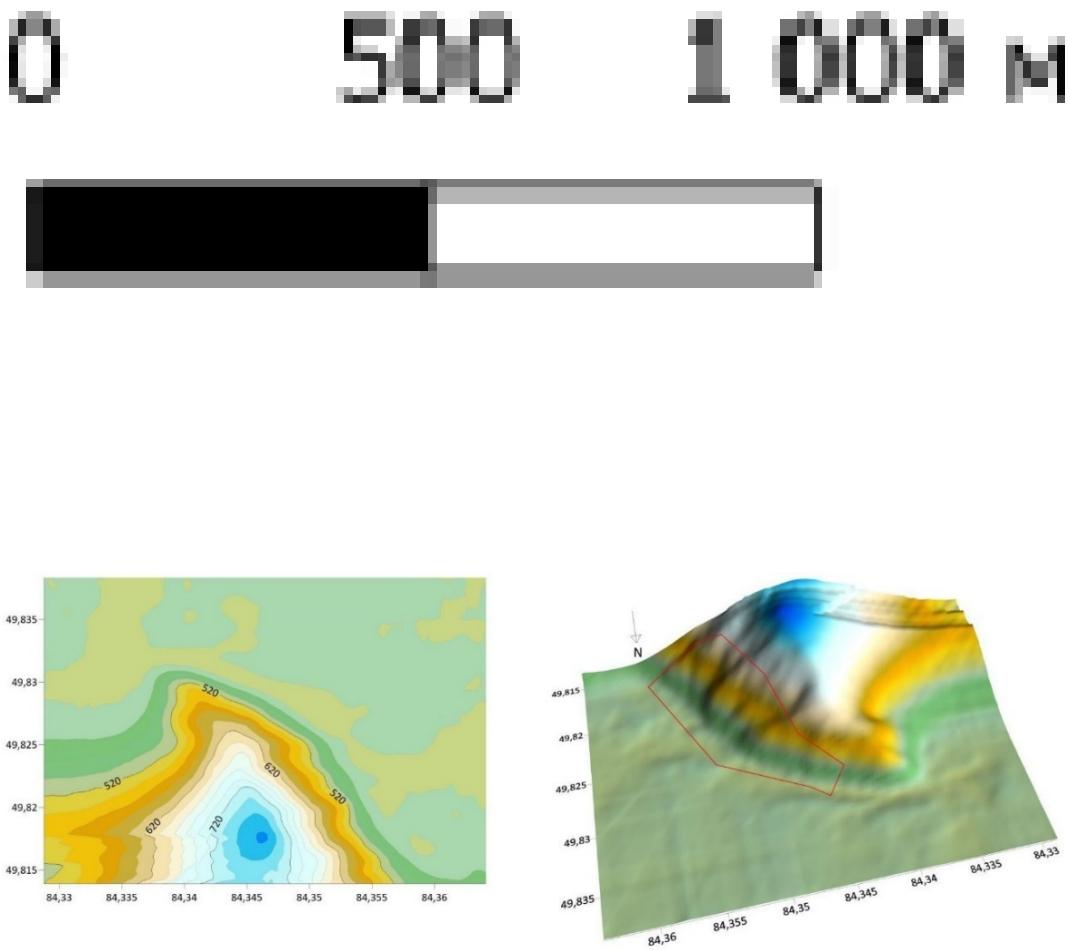
13 - сурет. Google Earth Pro деректері негізінде биіктік карталары мен 3D модельдері (Таинты өзенінің участкесі)

«Богатыревская копь» участкесінің көшкін жинағыштары (сурет 14) жотаның солтустік-шығыс бет-кейлерінде орналасқан, ол автожолдан кейін қиялы өзен алқабына өтеді. Абсолюттік белгілер 480-800 м шегінде өзгереді (сурет 15).



14 - сурет. Богатыревская копь участкесінің биіктігінің картасы (SRTM мәліметтері негізін-

де)



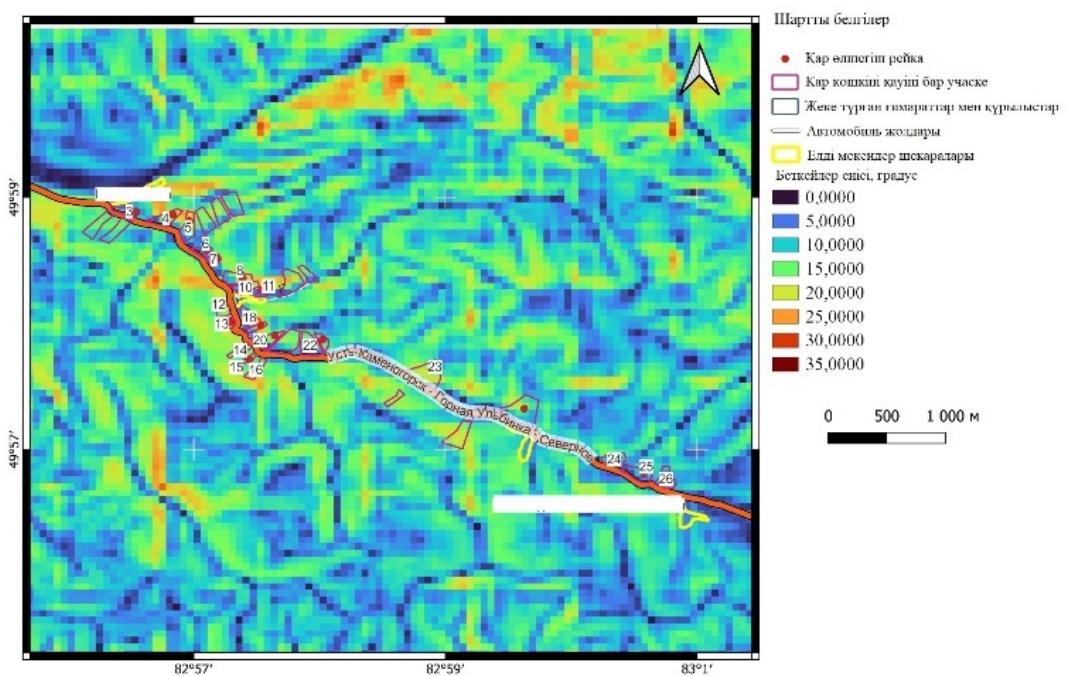
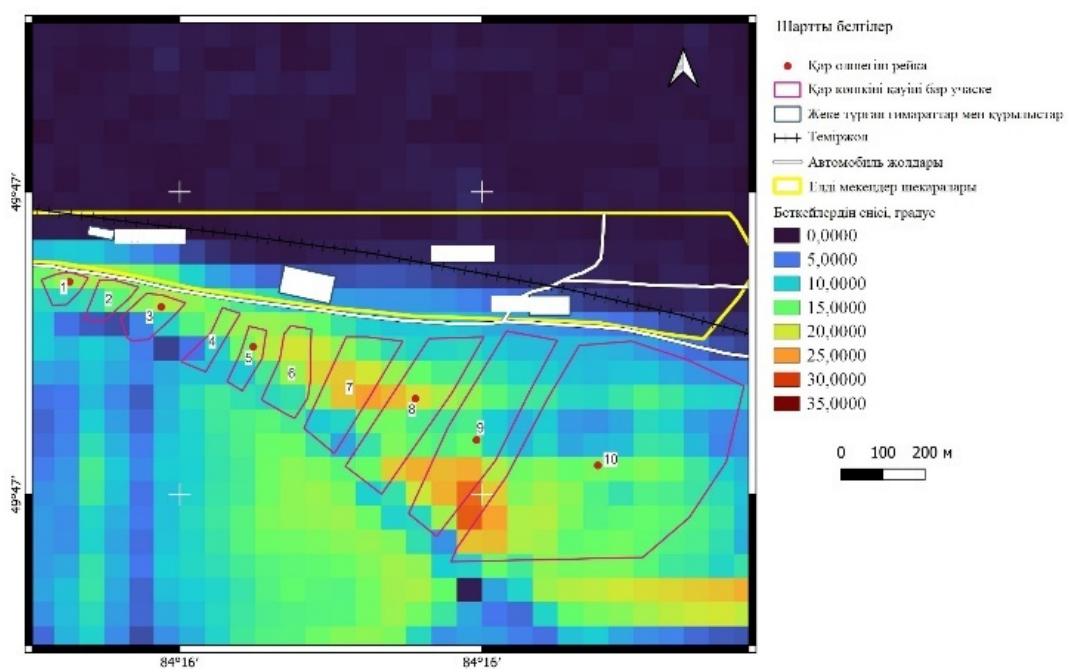
15 - сурет. Google Earth Pro деректері негізінде биіктік карталары мен 3D модельдері (Богатыревская копъ участкесі)

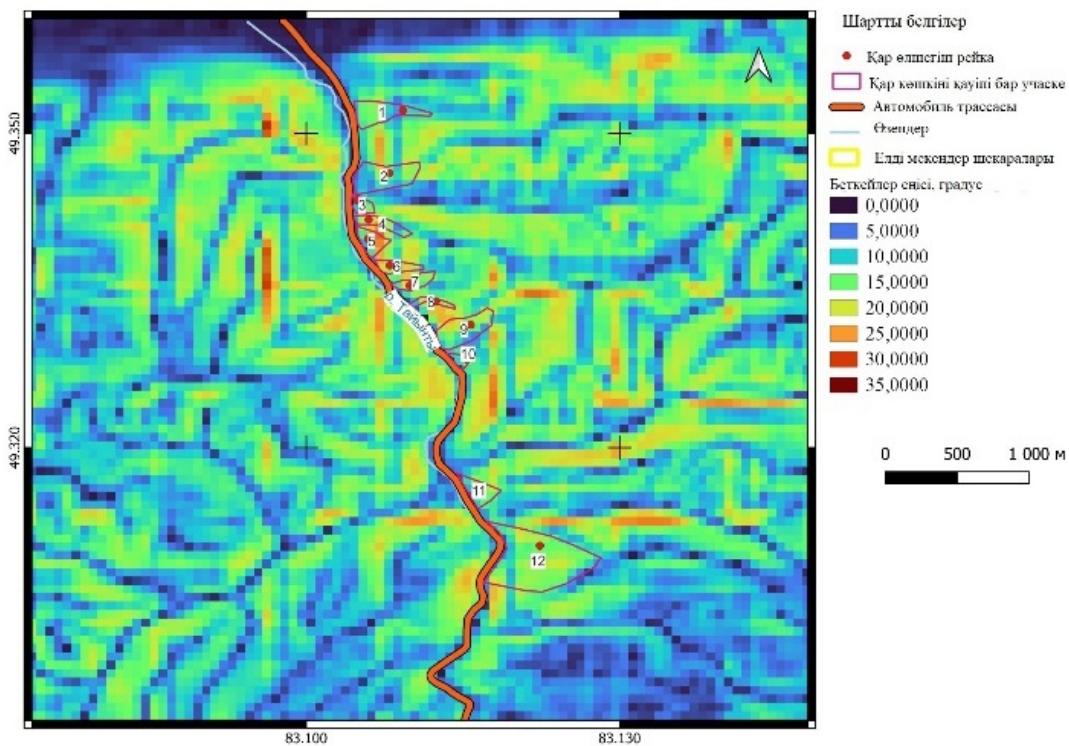
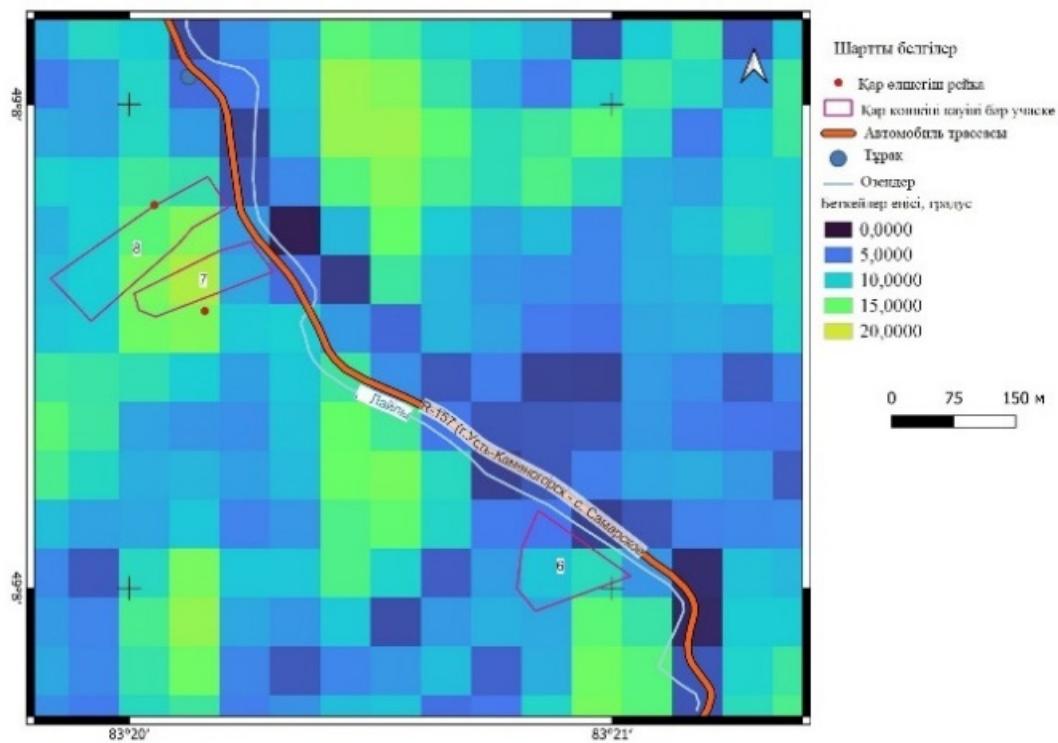
Нақты участкелер мен аумақтар үшін түсіру жұмыстары және кейіннен әуедегі немесе жердегі фотосуреттерді өңдеу негізінде (фотограмметриялық немесе лазерлік технологияларды қолдана отырып) цифрлық модельдер жасау жолымен жеке жүргізіледі.

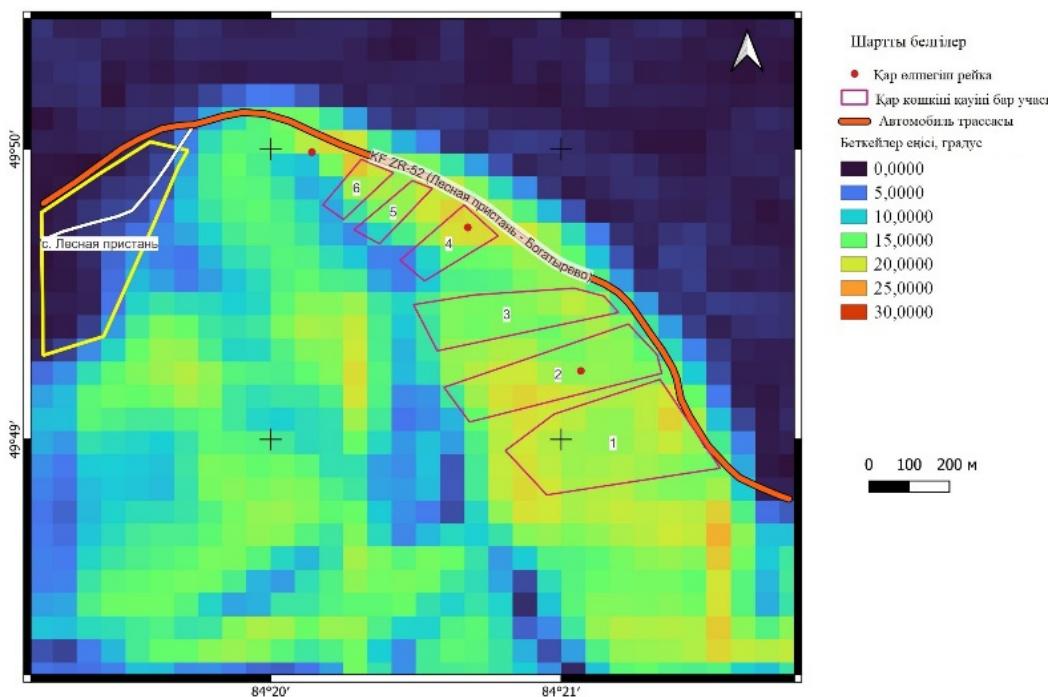
Цифрлық модельдерді құру негізі ретінде SRTM мәліметтерін қолдану нәтижесінде олардың келесі артықшылықтары мен кемшиліктерін көрсетуге болады (2-кесте).

2 - кесте. Цифрлық модель құру негізі ретінде SRTM мәліметтерін қолданудың артықшылықтары мен кемшиліктері

Тік беткейлердің картасын жасау үшін SRTM деректері пайдаланылды. Құрал ретінде QGIS морфометриялық талдау плагині қолданылды. Морфометриялық есептеулерден кейін растр бір арналы жалған түсті бейнеге ауыстырылды. “Turbo” градиентті бірдей градус интервалдарымен қолданылды [18, 19]. Нәтижесінде участкелер бойынша морфометриялық карталар құрылды (сурет 16).







16 - сурет. Морфометриялық карта: а) «Зубовск» тауы; ә) Проходная өзені; б) Лайлы өзені;

в) Таинты өзені; г) Богатыревская копь

Лидар түсірілімдері мен биіктік карталарының нәтижелерін талдау негізінде қар көшкінінің тусуіне неғұрлым бейім көлбеке бұрыштары бар участкелер анықталды (3-кесте).

3 - кесте. Көшкін қауіпі бар участкелердің беткейлері еңісінің ең жоғары және ең төменгі мәндері

Корытынды. SRTM деректерін аймақтық талдау және зерттеудің алдын-ала кезеңі, аумақты жалпы зерттеу, жер бедерінің негізгі ерекшеліктерін іздеу үшін пайдалу дұрыс.

Жоғары дәлдіктегі цифрлық модельдер жер гілікті және нақты процестерді егжей-тегжейлі талдау және бақылау үшін, шағын аумақтарды инженерлік, экологиялық және ғылыми зерттеудерде немесе жоғары нақталығы мен дәлдік қажет жерлерде оңтайтыны.

Екі әдістің де артықшылықтары бар және жалпы ауқымды талдаудан (SRTM) негізгі жер бедері участкелерін (жоғары дәлдіктегі цифрлық моделилер) егжей-тегжейлі зерттеуге көшу мүмкіндіктерінің арқасында бір-бірін сәтті толықтыра алады. Белгілі бір тәсілді немесе осы тәсілдер-

дің жиынтығын тандау толығымен аумақтық міндеттерге және геоморфологиялық зерттеулердің ауқымына байланысты.

Алғынған морфометриялық карталар мен оларды талдау негізінде көшкін қаупі бар участкелер тік беткейлерде орналасқанын атап өткен жөн, участкелер негізінен 25-45° тік диапазондағы баурайларда орналасқан. Көшкін жинағыштардың көпшілігі 15-25° құламалы баурайларда орналасқан.

Бұл мәліметтер ары қарай ШҚО бойынша қар көшкін қауіпі бар участкелерді бақылау жүргізуғе және қар көшкінің болжай бойынша геоакпараттық бағдарламаларды жобалауға қолданылады.

Бұл зерттеу 2023-2025 жылдарға арналған

BR21882022 «Мониторинг жүйелерін әзірлеу кін белсенділігін зерттеу» БНҚ бағдарламасы және оларды орналастырудың ғылыми негіздемесі үшін Шығыс Қазақстан облысындағы көш-

Әдебиеттер

1. Rakhymberdina, M., Levin, E., Daumova, G., Bekishev Y., Assylkhanova, Z., Kapasov, A. Combined Remote Sensing and GIS Methods for Detecting Avalanches in Eastern Kazakhstan // ES Energy and Environment. - 2024. - Vol.26. - P.1350. DOI 10.30919/esee1350.
2. Aydin A., Eker R. GIS-based snow avalanche hazard mapping: bayburt-aşağı dere catchment case // Journal of Environmental Biology.- 2017. -Vol.38(5).- P.937-943. DOI 10.22438/jeb/38/5(si)/gm-10.
3. Wastl M., Stötter J., Kleindienst H., Avalanche risk assessment for mountain roads: a case study from Iceland// Natural Hazards. - 2011. - Vol.56(2). DOI 10.1007/s11069-010-9703-64.
4. Bühler Y., Bebi P., Christen M., Margreth S., Stoffel L., Stoffel A., Marty C., Schmucki G., Caviezel A., Kühne R., Wohlwend S., Bartelt P. Automated avalanche hazard indication mapping on a statewide scale // Natural Hazards and Earth System Sciences. - 2022. - Vol.22 (6) - P. 1825-1843. DOI 10.5194/nhess-22-1825-2022.
5. Kurt T. Avalanche Hazards with Mitigation in Turkey and Qualitative Risk Assessment for Snow Avalanches in Ayder (Rize, NE Turkey) Using Combination of GIS, Remote Sensing Techniques and Field Studies. In Applications of Space Techniques on the Natural Hazards in the MENA Region // Springer International Publishing: New York, NY, USA. - 2022. - P.533–567. DOI 10.1007/978-3-030-88874-9_23.
6. Aydin A., Eker R., Odabaşı Y.B. Generating avalanche hazard indication map and determining snow avalanche protection forests in çaykara-Trabzon (NE-Turkey) // Forestist. - 2022. - Vol.72 (1). - P. 62-72. DOI 10.5152/forestist.2021.20060.
7. Eckerstorfer M., Christiansen H.H. Meteorology, Topography and Snowpack Conditions Causing Two Extreme Mid-Winter Slush and Wet Slab Avalanche Periods in High Arctic Maritime Svalbard // Permafrost and Periglacial Processes.- 2012.- Vol.23. - P.15-25. DOI 10.1002/ppp.734.
8. Denissova N., Nurakynov S., Petrova O., Chepashev D., Daumova G., Yelisseyeva A. Remote sensing techniques for assessing snow avalanche formation factors and building hazard monitoring systems // Atmosphere. - 2024. - Vol.15(11). - P.1343. DOI 10.3390/atmos15111343.
9. Omirzhanova Zh.T., Urazaliev A.S., Aimenov A.T. GIS for predicting the avalanche zones in the mountain regions of Kazakhstan // The International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences.- 2015. - XL-2/W4. - P.39–44. DOI 10.5194/isprsarchives-XL-2-W4-39-2015.
10. Rakhymberdina M., Bekishev Y., Denissova N., Daumova, G., Assylkhanova, Z. Investigation Of Avalanche-Prone Areas of East Kazakhstan Based on Space Imagery Materials // In Proceedings of the 9th International Conference on Cartography and GIS, Nessebar, Bulgaria. – 2024. ISSN 1314-0604
11. Николаева С.А., Савчук Д.А., Кузнецов А.С. Особенности датирования селей, лавин и камнепадов в верховьях р. Актуру (Северо-Чуйский хребет, Центральный Алтай) по травмам деревьев //Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология - 2017. - № 4. – С.31-43.
12. Кюль Е.В. Оценка изменения ландшафттов лавинной деятельностью (по ландшафтным признакам частоты схода лавин) //Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. -2014. - № 3. - С.53-59.

-
13. Yang L., Meng X., Zhang X. SRTM DEM and its applications advanced //International Journal of Remote Sensing 2011. - Vol.32 (14). - P. 3875-3896. DOI10.1080/01431161003786016.
 14. Rodriguez E., Morris C.S., Belz J.E. A global assessment of the SRTM performance //Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. - 2006. -Vol.72. - P.249-260. DOI 10.14358/PERS.72.3.249.
 15. Eitel J.U.H., Hö, B., Vierling L.A., Abellán A., Asner G.P., Deems J.S., Glennie C.L., Joerg P.C., Lewinter A.L., Magney T.S., Mandlburger G., Morton D.C., Müller J., Vierling K.T. Beyond 3-D: The new spectrum of lidar applications for earth and ecological sciences // Remote Sensing of Environment.-2016.-Vol.186.-P.372–392. DOI 10.1016/j.rse.2016.08.018
 16. Chong Z.J., Qin B., Bandyopadhyay T., Ang M., Fazzoli E., Rus D. Synthetic 2D LIDAR for precise vehicle localization in 3D urban environment // In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Karlsruhe, Germany. - 2013. - P. 1554–1559. DOI 10.1109/ICRA.2013.6630777.
 17. Maggioni M., Gruber U. The influence of topographic parameters on avalanche release dimension and frequency // Cold Regions Science and Technology. - 2003.-Vol.37 (3). - P.407-419. DOI 10.1016/S0165-232X(03)00080-6.
 18. Крючков А.Н., Абламейко С.В., Апарин Г.П., Соболь Л.Н. Методы оперативного анализа состояния местности на основе моделей цифровых карт и аэро-космоснимков // Штучний інтелект. - 2010. - № 3. - С.329-340.
 19. Singh D.K., Mishra V.D., Gusain H.S. Simulation and analysis of a snow avalanche accident in Lower Western Himalaya // India, Journal of the Indian Society of Remote Sensing. – 2020. – Vol.48 (11). - P. 1555-1565. DOI 10.1007/s12524-020-01178-5.

References

1. Rakhymerdina, M., Levin, E., Daumova, G., Bekishev Y., Assylkhanova, Z., Kapasov, A. Combined Remote Sensing and GIS Methods for Detecting Avalanches in Eastern Kazakhstan // ES Energy and Environment. - 2024. - Vol.26. - P.1350. DOI 10.30919/esee1350.
2. Aydin A., Eker R. GIS-based snow avalanche hazard mapping: bayburt-asağı dere catchment case // Journal of Environmental Biology.- 2017. -Vol.38(5).- P.937-943. DOI 10.22438/jeb/38/5(si)/gm-10.
3. Wastl M., Stötter J., Kleindienst H., Avalanche risk assessment for mountain roads: a case study from Iceland// Natural Hazards. - 2011. - Vol.56(2). DOI 10.1007/s11069-010-9703-64.
4. Bühler Y., Bebi P., Christen M., Margreth S., Stoffel L., Stoffel A., Marty C., Schmucki G., Caviezel A., Kühne R., Wohlwend S., Bartelt P. Automated avalanche hazard indication mapping on a statewide scale // Natural Hazards and Earth System Sciences. - 2022. - Vol.22 (6) - P. 1825-1843. DOI 10.5194/nhess-22-1825-2022.
5. Kurt T. Avalanche Hazards with Mitigation in Turkey and Qualitative Risk Assessment for Snow Avalanches in Ayder (Rize, NE Turkey) Using Combination of GIS, Remote Sensing Techniques and Field Studies. In Applications of Space Techniques on the Natural Hazards in the MENA Region // Springer International Publishing: New York, NY, USA. - 2022. - P.533–567. DOI 10.1007/978-3-030-88874-9_23.
6. Aydin A., Eker R., Odabaşı Y.B. Generating avalanche hazard indication map and determining snow avalanche protection forests in çaykara-Trabzon (NE-Turkey) // Forestist. - 2022. - Vol.72 (1). - P. 62-72. DOI 10.5152/forestist.2021.20060.
7. Eckerstorfer M., Christiansen H.H. Meteorology, Topography and Snowpack Conditions Causing Two Extreme Mid-Winter Slush and Wet Slab Avalanche Periods in High Arctic Maritime Svalbard // Permafrost and Periglacial Processes.- 2012.- Vol.23. - P.15-25. DOI 10.1002/ppp.734.

8. Denissova N., Nurakynov S., Petrova O., Chepashev D., Daumova G., Yelisseyeva A. Remote sensing techniques for assessing snow avalanche formation factors and building hazard monitoring systems // Atmosphere. - 2024. - Vol.15(11). - P.1343. DOI 10.3390/atmos15111343.
9. Omirzhanova Zh.T., Urazaliev A.S., Aimenov A.T. GIS for predicting the avalanche zones in the mountain regions of Kazakhstan // The International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences.- 2015. - XL-2/W4. - P.39–44. DOI 10.5194/isprsarchives-XL-2-W4-39-2015.
10. Rakhyberdina M., Bekishev Y., Denissova N., Daumova, G., Assylkhanova, Z. Investigation Of Avalanche-Prone Areas of East Kazakhstan Based on Space Imagery Materials // In Proceedings of the 9th International Conference on Cartography and GIS, Nessebar, Bulgaria. – 2024. ISSN 1314-0604
11. Nikolaeva S.A., Savchuk D.A., Kuznecov A.S. Osobennosti datirovaniya selej, lavin i kamnepadov v verhov' jah r. Aktru (Severo-Chujskij hребет, Central' nyj Altaj) po travmam derev' ev //Geojelekologija. Inzhenernaja geologija, gidrogeologija, geokriologija - 2017. - № 4. – S.31-43.[in Russian]
12. Kjul' E.V. Ocenna izmenenija landshaftov lavinnoj dejatel' nost' ju (po landshaftnym priznakam chastyoty shoda lavin) //Izvestija Kabardino-Balkarskogo nauchnogo centra RAN. -2014. - № 3. - S.53-59. [in Russian]
13. Yang L., Meng X., Zhang X. SRTM DEM and its applications advanced //International Journal of Remote Sensing 2011. - Vol.32 (14). - P. 3875-3896. DOI10.1080/01431161003786016.
14. Rodriguez E., Morris C.S., Belz J.E. A global assessment of the SRTM performance //Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. - 2006. -Vol.72. - P.249-260. DOI 10.14358/PERS.72.3.249.
15. Eitel J.U.H., Hö, B., Vierling L.A., Abellán A., Asner G.P., Deems J.S., Glennie C.L., Joerg P.C., Lewinter A.L., Magney T.S., Mandlburger G., Morton D.C., Müller J., Vierling K.T. Beyond 3-D: The new spectrum of lidar applications for earth and ecological sciences // Remote Sensing of Environment.-2016.-Vol.186.-P.372–392. DOI 10.1016/j.rse.2016.08.018
16. Chong Z.J., Qin B., Bandyopadhyay T., Ang M., Fazzoli E., Rus D. Synthetic 2D LIDAR for precise vehicle localization in 3D urban environment // In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Karlsruhe, Germany. - 2013. - P. 1554–1559. DOI 10.1109/ICRA.2013.6630777.
17. Maggioni M., Gruber U. The influence of topographic parameters on avalanche release dimension and frequency // Cold Regions Science and Technology. - 2003.-Vol.37 (3). - P.407-419. DOI 10.1016/S0165-232X(03)00080-6.
18. Krjuchkov A.N., Ablameiko S.V., Aparin G.P., Sobol' L.N. Metody operativnogo analiza sostojaniya mestnosti na osnove modelej cifrovyykh kart i ajero-kosmosnimkov // Shtuchniy intelekt. - 2010. - № 3. - S.329-340. [in Russian]
19. Singh D.K., Mishra V.D., Gusain H.S. Simulation and analysis of a snow avalanche accident in Lower Western Himalaya // India, Journal of the Indian Society of Remote Sensing. – 2020. – Vol.48 (11). - P. 1555-1565. DOI 10.1007/s12524-020-01178-5.

Авторлар туралы мәліметтер

Капасов А. К. - Жер туралы ғылымдар мектебі оқытушы, Д. Серікбаев атындағы ШКТУ" КЕАҚ, Қазақстан, ШКО, Өскемен қаласы, email: ;

Денисова Н.Ф. - Физика-математика ғылымдарының кандидаты, Цифрлық офицер, Д. Серікбаев атындағы ШКТУ" КЕАҚ, Өскемен, Қазақстан, email: ;

Рахымбердина. М.Е. - PhD докторы, Жер туралы ғылымдар мектебі, деканы, Д. Серікбаев атындағы ШКТУ" КЕАҚ, Өскемен, Қазақстан, email: ;

Сапарходжаев Н.П. - PhD докторы, қауымдастырылған профессор, басқарма төрағасы-ректор, Рудный индустриялық

институты, Рудный Қазақстан, email: ;

Бекишев Е.Т. - Жер туралы ғылымдар мектебі оқытушы, Д. Серікбаев атындағы ШҚТУ" КЕАҚ, Өскемен, Қазақстан, email:

Information about the authors

Kapasov A.K. - Lecturer School of Earth Sciences, NAO "D. Serikbaev EKTU", Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, email: ;

Denisova N.F. - Candidate of Physico-mathematical Sciences, Digital Officer, NAO "D. Serikbaev EKTU", Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, email: ;

Rahymberdina M.E. - doctor PhD, Dean School of Science of the Earth , NAO "D. Serikbaev EKTU", Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, , email: ;

Saparhodzhaev N.P. - PhD, Associate Professor, Chairman of the Board-Rector, Rudny industrial university, Rudny, Kazakhstan, email: nursp81@gmail.com;

Bekishev E.T. -Lecturer School of Earth Sciences, NAO "D. Serikbaev EKTU", Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, email: