

ІЛЕ АЛАТАУЫНЫҢ ОРТАЛЫҚ БӨЛІГІНДЕГІ ӨЗЕН АЛАПТАРЫНЫҢ СЕЛ ҚАУІПТІЛІГІН БАҒАЛАУ ЖӘНЕ ЗОНАЛАУ

А.К. Мусина геогр. ғылым. канд., Ә.С. Абдуллаева*

¹ *әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан*

E-mail: assel.abdullayeva@kaznu.edu.kz

Зерттеу ауданындағы сел қауіпін басқару шаралары сел тасқынының қауіптілігі мен қауіпін бағалау және карталау, превентивті жұмыстар жүргізу, бақылау, сел қауіптілігін алдын-ала ескерту, селден қорғану имараттарын салудан тұрады. Үлкен және Кіші Алматы өзен алаптарының қарқынды игерілуіне, сондай-ақ климаттың ғаламдық жылынуына байланысты аумақтағы сел қауіптілігінің туындауы мен дамуына әсер ететін критерийлерді анықтау және олардың әсер ету дәрежесін бағалау қажеттілігі туындап отыр. Ұсынылып отырған мақалада сел қалыптастырушы факторларды және селдің туындау механизмдерін ескере отырып, сел қауіптілігінің критерийлері анықталды, сондай-ақ селдің басталу, жүріп өту және шөгу зоналарындағы сел тасқындарының түзілуіне жағдай жасайтын ерекшеліктер мен сел тасқындарының әсер ету зонасындағы реципиенттерге байланысты сел тасқындарына ұшырайтын аумақтарды анықтауға бағытталған критерийлер таңдалды. Мультикритериялық шешім қабылдау әдісі негізінде ірі масштабтағы 1:25000 сел тасқынына ұшырайтын аумақтар және қауіптілік картасы жасалды. Өзірленген карталар сел тасқынының зиянды салдарын төмендетуді, алдын-алуды, болдырмауды жоспарлауда маңызды рөл атқарады.

Түйін сөздер: Сел тасқыны, сел қауіптілігі, сел тасқынына ұшырайтын аумақтар, ГАЖ технологиялары, Жерді қашықтықтан зондтау мәліметтері, мультикритериялық шешім қабылдау әдісі, аналитикалық иерархиялық процесс

Поступила: 09.11.23

DOI: 10.54668/2789-6323-2023-111-4-34-60

КІРІСПЕ

Сел тасқындары Қазақстанның шығыс, оңтүстік-шығыс және оңтүстік бөлігіндегі таулы аудандарда көрініс беретін қауіпті құбылыстардың бірі (Медеу А.Р., и др., 2018; Медеуов А.Р., и др., 1996). Сел тасқындарының қауіптілігінің дәлелі ретінде оның аталған аудандарға әкелетін зиянды салдарын келтіруге болады. Қазақстандағы сел тасқындары Антологиясындағы келтірілген мәліметтерге сүйенсек, сел тасқындары кезінде шаруашылық объектілерге нұқсан келетіндігі, тіпті адам өлімі де орын алатын жағдайлардың тіркелгендігі жөніндегі мәліметтерді келтіруге болады (Медеу А.Р. и др., 2016). Оған қоса, еліміздегі сел қалыптасу және оның әсер ету аймақтары шамамен 164 мың км² құрайтындығы, оның ішінде Алматы облысына тиесілі сел қауіпті ауданның 11 мың

км² алып жатқандығы (Баймолдаев Т., и др., 2007) адамның тіршілік етуі мен шаруашылық жүргізуіне қолайлы жерлердің аталған апатты құбылыстың әсер ету зонасының қауіптілік дәрежесін арттыра түседі.

Климаттың өзгеруі жағдайында мұздықтардың кейін шегінуі нәтижесінде биік таулы аудандардағы жаңа мореналардың босап шығуы, мұздықтық-мореналық көлдердің қалыптасуы және олардың қарқынды дамуы, көл байламының тұрақсыздығы зерттеу ауданындағы гляциалды сел қауіптілігін арттыруда (Вилесов Е.Н., 2015; Bolch T. et al., 2012; Mussina A.K. et al., 2023; Wang S. et al., 2011; Wang W. et al., 2012). Оның үстіне, климаттың ғаламдық жылынуы негізінде биік таулы аймақтағы нөлдік изотерманың жоғарылауы есебінен нөсерлі генезистегі сел тасқындарының бос-сынықты материалдардың мол қоры жинақталған аумақтарда көрініс беру

ықтималдығы нәсерлі селдердің қауіптілігін еселей түспек (Баймолдаев Т. и др., 2007; Медеу А.Р. и др., 2018). Осылайша, Іле Алатауының орталық бөлігіндегі елді-мекендер, шаруашылық объектілер мен инфрақұрылым түрлері потенциалды қауіп аймағының тікелей реципиенттеріне айналды.

Сол себепті, таулы және тауалды аудандардың қарқынды игеріліп, адамның шаруашылық іс-әрекетінің әсер ету қарқыны мен ареалының артуына байланысты, сондай-ақ селден қорғану мақсатына салынған имараттардың тозуына немесе болашақта күтілетін сел тасқындарына төтеп бере алмайды деген қауіптердің (Медеу А.Р. и др., 2020; Яфязова Р.К., 2007) болуына байланысты сел қауіптілігі, сел тасқындарына ұшырайтын аудандар және сел қауіп жөніндегі ұғымдарды саралап, солардың негізінде қарастыралатын аудан картасының жаңа нұсқаларын жасау қажеттілігі туындады (Степанов Б.С. и др., 2014).

Қазақстанда сел қауіпін зерттеу және оны басқару, бағалау мәселелері Медеу А.Р. жетекшілігімен «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ-да көтеріліп, жалғасын тауып келеді. «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ-да жүзеге асқан алғашқы зерттеу жұмыстары шеңберінде сел тасқындарының әсер ету қауіпін бағалаудың әдістемесі әзірленді (Медеу А.Р., 2009; Медеу А.Р. и др., 2003; Тасболат Б. и др., 2015).

Сел тасқындарының әсер ету қауіпін бағалаудың әдістемелік негіздері табиғи қоршаған ортаға әсер ету қауіпін бағалау әдістерін, қауіпсіздік теориясы (секьюритология), жүйенің тұрақтылық теориясы, рискология, менеджмент әдістерін жаратылыстану ғылымдары негізінде синергетикалық тәсілді қолдану арқылы дайындалған (Медеуов А.Р., 2002). Осы уақытқа дейін сел құбылысына қатысты қауіптілік және қауіп ұғымдары негізінде Қазақстанның сел қауіпті аудандарына ХХ ғасырдың 70 жж. аяғынан 80 жж. дейін белсенді зерттеу жұмыстары жүргізілді (Медеуов А. и др., 1993; Медеуов А.Р. и Нурланов М.Т., 1996). Зерттеулер нәтижесінде сел тасқынының қалыптасуына әсер етуші гидрометеорологиялық, геологиялық, геоморфологиялық факторлар анықталып, сел ошақтары мен сел тасқынының пайда болу

механизмдері жіктелді (Медеу А.Р., 2011). Сонымен қатар, А.Р. Медеу, Н.Ф. Колотилин зерттеулерін ғылыми талдау негізінде апатты сел тасқындары сипаттамаларын қауіптілік дәрежесі бойынша типтерге жіктеді. Сел қауіпті аудандарды типтеу 3 негізгі факторлар бойынша жүзеге асырылды, олар I – сел қалыптасуының табиғи факторлары, II – сел тасқындарының генетикалық және динамикалық сипаттамалары, III - процестің энергетикалық көрсеткіштері. Әзірленген типтеуді негізге ала отырып, 1989 ж. алғашқы рет Қазақстанның таулы және тауалды аудандарының сел қауіптілік дәрежесін фондық бағалау мақсатында карталар жасалды (Колотилин Н.Ф. и др., 1989). (Колотилин Н.Ф. и др., 1989). Сел қауіптілік картасын әзірлеу барысында сел қауіпті аудандағы жүріп өткен сел тасқынының көлемі, сел өтімі, сел қайталанғыштығы, сел тасқынының энергетикалық класы, жер сілкінісінің әсер ету күші, (балл есебімен) сияқты факторлар ескеріле отырып, сел қауіптілігі 5 дәреже бойынша көрсетілді (Медеу А.Р., 2009). 1996 ж. ҚазҒЗГМИ жүргізген зерттеулерде аумақтың сел қауіптілігі сел ошақтарының және сел алаптарының сандық сипаттамалары, фильтрация коэффициенттерінің мәндері, жауын-шашынның тәуліктік қабаты немесе мореналық көлдің ақтарылу мүмкіндігі, сел тасқындарының өтімі және көлемі, селдің тығыздығы және генезисі бойынша типі негізінде бағаланып, нәтижесінде ҚР аумағының сел қауіптілік картасы жасалды (Карта селевой опасности территории Республики Казахстан, 1996). Кейінірек бұл жұмыстар жалғасып, ҚР-ның төтенше жағдайларының табиғи және техногенді қауіптіліктері мен қауіптері Атласында жарық көрді (Медеу А.Р., 2009). Атап айтқанда, Қазақстанның таулы және тауалды аудандарының 1:7 500 000 масштабндағы сел қауіптілік картасында сел тасқындарының таралу дәрежесі орналасу биіктігі (м есебімен), еңістік (° есебімен), сел ошақтарының таралу коэффициенті, жауын-шашынның жылдық суммасы (мм есебімен) критерийлерінің негізінде 5 категорияға жіктелді. Жекелеген тау жоталары мен таулы аудандарына арналған 1:1 500 000 масштабтағы сел қауіптілік картасында жүріп өткен сел

тасқындарының өтімдері ($\text{м}^3/\text{с}$ есебімен), сел тасқындарының қайталанғыштығы (жыл есебімен) және сел алаптарының алып жатқан ауданы (% есебімен) көрсеткіштері негізінде сел қауіптілігі бағаланды. Ол өз кезегінде жүріп өткен сел тасқыны көлемінің (млн. м^3) көрсеткіштері негізінде Іле және Күнгей Алатауы үшін 1:350 000 масштабтыңда нақтыланды. Сел қауіптілігін бағалау жұмыстары мұнымен шектелмейді. Мысалы, (Медеу А.Р., 2011) жұмысында квалиметриялық әдіс негізінде 1:100 000 масштабта Іле Алатауының орталық бөлігі үшін сел қауіптілігінің картасы жасалған. Ол үшін сел тасқындарының қалыптасу орны болып табылатын сел ошақтары мен селдік арналар, сел тасқындарының жүріп өту зонасын толықтай қамтитын сел ошақтары мен селдік арналардың су жинау алаптары, сонымен қатар сел тасқындарының жайылу немесе тоқтау зонасын алып жатқан ысырынды конус объектілері айқындалып, олардың әрқайсысының өзіндік сел қауіптілік көрсеткіштері анықталды. Атап айтқанда, сел ошақтары мен селдік арналар $10...1000 \text{ м}^3/\text{с}$ және одан жоғары сел өтімдері мен қайталанғыштығы 10 жылдан 100 және одан да көп аралықты қамтитын уақыт бойынша, сел ошақтары мен селдік арналардың су жинау алаптары сел қауіптілік дәрежесі және сел қалыптасу ықпалында болатын аудандар бойынша, ысырынды конус селдік арнаның сел қауіптілік дәрежесі және селден қорғану имараттарының бар-жоқтығы бойынша сел қауіптілігінің 6 дәрежесіне жіктелген болатын. Сонымен қатар, сел қауіптілігін бағалау мақсатында 1:50 000 масштабтыңа дейін нақтыланған Үлкен және Кіші Алматы алаптарының картасы дайындалды (Медеу А.Р. и др., 2019). Оны дайындау барысында сел арналарына селдің әсер ету зоналарына және ысырынды конустарға баса назар аударылды және олар көлемі және қайталанғыштығына байланысты 4 (сел арналары мен селдің әсер ету зоналары) және 3 (ысырынды конустар) категорияға жіктелді. Бұл картаның ерекшелігіне қауіпті алапта орналасқан мореналық-мұздықтық көлдердің ақтарылу жағдайындағы сел тасқынының белгілі бір учаскелерге ағып жету уақытының есептелуін

жатқызуға болады. Барлық карталарға тән белгі олардың өткен сел тасқындарының есептік сипаттамаларға басшылыққа ала отырып жасалуында. Алайда, нивалды зонадағы мореналық кешеннің үнемі өзгеріс үстінде болуына байланысты, аумақтың сел қауіптілігін жүріп өткен сел тасқындарының сипаттамалары арқылы бағалау климаттың ғаламдық жылыну жағдайында орын алып жатқан өзгерістердің үстемеленуі аясында өзектілігін жоғалтып отыр (Freu H. et al., 2018). Сол себепті, гляциалды және нөсерлі сел тасқындарының қалыптасуы жағдайында сел тасқынына ұшырайтын аумақтарды, сел қауіпін алдын-алу және одан қорғануды тиімді жоспарлау үшін зерттеу аумағын кешенді бағалау қажеттілігі туындады (Freu H. et al., 2018). Қазіргі таңда, потенциалды сел қауіптілігін бағалау мақсатында ГАЖ технологияларының, Жерді қашықтықтан зондау мәліметтерінің жылдам, әрі уақытылы шешім қабылдау мақсатында пайдаланылу аясы артуда (Mussina A.K. et al., 2022; Mussina, Zhanabayeva, 2016). Сол себепті, Іле Алатауының орталық бөлігінің сел қауіптілігі мен сел тасқынына ұшырауы мүмкін аумақтарын анықтау үшін ГАЖ негізіндегі мультикритериялық әдіс қолданылды (González-Prida et al., 2014; Saranya et al., 2021).

Табиғи ортаның қазіргі өзгерістерін сипаттайтын көрсеткіштерді ГАЖ ортасында өңдеу арқылы аталған әдіс көмегімен Іле Алатауының орталық бөлігіндегі сел алаптарының 1:25 000 масштабтыңдағы сел қауіптілік және сел қауіпін ұшырау карталары жасалды.

Нақтылай келе, мақаланың негізгі мақсаты сел қалыптастырушы факторларды мультикритериялық талдау негізінде сел қауіптілігі мен сел тасқынына ұшырайтын аумақтарды бағалау арқылы зерттеу ауданын қауіптілік дәрежесі бойынша зоналау. Зерттеу нәтижелері аумақтағы сел қауіпін басқару шешімдерін қабылдау кезінде және сел қауіпін ұшырауы мүмкін болатын аумақтарды болжау кезінде қажет болуы мүмкін. Сондай-ақ, қол жеткізілген нәтижелер сел қауіпті аумақта жүзеге асырылуы қажет шаралар мен салынуы мүмкін болатын қорғаныс имараттарын жобалау және жоспарлау кезінде оңтайлы,

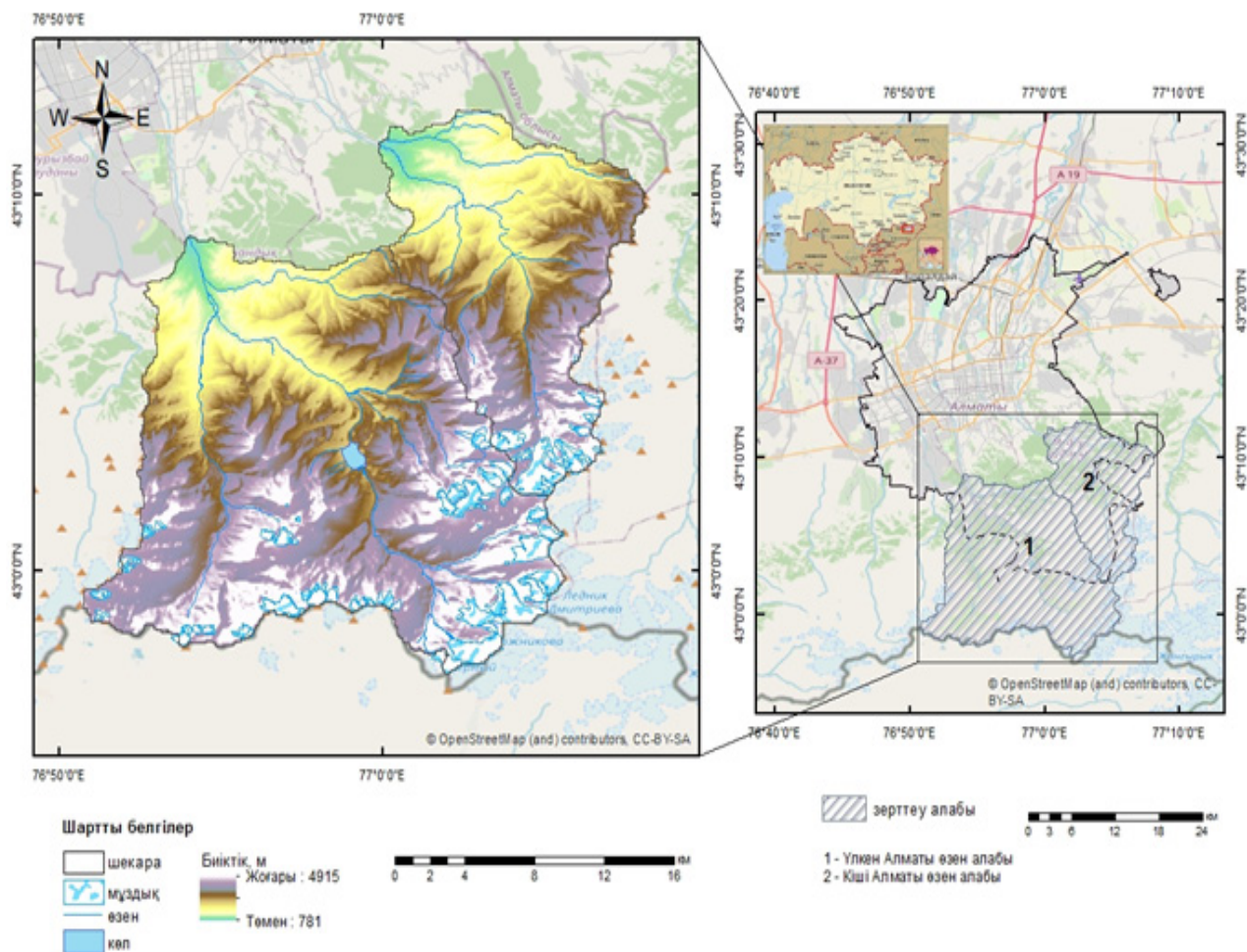
әрі ұтымды шешімдер қабылдауға мүмкіндік беретіндігі сөзсіз. Ал, ол өз кезегінде халықты сел тасқындарының апатты әсерінен аман алып қалу мақсатында жүзеге асырылатын қорғану және алдын алу жұмыстарының дұрыс, әрі уақытылы жүзеге асуының негізі болып табылады.

ЗЕРТТЕУ АУДАНЫ

Іле Алатауы – батысында Ұзынқарғалы өзені алабынан бастап, шығысында Шілік өзені алабына дейін созылып жатқан абсолютті биіктігі 4973 м-ді құрайтын Тянь-Шаньның солтүстік беткейіндегі тау жотасы (Chigrinets A.G. et al., 2020). Іле Алатауы күрделі жер бедерімен және экзодинамикалық процесстердің қарқынды дамуымен ерекшеленеді (Daiurov M. et al., 2018). Зерттеу ауданы температура мен жауын-шашынның маусымдық ауытқуымен ерекшеленетін, климаттық жағдайлары қатаң биік таулы нивальды аймақта орналасқан (Shahgedanova

M. et al., 2020).

Іле Алатауының солтүстік беткейінің орталық бөлігін Үлкен және Кіші Алматы өзен алаптары алып жатыр (1-сурет). Зерттелініп отырған аудан төтенше жағдайлар атласындағы (Медеу А.Р., 2009) сел қауіптілік картасына сәйкес сел қауіптілігі жоғары ауданға жатады. Аталған өзен алаптарында жалпы ауданы 90 мың м² құрайтын 26 мұздықтық-мореналық көлдер, аэрофотосуреттер мен ғарыштық суреттерді дешифрлеу негізінде анықталған 105 сел ошағы орналасқан (Mussina A.K. et al., 2023). Мореналық-мұздықтық көлдердің таралу аймағы 3000...3900 м аралығын алып жатса, ал сел ошақтарының көрініс беру диапазоны 1158-3900 м аралығын қамтиды (Молдахметов М.М. т.б., 2012). Олардың таралуы зерттеу ауданындағы гляциалды және нөсерлі сел тасқындарының қалыптасу зоналарының негізгі шекарасын айқындайды (Медеу А.Р. и др., 2018; Молдахметов М.М. т.б., 2010; Medeu A. et al., 2020).



Сур. 1. Үлкен Алматы және Кіші Алматы өзен алаптары

ЗЕРТТЕУ МӘЛІМЕТТЕРІ МЕН ӘДІСТЕРІ

Сел тасқындары көп факторлы процесс болғандықтан, олардың қалыптасуы бірнеше факторлардың қабаттасып орын алуы нәтижесінде көрініс береді (Степанов Б.С. и др., 2014). Зерттеу аумағындағы сел қалыптасуына ықпал ететін факторларды талдау арқылы сел қауіптілігін айқындаушы басты критерийлер таңдалды. Әрбір критерийдің сел қауіптілігіне әсер ету үлесі аналитикалық иерархиялық процесс әдісі көмегімен анықталып, ГАЖ бағдарламасы ортасында оверлейлік талдау құралы көмегімен өңделді.

Мәліметтер көзі

Сел тасқынына ұшырайтын аумақтарды және аумақтағы потенциалды қауіптілікті бағалауға қажетті картографиялық, қашықтықтан зондтау, статистикалық, далалық зерттеу және әдеби мәліметтер қолданылды (2-сурет). Зерттеулерді жүргізу үшін, ең алдымен, кеңістікті кескіндеу мүмкіндігі жоғары, біздің жағдайымызда 12,5 м-ге тең жер бедерінің сандық моделі пайдаланылды (ASF Data Search, w.p.). Зерттеу ауданындағы жер беті жамылғысы мен жерді пайдалану шарттарын бейнелейтін Sentinel-2 жолсеріктесінің 2021 жылдың түсірілімі бойынша өңделген кеңістікті кескіндеу мүмкіндігі 10 м болатын (Sentinel-2 10-Meter Land Use/Land Cover, w.p.) суреттер талданды. Сел қауіпті кезеңдегі жауын-шашын жиынтығының мәндері CHELSA ғаламдық климаттық базасынан (Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas (CHELSA), w.p., Karger D.N. et al., 2017) алынды. Көлдердің таралуын айқындау мақсатында қолданылған NDWI (Normalized Difference Water Index) және аумақтағы өсімдік жамылғысының сандық және сапалық көрсеткішін анықтайтын NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) индекстеріне талдау жасау үшін 2021 жылы 24 шілдеде түсірілген кеңістіктік кескіндеу мүмкіндігі 10 м болатын Sentinel-2 ғарыштық түсірілімі пайдаланылды (Copernicus Data Space Ecosystem, w.p.). Зерттеу ауданындағы топырақ жамылғысының құрамы мен механикалық құрылымы «Ө.О.Оспанов атындағы Қазақ топырақтану және агрохимия ғылыми-зерттеу институты» ЖШС-і әзірлеген

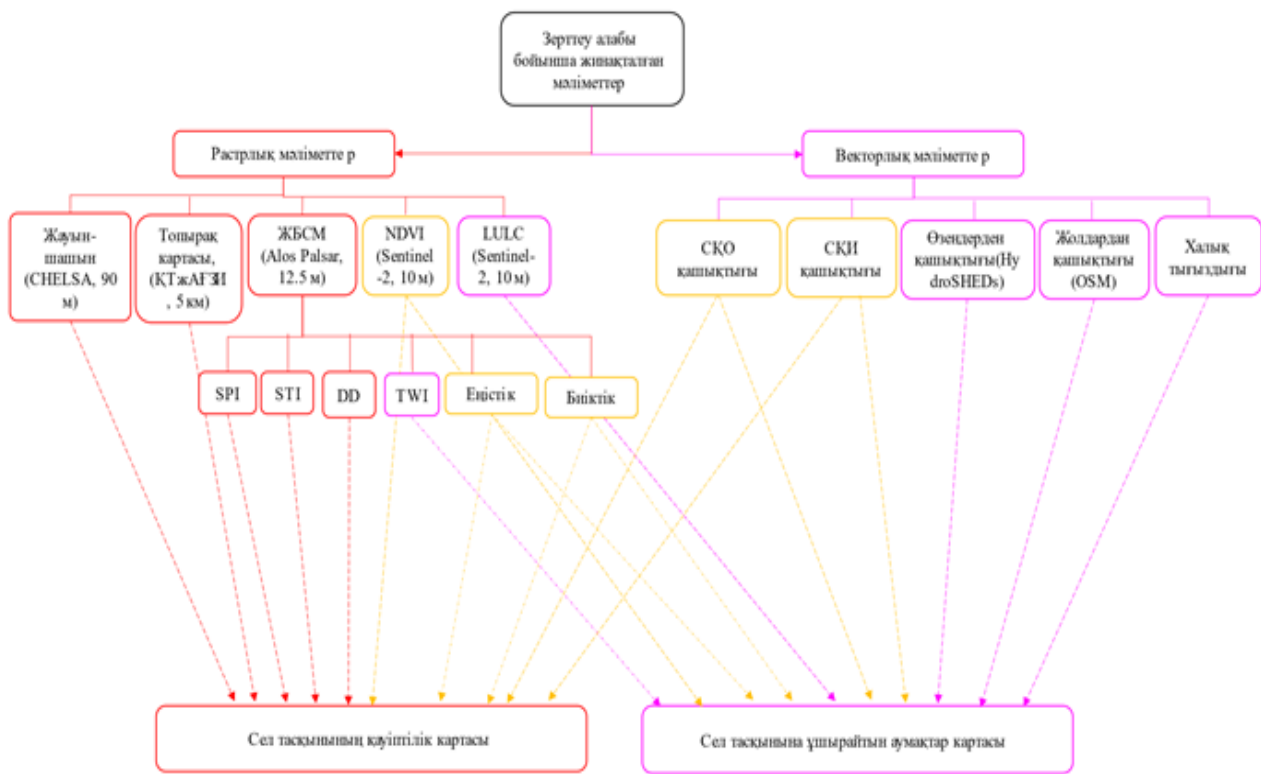
Жетісу алабының 1:500 000 масштабтағы топырақ картасы арқылы анықталды (Жетісу алабының топырақ картасы, 2005)). Зерттеу алабындағы су объектілері мен инфраструктура кешенінің векторлық қабаттары HydroSHEDs (HydroSHEDS database, w.p.) және Open Street Map коммерциялық емес веб-картографиялық жобасынан жүктеліп алынды (OpenStreetMap, w.p.). Сел ошақтарының зерттеу ауданындағы биіктік бойынша үлестірілуі (Молдахметов М.М. т.б., 2012) алынды. Үлкен және Кіші Алматы өзен алаптарындағы халықтың орналасу тығыздығы Алматы қаласының цифраравизациялау басқармасымен жасалған (Алматы қаласы цифрландыру басқармасының қолдауымен «Digital Almaty», w.p.) «Алматы қаласының халық тығыздығы» картасынан алынды. Сонымен қатар, имараттардың орналасу координаталары, Алматы қаласының Төтенше жағдайлар департаментінен алынды (Қазақстан Республикасы Төтенше жағдайлар басқармасы, б. д.).

Сел қауіптілігіне әсер етуші факторларды талдау негізінде айқындалған критерийлер

Зерттеу ауданындағы сел қалыптастырушы факторларды талдау нәтижелері сел қауіптілігінің негізгі критерийлерін және олардың әсер ету деңгейлерін анықтауға мүмкіндік берді. Әрбір критерий ArcGIS 10.8 бағдарламасында өңделіп, олардың сел қауіптілік дәрежесі бойынша зерттеу ауданы 5 зонаға: аса жоғары (5), жоғары (4), орташа (3), төмен (2), өте төмен (1) бөлінді.

1. Сел қауіпті объектілерден қашықтығы. Бұл критерийдің қауіптілік дәрежесін анықтау үшін зерттеу алабындағы мореналық көлдердің және сел ошақтарының саны мен орналасу координаталары анықталды.

1.1 Көлдерден қашықтығы (Distance from moraine lakes). Мұздықтық-мореналық көлдер мұздану процесі байқалатын биік таулы аймақтарда кездеседі (Harrison S. et al., 2018). Сел қауіптілігінің туындауына негіз болатын басты фактор олардың ақтарылуы. Мұздықтық-мореналық көлдердің ақтарылу қаупі оның морфометриялық сипаттамаларына, көлдегі жиналған су көлеміне, сонымен қатар көл байламы мен оны көмкеріп жатқан тау жыныстарының механикалық құрамына тәуелді (Medeu A.R. et al., 2022). Ал, мұндай



Сур. 2. Сел тасқынының қалыптасуына әсер ететін критерийлердің тізімі

жағдайлар зерттеу ауданындағы бірқатар мореналық көлдерге тән. Сол себепті, мореналық көлдерден қашықтықты есептеу үшін Sentinel-2 ғарыштық түсірілімін пайдалана отырып, NDWI көмегімен мореналық көлдердің таралу аймағы анықталды. NDWI индексі – су объектілерін белгілеп көрсететін, сонымен

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR} \tag{1}$$

мұндағы, NIR – жақын инфрақызыл аймақтағы көрініс, GREEN – жасыл аймақтағы көрініс.

Мореналық көлдерден алыстаған сайын, гляциалды сел тасқындарының қалыптасу ықтималдылығының төмендеуіне байланысты қауіптілік дәрежесі төмендейді. Ал, сел тасқынына ұшырайтын аумақтарды анықтау кезінде, қалыптасқан гляциалды сел тасқындарының есептік параметрлерінің, әсер ету дәрежесінің артуына байланысты қауіптілік дәрежесі арта түседі (Медеу А.Р. и др., 2016). Мысалы, 15.07.1973 ж. Кіші Алматы өзен алабында №2 және №3 көлдердің ақтарылуы нәтижесінде қалыптасқан сел тасқынының сел өтімі 10 км-ден кейін 7...10 мың м³/с құраған. Ал, Б.С. Ниязов и А.С. Деговец жекелеген тұстамалар бойынша сел өтімінің келесі

бірге өсімдіктер мен топырақтың басқа да ерекшеліктерін тежейтін жасыл және жақын инфрақызыл спектрлік жолақтар арасындағы қатынастардың қалыптандырылған индексі (Muneeb F. et al., 2021; Prakash C. et.al, 2017; Qi M. et.al, 2020):

мәндерін береді: «Мыңжылқы» тұстамасында – 324 м³/с; «Тұйықсу қақпасы» тұстамасында (2,5 км бұзылымнан төмен) – 2300 м³/с, «Сарысай» тұстамасында – 3200 м³/с; «Медеу» сел қоймасына кіре беріс жердегі тұстамада – 5180 м³/с.

1.2 Сел ошақтарынан қашықтығы (Distance from mudflow centers). Зерттеу ауданында гляциалды сел тасқындарымен қоса, нөсерлі сел тасқындары да жиі көрініс береді (Медеу А.Р., и др., 2018). Аталған аумақта қалыптасқан сел тасқындарының 80%-дан астамы нөсерлі генезистегі сел тасқындарының үлесіне тиесілі (Баймолдаев Т.А. и др., 2018). Бос-сынықты материалдардың едәуір қоры бар және еңістік мәндері 10...55° аралығын құрайтын учаскелер – сел ошақтары

сел қауіптілігін бағалауда аса маңызды (Медеу А.Р., 2011; Медеу А.Р. и др., 2018; Медеуов А. и др., 1993). Сел ошақтарынан алыстаған сайын, нөсерлі сел тасқынының қалыптасу ықтималдылығы төмендеуіне байланысты, қауіптілік дәрежесі де төмендейді. Сел тасқынына ұшырайтын аумақтарды анықтау кезінде, қалыптасқан нөсерлі сел тасқындарының есептік параметрлері мен әсер ету дәрежесінің төмендеуіне байланысты қауіптілік дәрежесі төмендей түседі. Мысалы, 08...09.07.1950 ж. Үлкен Алматы өзен алабында нөсер жаңбырдың жаууы нәтижесінде қалыптасқан сел тасқындарының өтімдері келесідей болған: ең жоғары сел өтімі – 1160 м³/с, «Құмбел-саға» тұстамасында – 1000 м³/с шамасында, Аюсай өзені бойынша - 300 м³/с, Алматы қаласы маңында – 100...120 м³/с жуық (Медеу А.Р. и др., 2016).

2. Жауын-шашын (Precipitation). Жауын-шашын мөлшері сел тасқыны қауіптілігінің жоғарылауына әсер ететін тағы бір фактор. Жауын-шашынның таралуы тек аумақ бойынша ғана емес, сонымен қатар биіктік белдеу бойынша әркелкі (Li X. et al., 2022). Бұған ылғал тасымалдаушы ауа массаларының жолында батыстан шығысқа қарай созылған тау жоталарының табиғи шекара түзуі септігін тигізеді (Du X. et al., 2022). Жауын-шашынның биіктік бойынша таралуы аумақтағы нөлдік изотерманың өзгерісіне тікелей тәуелді. Мысалы, Кіші Алматы өзен алабындағы нөлдік изотерманың 4500 м биіктікте байқалуы кезінде жауын-шашынның ең жоғары мөлшерінің өзгеруі мардымсыз және бұл өз кезегінде қуатты сел тасқындарының қалыптасуына ықпал етеді (Медеу А.Р., 2011). Жауын-шашын мөлшерінің биіктік бойынша өзгеруінің басты себебі тау беткейлеріндегі атмосфералық факторлардың әрекеттілігі, сондай-ақ термикалық және динамикалық фронттардың күшеюі арқылы түсіндіріледі (Яфязова Р.К., 2007). Сонымен қатар, жауын-шашынның түсуі өзен ағындысының жоғарылауына және термокарстты процестердің қарқынды көрініс беруіне алып келеді. Зерттеу аумағының метеорологиялық станциялармен нашар қамтылуына байланысты, жауын-шашын мөлшерінің мәндері CHELSA мәліметтер базасынан алынып, өңделді.

3. Топырақ жамылғысы (Soil). Сел тасқынының тығыздығы мен сел массасы көлемінің негізгі құраушысы болып табылатын топырақтардың гранулометриялық және минералогиялық құрамы сел қауіптілігіне әсер ететін факторлардың бірі болып табылады (Степанов Б.С. и др., 2014). Топырақ грунттарының инфильтрациялық және фильтрациялық сипаттамалары жауын-шашын түсуімен бірге айтарлықтай дәрежеде ағынды сипатын анықтайды (Соколов С.И. и др., 1962). Инфильтрациялық сипаты төмен және жауын-шашын түсу қарқыны жоғары болған жағдайда беттік ағынды өтімдерінің шекті мәннен асып түсуіне және эрозиялық қабаттың құбылыстардың туындауына алып келеді (Saadi Y. et al., 2016). Инфильтрациялық сипаттамалары жоғары және толассыз жауған жауын-шашын топырақ грунттарының қалың қабатының ылғалдануын қамтамасыз етіп, ығыспалы сел құбылыстарының көрініс беруіне жағдай жасайды, ал олардың толықтай сумен қанығуы тізбекті сел процестерінің жандануына алып келеді. Зерттеліп отырған аумақ бойынша топырақ жамылғысын сел қауіптілігін анықтау мақсатында бағалау 1:500 000 масштабтағы Жетісу алабының топырақ картасы (Жетісу алабының топырақ картасы, 2005) арқылы жүзеге асырылды.

4. Биіктік (Elevation). Биіктік белгілері немесе жер бедері сел қалыптастыру процесінде маңызды рөл атқарады. Эрозиялық процестер нәтижесінде түзілген бедердің теріс пішіндері сел тасқындарының пайда болуы және даму ошағы болып табылады. Сондай-ақ, сел тасқындары өте қатты ылғалданған бос сынықты массалардың ығысуы нәтижесінде бедердің оң пішіндерінің шегінде қалыптасуы мүмкін. Зерттеліп отырған аумақ геоморфологиялық тұрғыда (Медеу А.Р., 2011; Медеуов А. и др., 1993; Медеуов А.Р. и др., 1996) жіктемесіне сәйкес 4 белдеуге бөлінген: а) 1000...1700 м аралығында тілімдену дәрежесі әртүрлі аласа таулы; ә) 1600...2900 м аралығы қарқынды тілімденген орташа таулы; б) 2800...3300 м аралығы таулы құрылымдарының мұздықтық және қарлы өңделген қалдық пішініндегі тік беткейлі биік таулы; в) 3200...3400 м, 5000 м дейін жартасты-мұздықты биік таулы. Қазіргі уақытта 2800...3300 м аралығын қамтитын

жас регрессивті эрозияның даму аумағы және селдің қатты материалдармен негізгі қоректену учаскесіне айналуға. Биік таулы белдеудің геологиялық және климаттық факторларының геоморфологиялық факторларымен біріккен жиынтығы мұнда жаппай көп мөлшердегі сынықты материалдар жинақталуын айқындап қоймай, сонымен қатар тасқын энергиясының анағұрлым жоғары көрсеткіштеріне ие болып келетін селдердің қалыптасуын қамтамасыз етеді (Петрушина М.Н., 2015). Сондықтан да, биіктік белгілерін қауіптілік дәрежесі бойынша жіктеу кезінде, аталған белдеу «аса жоғары» категория ретінде танылды. Сәйкесінше, қауіптілігі жоғары, орташа, және төмен категориялар 3200...3400 м, 5000 м дейін, 1600...2900 м, 1000...1700 м аралықтарын қамтыды. Биіктік белгілері жөніндегі зерттеу аумағына қатысты мәліметтер кеңістікті кескіндеу мүмкіндігі 12,5 м құрайтын жер бедерінің сандық моделі негізінде ALOS PALSAR мәліметтер базасынан алынды.

5. Еңістік (Slope). Сел тасқындары бос сынықты материалдардың еңістік арқылы сұйық күйде орын ауыстыруымен байланысты. Сондықтан да, сел тасқынының қауіптілігін және сел тасқынына ұшырайтын аумақтарды анықтау кезінде еңістік мәндерінің маңызы зор (Xiao L. et al., 2020). Сондай-ақ, сел тасқындары «су – бос сынықты материал – еңістік» жүйесінің тепе-теңдігі бұзылуы нәтижесінде, яғни аталған параметрлердің бірінің шекті мәннен асып түсу жағдайында туындайтындықтан, сел қауіптілігін анықтауда бұл параметрдің рөлі жоғары екендігін атап өткен жөн. Еңістіктің мәні жоғары болған сайын, сел тасқынының жылдамдығы, тығыздығы артып, сел тасқынының биіктігі (деңгейі) жоғарылай түседі. Степанов Б.С. және Яфязова Р.К. зерттеулері (2014) бойынша сел тасқындары жиі қалыптасатын орташа және биік таулы белдеудегі (2200...3400 м) еңістігі ең жоғары аумақтар мақала шеңберінде қарастырылып отырған Үлкен және Кіші Алматы өзен алаптарына тиесілі. Еңістіктің қауіптілік дәрежесі анықтау үшін 12,5 кеңістіктік кескіндеу мүмкіндігіне ие ALOS PALSAR ЖБСМ-і қолданылды.

6. Ағын қуатының индексі (Stream

power index). SPI - ағын судың эрозиялық күшінің өлшемі болып табылады. Бұл өлшем қандай да бір топографиялық беттегі потенциалды су эрозиясын сипаттау үшін қолданылады (Dutal H., 2023). Су жинау алабының ауданы және еңістік мәндері жоғарылаған сайын, жоғарыдан төмен қарай келетін су мөлшері мен олардың жылдамдығы да арта түседі. Сол себепті, арна маңы эрозияға ұшырап, бос сынықты материалдардың едәуір мөлшері ағын арқылы тасымалдана отырып, ағын қуаты индексі мен эрозия қаупінің артуына алып келеді. Ағынның қуаттылық факторын бағалау арқылы су қорының бос сынықты материалдармен араласу аумақтары анықталып (2), зерттеліп отырған аудан қауіптілік дәрежесі бойынша зоналарға бөлінді.

$$SPI = \ln(A \cdot \tan \beta) \quad (2)$$

мұндағы, A – су жинау алабының меншікті ауданы, β – еңістік градиенті.

7. Бос сынықты материалдардың тасымалдану индексі (Sediment transport index). Сел тасқыны процесіне арнадағы грунттың қатты бөлшектерін немесе сел массасының, сондай-ақ оның құраушыларының шөгудімен сипатталатын сел қоспасының арналық қозғалысы деген анықтама берілген (Ennaji N. et al., 2022). Мур және Берч (Moore I.D. et al., 1986) сипаттаған бос сынықты материалдардың тасымалдану индексі - арна маңындағы эрозияға ұшыраған және бос сынықты материалдардың шоғырланған аумақтарын сипаттайды. Бос сынықты материалдардың тасымалдану индексінің ең жоғары мәндері тік беткейлер мен су жинау алабының эрозияға ұшыраған төменгі бөліктеріне тән (Di V.F. et al., 2008). Ал бұл индекстің төмен мәндері шөгінділердің баяу қозғалысын сипаттайды, сол себептен де, шөгінділердің жинақталуы өсімдік жамылғысына бай, су жинау алабының жоғарғы бөлігіне тән. Бұл индекс ландшафт эрозиясын жақсы сипаттайды, сондықтан бос сынықты материалдардың биік таулы аумақтан су шаятын және шөгінділер жинақталатын ауданға шоғырлануын көрсетеді. Бос сынықты материалдардың су жинау алабы бойынша тасымалдануына гравитация, еңістік және шөгінділердің шоғырлануы сияқты факторлар әсер етеді (3):

$$STI = (m + 1) \times (A / 22.13)^m \times \sin(\beta / 0.0896) \quad (3)$$

мұндағы, A - су жинау алабының меншікті ауданы, β – жергілікті жердің еңістігі, m – аудан үлесінің көрсеткіші, әдетте, ол 0,6-ға тең, n – еңістіктің құлау көрсеткіші, ол, әдетте, 1,3-ке тең.

8. Өзен желісінің жиілігі (Drainage Density) - алаптағы өзен желісі ұзындығының алап ауданына қатынасы (D , км/км²). Бұл критерий аудан шегіндегі гидрографиялық желінің даму дәрежесін көрсетеді. Өзен желісінің жиілігі жауын-шашынның мөлшеріне, геологиялық құрылымына, жер бедеріне, топырақ пен өсімдік жамылғысының сипатына байланысты (Ouma Y.O. et al., 2014). Өзен желісінің жиілігі топырақтың инфильтрациялық қабілеті төмендеген сайын жоғарылайды (Dragičević N. et al., 2019). Өзен желісінің жиілігі жоғары аудандар сел тасқынының қалыптасу және жүріп өту зонасына айналады (Петрушина М.Н., 2015). Сонымен қатар, өзен желісі жиілігінің ең жоғары мәндері жауын-шашын мол түсетін биік таулы аудандарға тән. Сондықтан сел тасқыны қауіптілік деңгейін анықтауда өзен желісінің жиілігі маңызды фактор болып табылады.

9. Өсімдік жамылғысының

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red) \quad (4)$$

мұндағы NIR – жақын инфрақызыл аймақтағы көрініс, RED – қызыл аймақтағы көрініс.

10. Имараттан қашықтығы. Сел тасқындарының алдын алу, оның зиянды салдарын төмендету немесе жою мақсатында зерттеу аумағындағы Үлкен және Кіші Алматы өзен алаптарында сел тасқынынан қорғайтын имараттар салынған. Бұл имараттар аумақтың сел тасқынына ұшырау дәрежесін төмендетуге ықпал етеді. Имараттардың орналасу координаттары мұрағаттық және ведомстволық есептерден алынды.

Сел тасқынына ұшырайтын аумақтарды анықтау критерийлері

Сел тасқынына ұшырайтын аумақтарды анықтау үшін басты критерийлер ретінде сел қауіптілігін анықтауда қолданылған сел қауіпті объектілер (мұздықтық-мореналық көлдер (1) мен сел ошақтары (2)), биіктік (5) және еңістік (6) көрсеткіштері мен өсімдік жамылғысымен (10) қатар, зерттеу ауданындағы шаруашылық объектілер, тұрғын үйлер, халық санының тығыздығы,

қалыптандырылған индексі (Normalized difference vegetation index) – зерттеу ауданындағы өсімдіктердің саны мен сапасының сандық көрсеткіші. Өсімдік жамылғысының эрозияға қарсы әрекеті қалың қабатты шымдардың орын алуынан байқалады. Шымдар мен ағаш тамырлары беткейлік беттік ағындының эрозиялану әрекетін бәсеңдетіп, деллювиалды және коллювиалды шөгінділердің бекуіне жағдай жасайды (Dutal H, 2023). Ал ол өз кезегінде, аумақтың эрозияға ұшырау қабілетін айтарлықтай төмендетіп, сел тасқыны қуаттылығының төмендеуіне әсерін тигізеді. NDVI мәндері «-1» мен «0» аралығында болса, онда зерттеу ауданында инфрақұрылым объектілері мен қар, су, топырақ жамылғысы мен тау жыныстарының таралғандығын көрсетсе, «0» мен «1» аралығы өсімдік жамылғысына тиесілі (Doan V.L. et al., 2023). Осыған орай, зерттеліп отырған ауданның өсімдік жамылғысы кеңістіктік кескіндеу мүмкіндігі 10 м-ге ие Sentinel-2 ғарыштық түсірілімдерінің негізінде келесі формула арқылы анықталды (4).

топографиялық ылғалдылық индексі, олардың өзеннен, жол тораптарынан және селден қорғану имараттарынан қашықтығы алынды.

1. Жерді пайдалану және жер беті жамылғысы (LULC) – ағынды сулардың пайда болуы, инфильтрация және булану сияқты гидрологиялық процестердің кейбір компоненттеріне тікелей немесе жанама әсер етеді (Ouma Y.O. et al., 2014). Сол себепті, LULC арқылы зерттеу ауданындағы су объектілері, ауылшаруашылық, вегетациялық және тақыр жерлер, шаруашылық орындарының орналасу аумақтары анықталды. Соның ішінде, ауданның жерді пайдалану сұлбасы тұрғылықты халықтың жерді пайдалану түрі мен аудандағы табиғи процестер айқындалды. LULC мәндері кеңістіктік кескіндеу мүмкіндігі 10 м болатын Sentinel-2 ғарыштық түсірілімі арқылы анықталды.

2. Өзендерден қашықтығы. Шаруашылық объектілерін апатты сел тасқындарының салдарынан қорғау үшін ең алдымен сел тасқынына ұшырайтын аумақтарды анықтау қажет.

Сел тасқынына ұшырайтын аумақтарға олардың өзендерден қашықтығы қатты әсер етеді, сел тасқындары сызықтық құбылыс болғандықтан, су объектілерінен алыстаған сайын, сел тасқынына ұшырау дәрежесі азайып, оларға жақын жерлердің қауіптілік дәрежесі жоғарылай түседі (Edamo M.L. et al., 2022). Зерттеу аумағындағы өзендер желісі «HydroSHEDS» базасының «HydroRIVERS» топтамасынан алынды.

3. Жолдардан қашықтығы.

Сел тасқындары өзінің жүру жолында негізінен автомобиль және темір жолдарға, көпірлерге, суару жүйелеріне, электр желілеріне, ғимараттар мен құрылыстарға зиян келтіретіндігі белгілі (Chen J. et al., 2023). Сондықтан да, жолдардан қашықтықты есептеу сел қаупін басқару кезінде жүзеге асырылатын маңызды қадамдардың бірі. Жол желісі – сел тасқыны кезінде зардап шеккен елді мекендер үшін төтенше жағдайларды жою үшін, яғни халықты эвакуациялау кезінде оның маңыздылығы артады, сол себептенде сел тасқынына ұшырайтын аумақтарды анықтау кезінде жолдардың қауіптен алыс-жақындығын алдын-ала айқындап алған жөн. Зерттеу аумағына қатысты жол желісі мәліметтері «OpenStreetMap» ашық қолданыстағы жобадан алынды.

4. Халықтың тығыздығы – 1

км² аумақта тұратын халық саны. Зерттеу аумағы толықтай дерлік Алматы қаласы аумағын қамтығандықтан, Қазақстан бойынша халық тығыздығы жоғары аумаққа жатады. Сел тасқынының әсер ету зонасындағы халық санының тығыздығы сел тасқынына ұшырау деңгейіне тікелей әсер етеді, яғни халық саны тығыз орналасқан аумақтар, аумақтың сел тасқынына ұшырау мүмкіндігін арттыра түседі. Үлкен және Кіші өзен алаптары бойынша халық саны тығыздығының мәндері Алматы қаласының цифравизация басқармасынан алынды.

5. Ылғалдылықтың

топографиялық индексі (TWI) – қандай да бір аумақтың тұрақты жағдайындағы ылғалдылықтың индексі болып табылады. Бұл аумақтағы су жинақталу тенденциясын сипаттайтын, гидрологиялық процесстерді сандық бағалау кезінде қолданылатын кеңінен таралған индекс (Ballerine C.,

2017). Ылғалдылықтың топографиялық индексі гидрологиялық процестерге кеңістіктік масштаб эффектісін зерттеу үшін қолданылады (Dutal H, 2023). Ол су жинау алабының әлеуетті ылғалдылығын көрсетіп, төмендегі формула арқылы анықталады (5):

$$TWI = \ln(As/\tan(\beta)) \quad (5)$$

мұндағы As – ағынды қалыптасуына үлес қосатын нақты аудан, β – градиент немесе еңістік. Бұл индекстің үлкен мәндері ылғалдың жинақталуына, оның топырақ құрамындағы мол мөлшеріне сәйкес келеді.

Аналитикалық иерархиялық процесс (АНП) әдісі арқылы әрбір критерийдің үлес салмағын анықтау

Зерттеліп отырған аудандағы сел тасқынына ұшырайтын аумақтар және сел тасқыны қауіптілігін анықтау барысында, әрбір критерийдің әсер ету үлес салмағын анықтау үшін шешім қабылдаудың математикалық моделі - аналитикалық иерархиялық процесс (Analytical hierarchy process (АНП)) қолданылды (Long Ngo, 2019). Оны басқаша шешім қабылдауды жеңілдетуге бағытталған компоненттер иерархиясын қамтитын мультикритериялық шешім қабылдау процесі деп те атайды (Saranya T. et al., 2021). АНП моделінің жұмыс істеу принципі келесідей: біріншіден, сел тасқынының қауіптілігіне және сел тасқынына ұшырайтын аумақтарға әсер етуші критерийлерінің иерархиясы анықталады. Содан соң иерархиядағы элементтердің әрбір жұбы үшін бір элементтің екіншісіне қатысты маңыздылығы оларды таңдау шкаласының негізінде жұптық салыстыру арқылы анықталады (Ершова Н.М., 2015).

АНП моделі көптеген айнымалылар немесе критерийлердің басымдылығын анықтау және таңдау кезіндегі күрделі орталарда шешім қабылдаудың тиімді, әрі қолдануға оңай әдістемесі болып табылады (Leal J.E., 2020). Ол жолдар мен бағандардан құралған жұптық матрица негізінде жүзеге асырылады. Бағандар мен жолдардағы критерийлердің салмағы маңыздылық шкаласындағы (Саати Т.Л., 1993) 1...9 аралығындағы мәндердің қатынасы арқылы анықталады (1-кесте). Критерийлердің әрқайсысының маңыздылық шкаласы

Кесте – 1

Қауіптілік дәрежесін анықтауда пайдаланылған маңыздылық шкаласы (Саати Т.Л. бойынша)

Маңыздылық шкаласы	Анықтамасы	Түсініктемесі
1	Маңыздылығы бірдей	Екі элементтің әсер ету деңгейі бірдей
3	Маңыздылығы орташа	Бір элементтің әсер ету деңгейі екіншісінен сәл артық
5	Маңыздылығы жоғары	Бір элементтің әсер ету деңгейі екінші элементтен жоғары
7	Маңыздылығы өте жоғары	Бір элементтің әсер ету деңгейі екінші элементтен өте жоғары
9	Маңыздылығы экстремалды	Бір элементтің әсер ету деңгейі екінші элементтен экстремалды жоғары
2,4,6,8 аралық мәндерді өрнектеуге болады		

бойынша мәндері таңдалып, сәйкесінше ұшырайтын аумақтарға қатысты бағанда орналасқан жекелеген критерийлермен критерийлердің әсер ету дәрежесі анықталады. басымдылығы салыстырылады. Әрбір Нәтижесінде критерийлердің критерийдің келесі деңгейге келетін критерийге үлес салмақтарын есептеу үшін қатысты маңыздылығы анықталып, сел қолданылатын жұптық қатынастардың қауіптілігіне немесе сел тасқындарына матрицалары құрастырылды (2...3-кесте).

Кесте – 2

Сел қауіптілік дәрежесін анықтаудағы критерийлер бойынша тұрғызылған жұптық қатынастар матрицалары

Критерийлер		СҚО қашықтығы	Биіктік	Еңістік	Жауын-шашын	Өзен желісінің жиілігі	SPI	STI	Топырақ	NDVI	СҚИ қашықтығы
	Маңыздылық шкаласы	1	1	2	3	5	4	7	6	4	6
СҚО қашықтығы	1	1.00	1.00	2.00	3.00	5.00	4.00	7.00	6.00	4.00	6.00
Биіктік	1	1.00	1.00	2.00	3.00	5.00	4.00	7.00	6.00	4.00	6.00
Еңістік	2	0.50	0.50	1.00	1.50	2.50	2.00	3.50	3.00	2.00	3.00
Жауын-шашын	3	0.33	0.33	0.67	1.00	1.67	1.33	2.33	2.00	1.33	2.00
Өзен желісінің жиілігі	5	0.20	0.20	0.40	0.60	1.00	0.80	1.40	1.20	0.80	1.20
SPI	4	0.25	0.25	0.50	0.75	1.25	1.00	1.75	1.50	1.00	1.50
STI	7	0.14	0.14	0.29	0.43	0.71	0.57	1.00	0.86	0.57	0.86
Топырақ	6	0.17	0.17	0.33	0.50	0.83	0.67	1.17	1.00	0.67	1.00
NDVI	4	0.25	0.25	0.50	0.75	1.25	1.00	1.75	1.50	1.00	1.50
СҚИ қашықтығы	6	0.17	0.17	0.33	0.50	0.83	0.67	1.17	1.00	0.67	1.00

Жұптық қатынастар матрицасын шыққан сандардың геометриялық орташа тұрғызу кезінде әрбір критерийдің маңыздылық шкаласы бойынша мәндері таңдалады. Ол үшін (Саати Т.Л., 1993):

1. Әр жолдың элементтерін қосу

Таңдалған мәндердің арақатынасы арқылы арқылы және оны барлық элементтердің

Кесте – 3

Сел тасқынына ұшырау дәрежесін анықтаудағы критерийлер бойынша тұрғызылған жұптық қатынастар матрицалары

Критерийлер	Өзендерден қашықтығы	LULC	Халықтығыздығы	СҚО қашықтығы	Еністік	Жолдардан қашықтығы	Биіктік	TWI	NDVI	СҚИ қашықтығы	
	Маңыздылық шкаласы	4	2	2	1	4	1	1	5	3	6
Өзендерден қашықтығы	4	1.00	0.50	0.50	0.25	1.00	0.25	0.25	1.25	0.75	1.50
LULC	2	2.00	1.00	1.00	0.50	2.00	0.50	0.50	2.50	1.50	3.00
Халықтығыздығы	2	2.00	1.00	1.00	0.50	2.00	0.50	0.50	2.50	1.50	3.00
СҚО қашықтығы	1	4.00	2.00	2.00	1.00	4.00	1.00	1.00	5.00	3.00	6.00
Еністік	4	1.00	0.50	0.50	0.25	1.00	0.25	0.25	1.25	0.75	1.50
Жолдардан қашықтығы	1	4.00	2.00	2.00	1.00	4.00	1.00	1.00	5.00	3.00	6.00
Биіктік	1	4.00	2.00	2.00	1.00	4.00	1.00	1.00	5.00	3.00	6.00
TWI	5	0.80	0.40	0.40	0.20	0.80	0.20	0.20	1.00	0.60	1.20
NDVI	3	1.33	0.67	0.67	0.33	1.33	0.33	0.33	1.67	1.00	2.00
СҚИ қашықтығы	6	0.67	0.33	0.33	0.17	0.67	0.17	0.17	0.83	0.50	1.00

қосындысына бөлу арқылы қалыптандыру (нормализовать) керек; алынған нәтижелердің қосындысы 1-ге тең болады. Алынған вектордың бірінші элементі бірінші объектінің басымдығын көрсетеді, екіншісі - екінші объект және т. б.

2. Әр бағанның элементтерін қосып, алынған нәтижелердің (қосындылардың) кері мәндерін алу керек. Әрбір элемент қосындысы 1-ге тең болатындай етіп, қалыптандыру керек, ол үшін кері шаманың әрқайсысын барлық кері шамалардың қосындысына бөліге болады.

3. Әр бағанның элементтерін сол бағанның элементтерінің қосындысына бөлу керек (яғни бағанды қалыптандыру керек), содан кейін алынған әрбір жолдың элементтерін қосып, қосындыны жол элементтерінің санына бөлу керек. Бұл қалыптандырылған бағандар бойынша орташалау процесі.

4. Әр жолдың n элементтерін көбейтіп, n-ші дәрежелі түбір астынан шығару керек. Алынған сандарды қалыптандыру керек. Бұл процесті келесі формуланың көмегімен өрнектеуге болады (6):

$$GM_{\bar{y}} = \sqrt[n]{y_1 y_2 y_3 \dots y_n} \tag{6}$$

Сел қауіптілігі мен сел тасқындарына ұшырайтын аумақтарға қатысты әрбір критерийлер бойынша ГАЗ ортасында жекелеген қабаттар жасалып, қауіптілік пен сел тасқынына ұшырау мүмкіндігінің 1-5-ке дейінгі дәрежелері мен олардың әрбір критерийге қатысты анықталған үлес салмағы негізінде қабаттарды қабаттастыру (overlay) арқылы сел қауіптілігі мен сел тасқынына ұшырайтын аумақтар дәрежесі бағаланды.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Сел қауіптілігі (hazard) дегеніміз зиян келтіруі мүмкін құбылыстардың, оқиғалардың, процестердің көрініс беру мүмкіндігі (Медеу А.Р., 2011; Медеу А.Р. и др., 2018; Медеуов А. и др., 1993; Медеуов А.Р. и др., 1996). Қауіптілік қауіп арқылы айқындалады. Қауіпсіздікті қамтамасыз ету үшін қауіпті талдау және бағалау қажет.

Гладкевич, Терский, Фролова (Гладкевич Г.И. и др., 2012) зерттеулеріне сүйеніп отырып, сел қауіптілігін қалыптасу және жүріп өту уақыты мен орны айқын әлеуетті қиратушы күшке ие сел құбылысының көрініс беру ықтималдығы деп түсіндіруге болады. Сел қауіптілігі аумақтағы сел қалыптастырушы факторлардың кешені арқылы анықталады, ол өз кезегінде, сел тасқынының дамуы мен қарқындылығына әсер етеді.

Сел тасқынына ұшырау мүмкіндігі (vulnerability) әлеуетті сел тасқынының жүріп өтуі нәтижесінде туындайтын шығын дәрежесі (Гладкевич Г.И. и др., 2012). Шығын түрлері, әдетте, адам өлімімен және шаруашылық орындардың, соның ішінде, ғимараттар, құрылыстар, инфрақұрылым, мәдени құндылықтар, мүліктер, экономикалық қызметтердің бұзылуымен байланысты. Сел тасқынына ұшырау мүмкіндігі сел қауіптілігіне әлеуметтік, физикалық, экономикалық құрылымдардың қарсы тұра алу қабілетінің функциясы болып табылады.

Сондай-ақ, ұшырау мүмкіндігі (МГЭИК, 2012) зерттеулеріне сәйкес, аумақтың немесе белгілі бір учаскенің жағымсыз әсерлерге бейімділігі ретінде қарастырылған. Ұшырау мүмкіндігі динамикалық сипаттама, ол түрлі масштабта уақыт және кеңістік бойынша өзгеріп отырады, сонымен қатар экономикалық, географиялық, демографиялық, мәдени, институционалды, басқарушылық және экологиялық факторларға тәуелді болады. Ұшырау мүмкіндігі қауіпті құбылыстарға қатысты шығын түсінігімен тікелей байланысты, дегенмен, әлі күнге дейін толыққанды зерттеулер арқылы бағаланбаған. Сондай-ақ, қазақстандық зерттеулерде (Медеу А.Р. и др., 2004, 2019; Медеу А.Р. и др., 2003) сел тасқындарына қатысты қауіптілік және қауіп ұғымдары кеңінен қолданылып, сел тасқындарына ұшырауы мүмкін аумақтарды анықтау назардан сырт қалған.

Ұшырау мүмкіндігі – кез келген материалдық объектінің белгілі бір генезистегі, қарқындылықтағы апатты құбылыстың жүріп өту нәтижесінде табиғи немесе белгіленген функцияларын орындау қабілетін ішінара немесе толық жоғалту қасиеті ретінде анықталады (Бурова В.Н., 2012). Объектілердің апатқа ұшырау мүмкіндігін зерт-

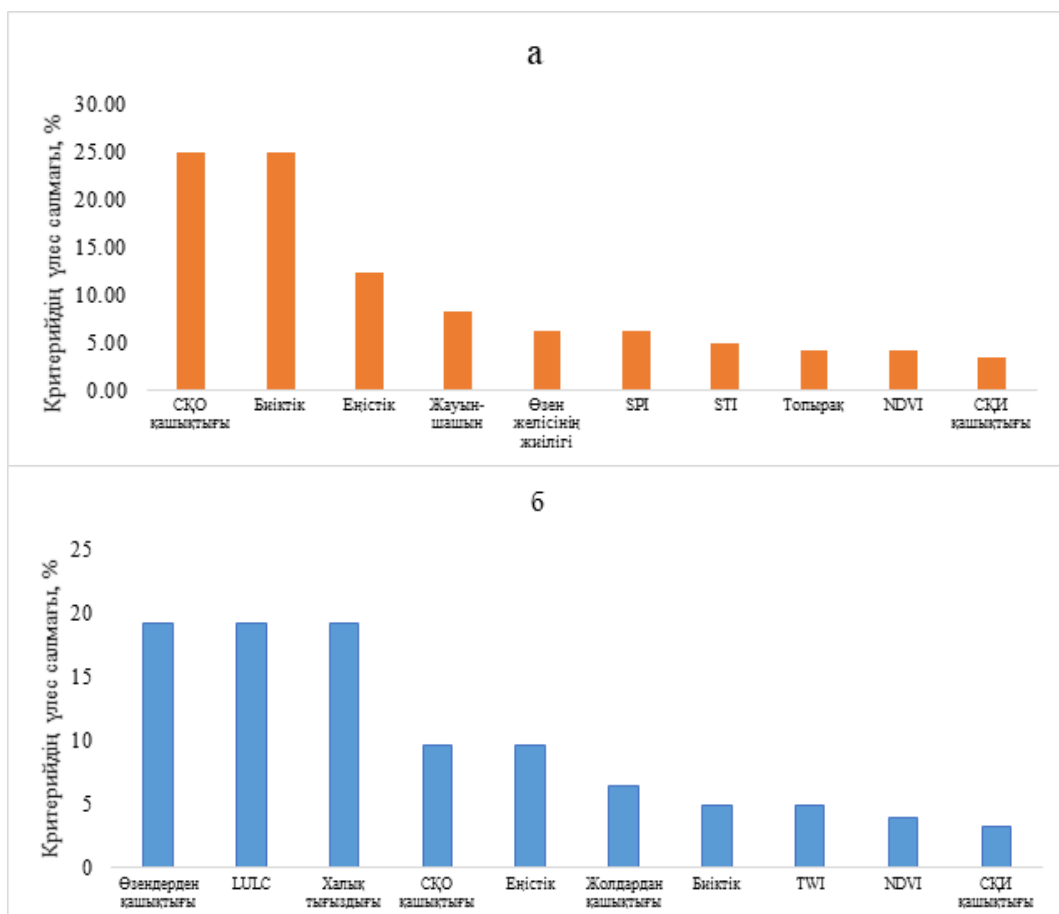
теу нақты объектілерден, яғни «төменнен» жүзеге асырылады. Ұшырау көрсеткіштері жоғары дәрежелі объект шегіндегі бастапқы объект-элементтердің құрылымдық қатынастарын ескере отырып, келесі дәреженің жинақталған көрсеткіштеріне біріктіріледі. Ұшырау мүмкіндігін бағалау мақсатында объектілерді типтеу зиянды әсер етудің түрі мен механизмімен анықталады және жұмыстың детальдылық деңгейін ескере отырып, апатты табиғи және техно-табиғи процестердің әрқайсысына қатысты жүзеге асырылады.

Қазіргі уақытта сел тасқынына ұшырайтын аумақтағы шаруашылық объектілерді анықтау қиынға соғады. Бұл қауіпті табиғи құбылыстардың келтірген шығын мөлшері туралы статистикалық мәліметтердің жеткіліксіз болуымен, сондай-ақ оларды бағалаудың әртүрлі деңгейлерінде сел тасқындарының әсер ету зонасындағы реципиенттердің сел тасқындарына төтеп беру мүмкіндігін көрсететін модельдердің жеткіліксіз әзірленуімен байланысты. Алайда, бұл зерттеуде Үлкен және Кіші Алматы өзен алаптарындағы сел тасқынына ұшырауы мүмкін объектілердің мәліметтері жинақталып, зерттеу ауданы үшін алғашқы рет сел тасқынына ұшырайтын аумақтар картасы жасалды.

Сел тасқынының қауіптілігі және сел тасқынына ұшырайтын аумақтарды анықтау мақсатында таңдалған критерийлердің үлес салмағы ArcGIS 10.8 бағдарламасындағы АНР функциясы негізінде есептелді (За, ә-сурет).

Сел тасқынының қауіптілігін анықтауда бағаланған критерийлердің маңыздылық дәрежесі

Сел тасқындары «су – бос сынықты материал – еңістік» жүйесінің тепе-теңдігі бұзылуы нәтижесінде туындайтындықтан, сел тасқынының қауіптілік критерийлерін таңдау кезінде: сел тасқынының «су» құраушысын анықтаушы критерийлер ретінде мұздықтық-мореналық көлдерден қашықтығы, жауын-шашын мөлшері, өзен желісінің жиілігі, ағынды қуатының индексі сияқты критерийлер алынды. Сел тасқынының қатты құраушысын құрайтын «бос-сынықты материалдар» топырақ жамылғысы, сел ошақтарынан қашықтығы, бос сынықты материалдардың



Сур. 3. Аналитикалық иерархиялық процесс арқылы анықталған критерийлердің үлес салмағы

а) сел қауіптілігін анықтаудағы критерийлер

ә) сел тасқынына ұшырайтын аумақтарды анықтаудағы критерийлер

тасымалдану индексі арқылы айқындалды. Сел тасқынының қалыптасуына ықпал ететін «еңістікті» анықтаушы критерийлер ретінде биіктік және еңістік мәндері алынды. Өсімдік жамылғысының қалыптандырылған индексі мен имараттан қашықтығы сел тасқынының қауіптілік дәрежесіне теріс әсер ететін критерийлер ретінде пайдаланылды.

Кіші Алматы мен Үлкен Алматы өзен алаптарындағы сел тасқынының қауіптілігін анықтау барысында қолданылған критерийлердің маңыздылық дәрежелері 4-кестеде көрсетіліп, олардың негізінде 1:25000 масштабтағы карта тұрғызылды (4-сурет).

Сел тасқынына ұшырайтын аумақтарды анықтауда бағаланған критерийлердің үлес салмағы

Сел тасқынына ұшырайтын аумақтарды анықтау олардың көрініс беру ауданы мен әсер ету зонасындағы рецепиенттерге негізделді. Көрініс беру ауданы сел алаптары шегінде

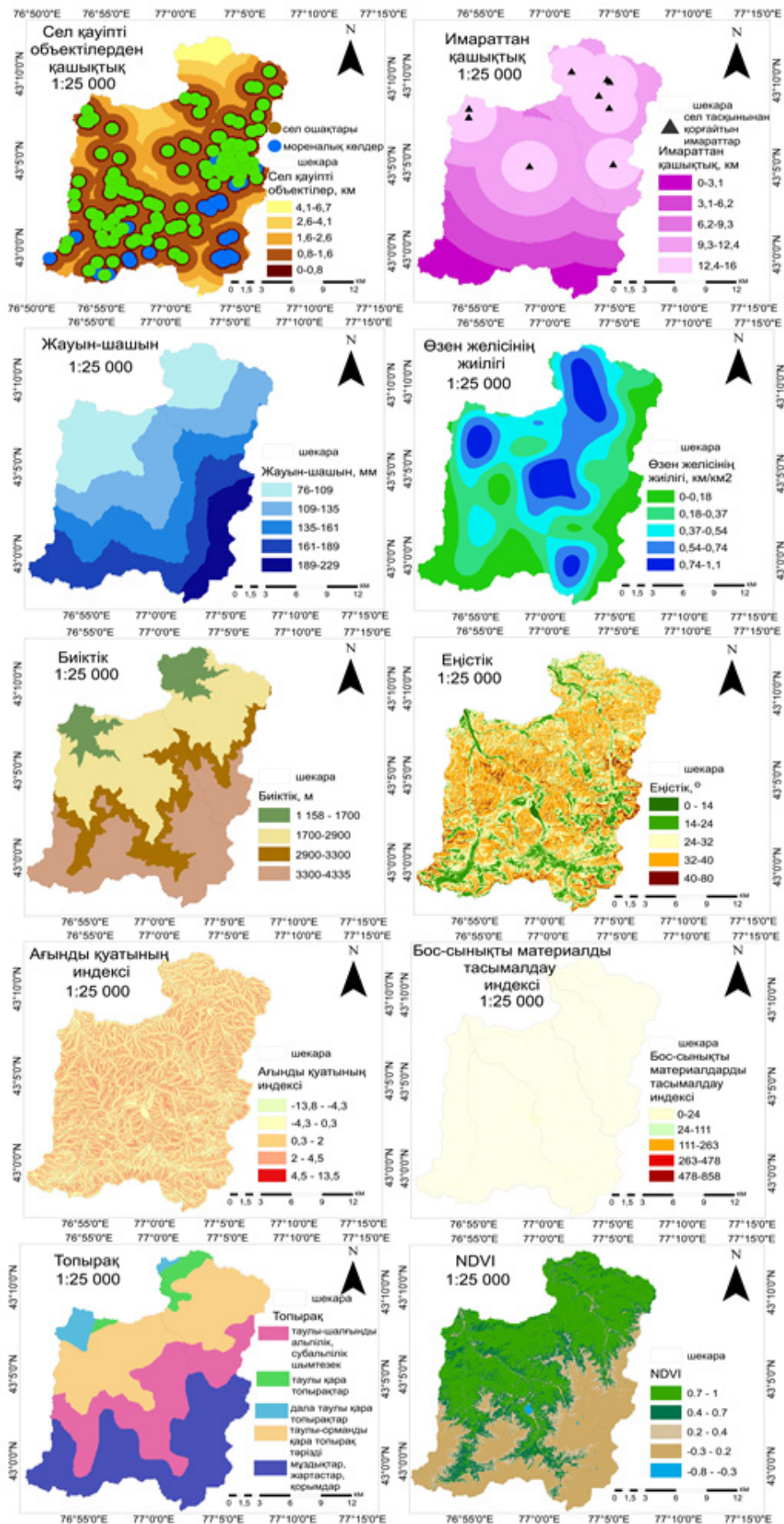
анықталды. Классикалық сел алабы сел тасқындары қалыптасу (басталу), тасымалдау (транзит), шөгу (аккумуляция) зоналарын қамтиды (Молдахметов М.М. т.б., 2012). Сел қауіпті объектілерден қашықтығы, биіктік, еңістік сияқты критерийлер сел алабының қалыптасу (басталу) зонасын сипаттаса, TWI, өзендерден қашықтығы, NDVI критерийлері тасымалдау (транзит) зонасындағы сел қауіпін ұшырау дәрежесін айқындаса, имараттардан қашықтығы шөгу (аккумуляция) зонасының сипатын көрсетеді. Ал әсер ету зонасындағы рецепиенттер ретінде халық тығыздығы, жолдан қашықтығы және LULC сияқты критерийлер таңдалды.

Сел тасқынына ұшырайтын аумақтарды анықтау критерийлерінің маңыздылық дәрежелері 5-кестеде келтірілген.

Сел тасқынына ұшырайтын аумақтар критерийлерінің үлес салмағын анықтау барысында 1:25000 масштабтағы сел тасқынына ұшырайтын аумақтар картасы тұрғызылды (5-сурет).

Сел қауіптілігі критерийлерінің маңыздылық дәрежесі

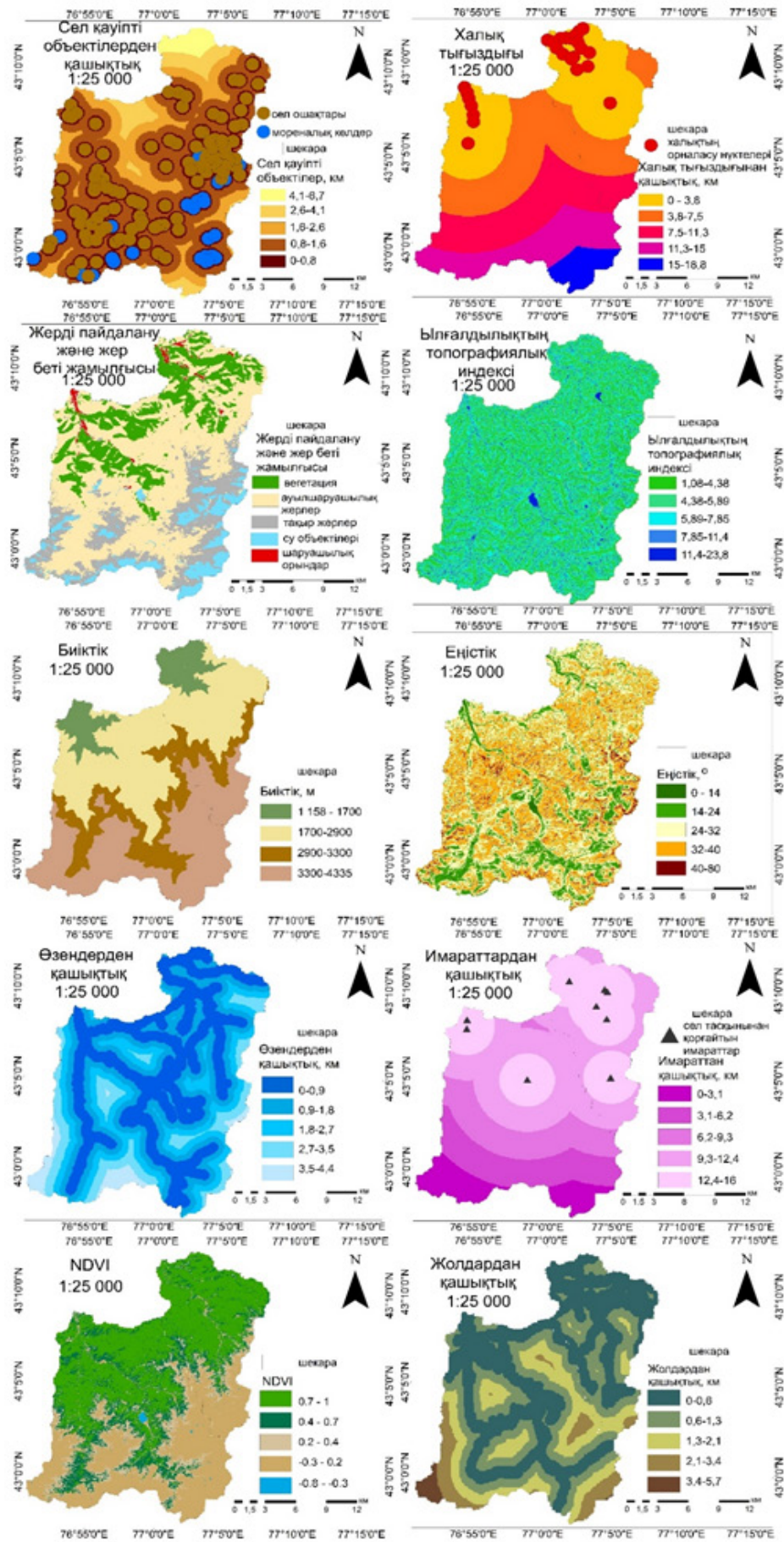
Сел қауіптілігінің критерийлері	Критерийлердің өлшем бірліктері	Критерийлердің қауіптілік дәрежесі			Қауіпті учаске ауданы	
		мәндері	сипаттамасы	категориясы	км ²	%
Сел қауіпті объектілерден қашықтығы	км	0...0,8	өте жоғары	5	174,1	43,8
		0,8...1,6	жоғары	4	119,5	30
		1,6...2,6	орташа	3	65,5	16,5
		2,6...4,1	төмен	2	27,1	6,8
		4,1...6,7	аса төмен	1	11,6	2,9
Жауын-шашын мөлшері	мм	76...109	аса төмен	1	99	24,9
		109...135	төмен	2	108,1	27,2
		135...161	орташа	3	79,8	20,1
		161...189	жоғары	4	76,3	19,2
		189...229	өте жоғары	5	34,5	8,7
Топырақ жамылғысы	деңгей	таулы-шалғынды альпілік, субальпілік шымтезек шаймаланған таулы қара топырақтар	аса төмен	1	104,3	26,2
		дала таулы қара топырақтар	төмен	2	14,4	3,6
		таулы-орманды қара топырақ тәрізді	орташа	3	12,5	3,1
		мұздықтар, жартастар, қорымдар	жоғары	4	135,4	34
			өте жоғары	5	131,2	33
Биіктік	м	1158...1700	төмен	2	38,8	9,8
		1700...2900	орташа	3	135,2	34
		2900...3300	өте жоғары	5	72,9	18,3
		3300...4335	жоғары	4	150,8	37,9
Еңістік	°	0...14	аса төмен	1	8,8	2,2
		14...24	төмен	2	60	15,1
		24...32	орташа	3	162,4	40,8
		32...40	жоғары	4	152,3	38,3
		40...80	өте жоғары	5	14,4	3,6
Ағынды қуатының индексі		-13,8...-4,3	аса төмен	1	395	99,3
		-4,3...0,3	төмен	2	2	0,5
		0,3...2	орташа	3	0,5	0,1
		2...4,5	жоғары	4	0,3	0,1
		4,5...13,5	өте жоғары	5	0,1	0
Бос сынықты материалдардың тасымалдану индексі		0...24	аса төмен	1	395	99,3
		24...111	төмен	2	2	0,5
		111...263	орташа	3	0,5	0,1
		263...478	жоғары	4	0,3	0,1
		478...858	өте жоғары	5	0,1	0
Өзен желісінің жиілігі	км/км ²	0...0,18	аса төмен	1	91	22,9
		0,18...0,37	төмен	2	105,2	26,5
		0,37...0,54	орташа	3	93,5	23,5
		0,54...0,74	жоғары	4	68,4	17,2
		0,74...1,1	өте жоғары	5	39,7	10
NDVI	деңгей	-0,8...-0,3	өте жоғары	5	0,8	0,2
		-0,3...0,2	жоғары	4	125,1	31,5
		0,2...0,4	орташа	3	43,9	11
		0,4...0,7	төмен	2	63,9	16,1
		0,7...1	аса төмен	1	164,1	41,3
Имараттан қашықтығы	км	0...3,1	өте жоғары	5	35,3	8,9
		3,1...6,2	жоғары	4	56,5	14,2
		6,2...9,3	орташа	3	59,9	15,1
		9,3...12,4	төмен	2	128	32,2
		12,4...16	аса төмен	1	118,1	29,7



Сур. 4. Сел қауіптілігі критерийлері

Сел тасқынына ұшырайтын аумақтар критерийлерінің маңыздылық дәрежесі

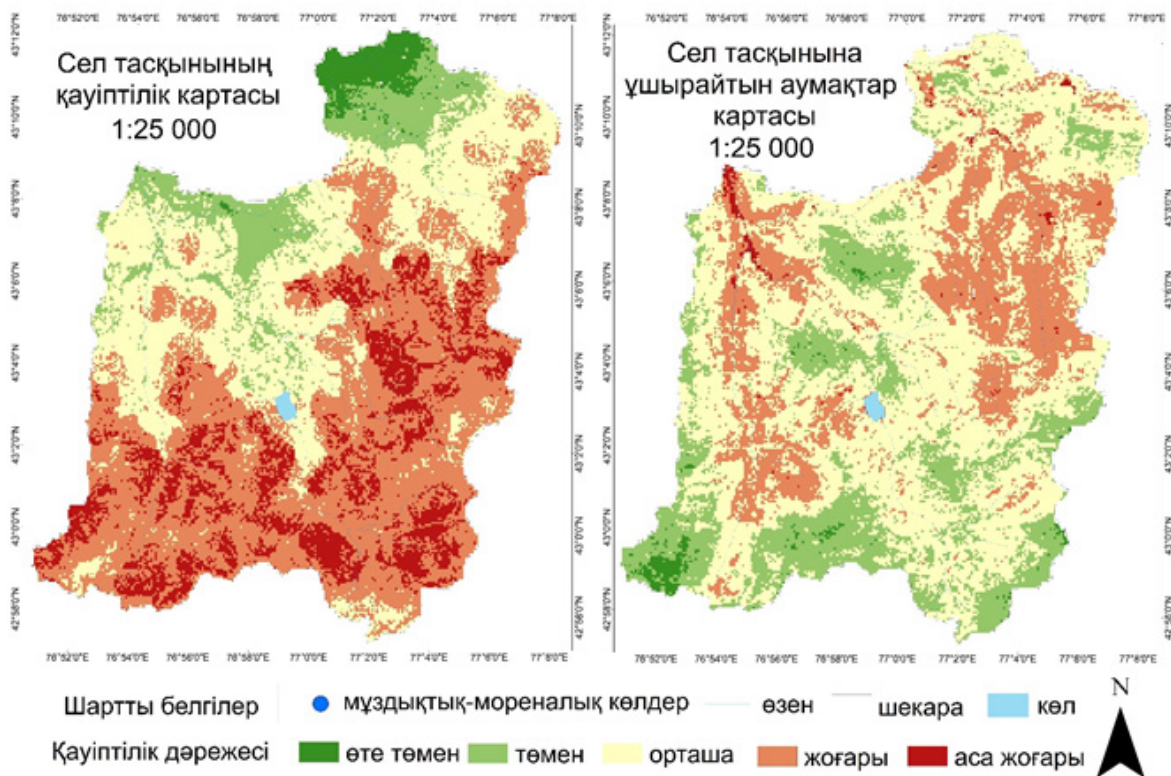
Сел тасқынына ұшырайтын критерийлері	Критерийлердің өлшем бірліктері	Критерийлердің қауіптілік дәрежесі			Сел тасқынына ұшыраған учаске ауданы	
		мәндері	сипаттамасы	категориясы	км ²	%
Сел қауіпті объектілерден қашықтығы	км	0...0,8	өте жоғары	5	174,1	43,8
		0,8...1,6	жоғары	4	119,5	30
		1,6...2,6	орташа	3	65,5	16,5
		2,6...4,1	төмен	2	27,1	6,8
		4,1...6,7	аса төмен	1	11,6	2,9
Халық тығыздығы	адам/км ²	0...3,8	өте жоғары	5	114,7	28,8
		3,8...7,5	жоғары	4	99,4	25
		7,5...11,3	орташа	3	81	20,4
		11,3...15	төмен	2	73,5	18,5
		15...18,8	аса төмен	1	29,2	7,3
LULC		вегетация	аса төмен	1	79,7	20
		ауылшаруашылық жерлер	төмен	2	205,6	51,7
		тақыр жер	орташа	3	75,9	19,1
		су объектілері	жоғары	4	33,2	8,3
		шаруашылық орындар	өте жоғары	5	3,5	0,9
Биіктік	м	1158...1700	төмен	2	38,8	9,8
		1700...2900	орташа	3	135,2	34
		2900...3300	өте жоғары	5	72,9	18,3
		3300...4335	жоғары	4	150,8	37,9
Еңістік	°	0...14	аса төмен	1	8,8	2,2
		14...24	төмен	2	60	15,1
		24...32	орташа	3	162,4	40,8
		32...40	жоғары	4	152,3	38,3
		40...80	өте жоғары	5	14,4	3,6
Имараттан қашықтық	км	0...3,1	өте жоғары	5	35,3	8,9
		3,1...6,2	жоғары	4	56,5	14,2
		6,2...9,3	орташа	3	59,9	15,1
		9,3...12,4	төмен	2	128	32,2
Өзеннен қашықтық	км	12,4...16	аса төмен	1	118,1	29,7
		0...0,9	өте жоғары	5	150,8	37,9
		0,9...1,8	жоғары	4	109,2	27,5
		1,8...2,7	орташа	3	73,7	18,5
		2,7...3,5	төмен	2	48,3	12,1
Жолдан қашықтық	км	3,5...4,4	аса төмен	1	15,7	3,9
		0...0,6	өте жоғары	5	174,1	43,8
		0,6...1,3	жоғары	4	118	29,7
		1,3...2,1	орташа	3	70,7	17,8
		2,1...3,4	төмен	2	28,9	7,3
NDVI	денгей	3,4...5,7	аса төмен	1	6,1	1,5
		-0,8...-0,3	өте жоғары	5	164,1	41,3
		-0,3...0,2	жоғары	4	63,9	16,1
		0,2...0,4	орташа	3	43,9	11
		0,4...0,7	төмен	2	125,1	31,5
TWI		0,7...1	аса төмен	1	0,8	0,2
		1,08...4,38	аса төмен	1	106	26,6
		4,38...5,89	төмен	2	172,1	43,3
		5,89...7,85	орташа	3	87,3	22
		7,85...11,4	жоғары	4	25	6,3
		11,4...23,8	өте жоғары	5	7,4	1,9



Сур. 5. Сел тасқынына ұшырайтын аумақтарды бағалау критерийлері

Жоғарыда келтірілген критерийлер АНР әдісі негізінде талданып, қауіптілік дәрежесі бойынша жіктеліп (reclass), ГАЖ ортасындағы «Weighted Overlay» функциясы арқылы қабаттастырылды. Әрбір критерийді маңыздылық дәрежесі бойынша қабаттастыру арқылы зерттеу ауданындағы сел тасқынының қауіптілік картасы және сел тасқынына ұшырайтын аумақтар картасы (1:25 000) жасалды (6-сурет). Өзірленген карта бойынша зерттеу аумағы қауіптілік дәрежесі бойынша 5 категорияға

(1-аса төмен, 2-төмен, 3-орташа, 4-жоғары, 5-өте жоғары) жіктелді. Жалпы ауданы 397,8 км² құрайтын Үлкен және Кіші Алматы өзен алаптарындағы қауіптілігі өте жоғары аумақ – 116,2 км², жоғары – 103,2 км², орташа – 90,9 км², төмен – 63,4 км², өте төмен – 24,2 км² тең. Ал, зерттеу ауданының сел тасқынына ұшырау мүмкіндігі бойынша өте жоғары аумақ – 52,9 км², жоғары – 100,5 км², орташа – 116,5 км², төмен – 93,7 км², өте төмен – 34,6 км² құрады.



Сур. 6. Үлкен және Кіші Алматы өзен алабындағы сел тасқынының қауіптілік және сел тасқынына ұшырайтын аумақтар картасы

ҚОРЫТЫНДЫ

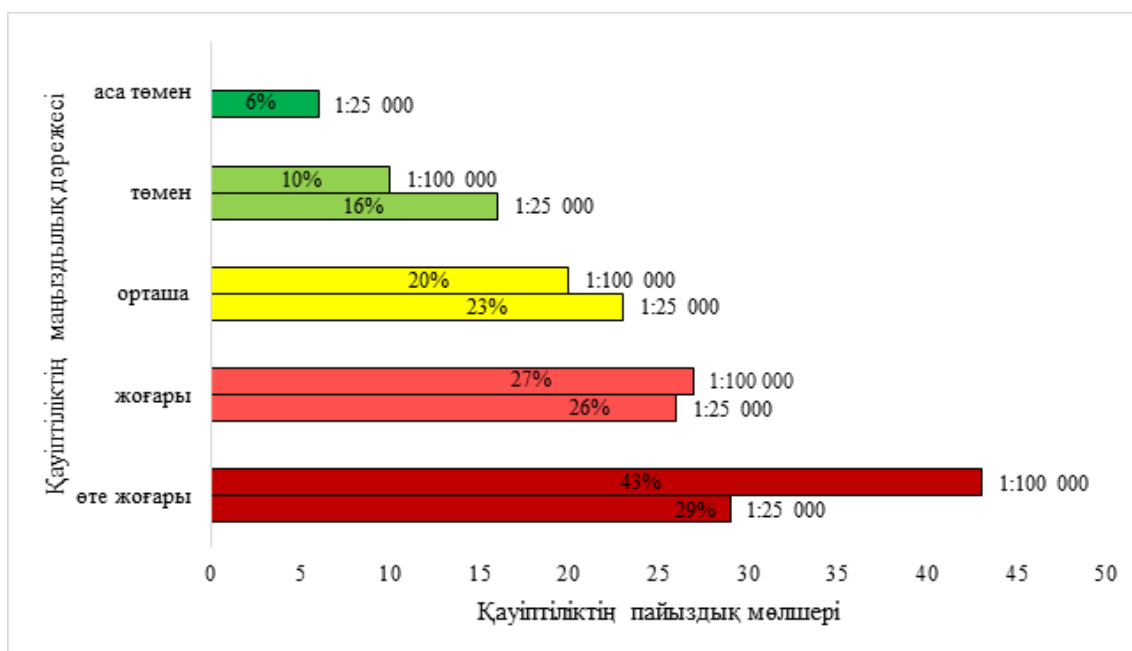
Үлкен және Кіші Алматы өзен алаптары еліміздегі сел құбылыстары белсенді қалыптасатын аумақтарының бірі (Медеу А.Р., 2009). Сондай-ақ зерттеу ауданының етегінде еліміздегі қарқынды игерілген, 2 миллион халқы бар (Бюро национальной статистики агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан, в.п.), шаруашылық, экономикалық және мәдени орындардың ортасы болып табылатын Алматы қаласы орналасқан. Сол себептен де, зерттеліп отырған аудан селдік тұрғыдан жете зерттелген ауданға жатады (Молдахметов М.М. т.б., 2011). Оған дәлел ретінде соңғы жылдары жүзеге асы-

рылған, мемлекет тарапынан қаржыландырылған ғылыми жобалар мен ізденістерді келтіруге болады.

Солардың бірі ретінде география және су қауіпсіздігі институты мамандарының 2011 ж. әзірлеген Үлкен және Кіші Алматы алаптары үшін сел қауіптілігінің 1:100 000 масштабтағы картасының нәтижелері (Медеу А.Р. и др., 2018; Медеу А.Р. и др., 2019; Медеу А.Р. и др., 2020) басшылыққа алынды.

Мақаланы әзірлеу барысында қол жеткізілген нәтижелерді жоғарыда аталған Іле Алатауының сел қауіптілігі (1:100 000) картасының фрагментті нәтижелерімен салыстыру

төмендегіні көрсетті (7-сурет).



Сур. 7. Іле Алатауының сел қауіптілігі (1:100 000) картасының фрагментті нәтижелерін қол жеткізілген Үлкен және Кіші Алматы өзен алабының сел қауіптілігі (1:25 000) картасымен салыстыру нәтижелері

Салыстыру нәтижесі (Медеу А.Р. и др., 2018; Медеу А.Р. и др., 2019; Медеу А.Р. и др., 2020) келтірілген карталарда қауіптілігі «аса төмен» категория ретінде ысырынды конус аумағын немесе суайрық сызығы бойынша таудан шыға беріс жерден кейінгі учаскелерді көрсетті. Сондай-ақ қауіптілігі «аса жоғары» категорияға жататын аумақтардың жалпы үлесі 43% құраса, АНР әдісі бойынша анықталған қауіптілігі «өте жоғары» аумақ 29 % құрады. Ал, қауіптілік дәрежесі «төмен», «орташа», «жоғары» категориялар бойынша аумақтар үлес салмағының айырмашылығы мардымсыз.

Ұсынылып отырған мақала аясында сел қаупін (mudflow risk) бағалаудың негізгі құраушылары болып саналатын сел қауіптілігі мен сел тасқынына ұшырайтына аумақтарды анықтау мүмкіндіктері мен жолдары қарастырылған.

Климаттың ғаламдық жылынуы жағдайында биік таулы аймақтағы гидрометеорологиялық, гляциологиялық, геоморфологиялық, геоботаникалық өзгерістердің әсерінен зерттеу ауданындағы сел тасқыны қаупін қайта бағалауды қарастырған жөн. Ол үшін ұсынылып отырған мақаладағы қашықтықтан зондтау және ГАЗ технологияларын қолдану жолдары, сондай-ақ мәліметтерді талдау әдістері сел қаупін бағалауда сенімді нәтиже берері анық.

Сел қаупін бағалау сел қауіптілігі мен сел

тасқынына ұшырайтын аудандарды есепке алу негізінде жүзеге асырылуы керек. Ал сел қаупі дегеніміз белгілі бір уақыт аралығында нақты бір ауданда сел қауіптілігінің орын алуымен байланысты күтілетін шығындар арқылы түсіндіріледі (Гладкевич Г.И. и др., 2012).

Сел қаупі – аумақтағы әлеуметтік, экологиялық және экономикалық сфераларға сел тасқынының теріс әсер ету қауіптілігі. Қандай да бір аумақтағы сел қаупінің шамасы қуаттылығы әр түрлі сел тасқындарының қалыптасу ықтималдығына (қалыптасу қаупі) және олардың адамға, табиғатқа, шаруашылық объектілеріне келтіретін ықтимал шығынына (әсер ету қаупі) байланысты (Акимов В.А. и др., 2004; Медеу А.Р., и др., 2018; Медеу А.Р. и др., 2004; Медеу А.Р., 2003; Тасболат Б. и др., 2015).

Мультикритериялық шешім қабылдау әдісі арқылы біріктірілген сел тасқынының қауіптілік картасы және сел тасқынына ұшырайтын аумақтар картасы апатты сел тасқыны кезінде әрекет ету және авариялық-құтқару қызметтерін ұйымдастырумен айналысатын ұйымдар үшін пайдалы ресурс бола алады.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Акимов В.А., Лесных В.В., Радаев Н.Н. Риски в природе, техносфере, обществе и экономике // Деловой экспресс, 2004 г.

2. Алматы қаласы цифрландыру басқармасының қолдауымен «Digital Almaty». <https://digital-almaty.kz/ru/content/karta-naseleniya-goroda-almaty>
3. Баймолдаев Т., Виноходов В. Казселезащита: оперативные меры до и после стихии // Алматы: Бастау, 2007 г.
4. Баймолдаев Т.А., Касенов М.К., Мусина А.К., Раймбекова Ж.Т. Пространственно-временной анализ распределения селевых явлений и пути предупреждения и снижения их разрушительных воздействий в горных и предгорных районах Казахстана // Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 5-й Международной конференции, 2018 г.
5. Бурова В.Н., Заиканов В.Г., Заиканова И.Н., Минакова Т.Б., Пырченко В.А., Булдакова Е.В., Сависько И.С. Подходы к оценке уязвимости объектов экономики и территорий при возникновении ЧС природного характера // В Мавлянова Н.Г. (Ред.), Проблемы снижения природных опасностей и рисков. Материалы Международной научно-практической конференции «ГЕОРИСК-2012» (с. 279–284). Российский университет дружбы народов, 2012 г.
6. Бюро национальной статистики агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. <https://stat.gov.kz/ru/region/>
7. Вилесов Е.Н. Изменение состояния оледенения Северного макросклона Иле Алатау за 60 лет (1955...2015 гг.) // Гидрометеорология и экология, №3, 2015 г., с. 56–68.
8. Гладкевич Г.И., Терский П.Н., Фролова Н.Л. Оценка опасности наводнений на территории Российской Федерации // Водное хозяйство России, №2, 2012 г., с. 29–44.
9. Ершова Н.М. Принятие решений на основе метода анализа иерархий // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури, №9(210), 2015 г., с. 39–46.
10. Карта селевой опасности территории Республики Казахстан // Алматы, 2015 г.
11. Колотилин Н.Ф., Медеуов А., Тютюкова Н.А., Рындина В.Р., Попов Н.В. Карта фоновой оценки селеопасности территории Казахской ССР // 1989 г.
12. Қазақстан Республикасы Төтенше жағдайлар министрлігі <https://www.gov.kz/memleket/entities/emer?lang=kk>
13. Медеу, А. Р., Благовещенский, В. П., Ранова, С. У., Касаткин, Н. Е., Касенов, М. К., Раймбекова, Ж. Т. Система противоселевых мероприятий в Заилийском Алатау // В Черноморец С.С., Висхаджиева К.С. (Ред.), Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 6-й Международной конференции, с. 39–48, 2020 г.
14. Медеу А.Р. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций // Алматы: Институт географии, 2009 г.
15. Медеу А.Р. Селевые явления Юго-Восточного Казахстана: Основы управления // Том 1, Алматы: Институт географии, 2011 г.
16. Медеу А.Р., Благовещенский В.П., Ранова С.У., Гуляева Т.С., Жданов В.В., Танбаева А.А., Касаткина Т.А., Диких И.А. Селебезопасность Республики Казахстан: научное обоснование системы обеспечения селебезопасности в горных и предгорных районах Иле Алатау // Отчет о научно-исследовательской работе, 2018 г.
17. Медеу А.Р., Благовещенский В.П., Ранова С.У., Гуляева Т.С., Жданов В.В., Танбаева А.А., Касаткина Т.А., Диких И.А. Селебезопасность Республики Казахстан: научное обоснование системы обеспечения селебезопасности в горных и предгорных районах Иле Алатау // Отчет о научно-исследовательской работе, 2019 г.
18. Медеу А.Р., Благовещенский В.П., Ранова С.У., Гуляева Т.С., Жданов В.В., Танбаева А.А., Касаткина Т.А., Диких И.А. Селебезопасность Республики Казахстан: научное обоснование системы обеспечения селебезопасности в горных и предгорных районах Иле Алатау // Отчет о научно-исследовательской работе, 2020 г.
19. Медеу А.Р., Баймолдаев Т.А., & Киренская Т.Л. Селевые явления Юго-Восточного Казахстана: Антология селевых явлений и их исследования // Том 4, Алматы: Институт географии, 2016 г.
20. Медеу А.Р., Благовещенский В.П., Баймолдаев Т.А., Киренская Т.Л., Степанов Б.С. Селевые явления Юго-Восточного Казахстана: Основы мониторинга в Иле Алатау // Том 2, Алматы: Институт географии, 2018 г.
21. Медеу А.Р., Благовещенский В.П., Ранова С.У. Оценка и картографирование селевой опасности в бассейнах рек Киши и Улкен Алматы // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ), №3(60), 2019 г. с. 9–13.
22. Медеу А.Р., Благовещенский В.П., Степанов Б.С., Ранова С.У., Камалбекова А.Н., Султанбекова Б.М. Мониторинг селевой опасности в Иле Алатау. Вопросы географии и геоэкологии, №2, 2018 г., с. 52–60.
23. Медеу А.Р., Киренская Т.Л. Селевые риски и методы их оценки // Материалы Международного симпозиума «Геологический риск: оценка и уменьшение», 2003 г., с. 14–17.
24. Медеу А.Р., Киренская Т.Л., Тасболат Б., Есжанова А.С., Аскарова М.А. Оценка риска селевого воздействия // Вестник КазНУ. Серия географическая., №2, 2004 г., с.104–108.
25. Медеуов А., Колотилин Н.Ф., Керемкулов В.А. Сели Казахстана // Алматы, 1993 г.
26. Медеуов А.Р. Научные основы управления селевыми процессами сейсмоактивных горных геосистем Казахстана // [Автореф. ... доктора геогр. наук.], 2002 г.
27. Медеуов А.Р., Нурланов М.Т. Селевые явления сейсмоактивных территорий Казахстана (Проблемы управления) // Каржы-каражат, Алматы, 1996 г.
28. Молдахметов М. М., Мусина А.Қ.. Сел қауіпін ауыздықтау процесін ұйымдастыру // КазҰУ хабаршысы. География сериясы, №1(30), 2010 ж., б. 83–88.
29. Молдахметов М.М., Мусина А.К. Қазақстан Республикасы сел қауіпті аудандарының зерттелгенділігін бағалау жөнінде // КазҰУ хабаршысы. География сериясы, №2(33), 2011 ж., б. 34–37.
30. Молдахметов М.М., Мусина А.К., & Айдарбеков Д.Ж. Іле Алатауындағы сел ошақтарының биіктік белдеу бойынша үлестірілуі // Гидрометеорология және экология, №2, 2012 ж., б. 192–202.

31. Ө.О.Оспанов атындағы Қазақ топырақта-ну және агрохимия ғылыми-зерттеу институты. (2005). Жетісу алабының топырақ картасы.
32. Петрушина М.Н. Влияние лавинной и селевой активности на современное состояние ландшафтов Западного Кавказа // Вестник Московского государственного гуманитарного университета им. М.А. Шолохова. Серия «Социально-экологические технологии», №1(2), 2015 г.
33. Саати Т. Метод анализа иерархий // Перевод с английского Р.Г. Вачнадзе, Москва «Радио и связь», 1993 г.
34. Соколов С.И., Ассинг И.А., Курманғалиев А.Б., Серпиков С.К. Почвы Алма-Атинской области // Институт почвоведения, 1962 г.
35. Специальный доклад межправительственной группы экспертов по изменению климата. Управление рисками экстремальных явлений и бедствий для содействия адаптации к изменению климата // 2012 г.
36. Степанов Б.С., Яфязова Р.К. Селевые явления Юго-Восточного Казахстана: Селевые процессы и селетехнические сооружения // Том 3, Алматы: Институт географии, 2014 г.
37. Тасболат Б., Уразбаев А.К., Мұса К.Ш., Кожобекова З. Картографическое районирование селевого риска (на примере горных и предгорных районов Юго-Восточного Казахстана) // Вестник КазНУ. Серия Географическая, №1(40), 2015 г., с. 273–280.
38. Яфязова Р.К. Природа селей Заилийского Алатау: Проблемы адаптации // Алматы, 2007 г.
39. ASF Data Search. <https://search.asf.alaska.edu/>
40. Ballerine, C. Topographic Wetness Index Urban Flooding Awareness Act Action Support Will and DuPage Counties // Illinois Topographic Wetness Index Urban Flooding Awareness Act Action Support, 2017.
41. Bolch T., Peters J., Yegorov A., Pradhan B., Buchroithner M., Blagoveshchensky V. Identification of potentially dangerous glacial lakes in the northern Tien Shan. *Natural Hazards*, №59, 2012, pp. 1691–1714. https://doi.org/10.1007/978-3-642-25495-6_12
42. Chen J., Gao H., Han L., Yu R., Mei G. Susceptibility Analysis of Glacier Debris Flow Based on Remote Sensing Imagery and Deep Learning: A Case Study along the G318 Linzhi Section. *Sensors*, №23(14), 2023. <https://doi.org/10.3390/s23146608>
43. Chigrinets, A. G., Duskayev, K. K., Mazur, L. P., Chigrinets, L. Y., Akhmetova, S. T., Mussina, A. K. Evaluation and Dynamics of the Glacial Runoff of the Rivers of the Ile Alatau Northern Slope in the Context of Global Warming. *International Journal of Engineering Research and Technology*, №13(3), 2020, pp. 419–426.
44. Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas (CHELSA). <https://chelsa-climate.org/downloads/>
45. Copernicus Data Space Ecosystem. <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>
46. Daiyrov M., Narama C., Yamanokuchi T., Tadono T., Kääh A., Ukita J. Regional geomorphological conditions related to recent changes of glacial lakes in the Issyk-Kul basin, Northern Tien Shan. *Geosciences (Switzerland)*, №8(3), 2018. <https://doi.org/10.3390/geosciences8030099>
47. Di, B.F., Chen, N.S., Cui, P., Li, Z.L., He, Y.P., Gao, Y.C. GIS-based risk analysis of debris flow: an application in Sichuan, southwest China // *International Journal of Sediment Research*, 23(2), 2008, pp. 138–148.
48. Doan V.L., Nguyen B.Q., Pham H.T., Nguyen C.C., Nguyen C. T. Effect of time-variant NDVI on landside susceptibility: A case study in Quang Ngai province, Vietnam // *Open Geosciences*, №15(1), 2023. <https://doi.org/10.1515/geo-2022-0550>
49. Dragičević, N., Karleuša, B., & Ožanić, N. Different approaches to estimation of drainage density and their effect on the Erosion Potential Method // *Water (Switzerland)*, №11(3), 2019. <https://doi.org/10.3390/w11030593>
50. Du H., Xia J., Yan Y., Lu Y., Li J. Spatiotemporal Variations of Extreme Precipitation in Wuling Mountain Area (China) and Their Connection to Potential Driving Factors // *Sustainability (Switzerland)*, №14(14), 2022. <https://doi.org/10.3390/su14148312>
51. Dupal, H. An Index Based Assessment of Debris Flow Susceptibility by Using SPI (Stream Power Index) and TWI (Topographic Wetness Index) // 2nd International conference on innovative academic studies, 2023, pp. 633–640.
52. Dupal, H. Land Use Change and Its Effects on NDVI The Case of Espiye District // *Türkiye. International academic studies conference*, №203, 2023.
53. Edamo, M. L., Bushira, K., Ukumo, T. Y. Flood susceptibility mapping in the Bilate catchment, Ethiopia // *H2Open Journal*, №5(4), 2022, pp. 691–712. <https://doi.org/10.2166/h2oj.2022.128>
54. Ennaji Nadia, Ouakhir Hasan, Halouan Said, Abahrour Mohamed. Sediment Transport Index (STI) modeling using the GIS at Small Agricultural Catchment // *International Journal of Innovative Research in Sciences and Engineering Studies (IJIRSES)*, №2(11), 2022, pp. 16–20.
55. Frey, H., Huggel, C., Chisolm, R.E., Baer, P., McArdeil, B., Cochachin, A., Portocarrero, C. Multi-Source Glacial Lake Outburst Flood Hazard Assessment and Mapping for Huaraz, Cordillera Blanca, Peru // *Frontiers in Earth Science*, №6, 2018. <https://doi.org/10.3389/feart.2018.00256>
56. González-Prida, V., Viveros, P., Barbera, L., Márquez, A. C. Dynamic analytic hierarchy process: AHP method adapted to a changing environment // *Journal of Manufacturing Technology Management*, №25(4), 2014, pp. 457–475. <https://doi.org/10.1108/JMTM-03-2013-0030>
57. Harrison S., Kargel J.S., Huggel C., Reynolds J., Shugar D.H., Betts R.A., Emmer A., Glasser N., Haritashya U.K., Klimeš J., Reinhardt L., Schaub Y., Wiltshire A., Regmi D., Vilímek V. Climate change and the global pattern of moraine-dammed glacial lake outburst floods // *Cryosphere*, №12(4), 2018, pp. 1195–1209. <https://doi.org/10.5194/tc-12-1195-2018>
58. HydroSHEDS database. <https://www.hydrosheds.org/products/hydrodrivers>
59. Moore I.D., Burch G.J. Modelling Erosion and Deposition: Topographic Effects // *Transactions of the ASAE*, №29(6), 1986, pp. 1624–1630. <https://doi.org/10.13031/2013.30363>
60. Karger D.N., Conrad O., Böhner J., Kawohl T., Kreft H., Soria-Auza R.W., Zimmermann N.E., Linder H.P., Kessler M. Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas // *Scientific Data*

- №4(1), 2017. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.122>
61. Leal J.E. AHP-express: A simplified version of the analytical hierarchy process method // *MethodsX*, №7, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.11.021>
62. Li X., He X., Li X., Du Y., Yang G., Li D., Xu W. Spatiotemporal Evaluation and Estimation of Precipitation of Multi-Source Precipitation Products in Arid Areas of Northwest China—A Case Study of Tianshan Mountains. *Water (Switzerland)*, №14(16), 2022. <https://doi.org/10.3390/w14162566>
63. Long Ngo. Approximation Method of Analytic Hierarchy Process (AHP) as developed by Dr T.L. Saaty and others // *Agriculture and Allied Sciences*, 2019. <https://doi.org/10.31220/osf.io/87xr4>
64. Medeu A., Blagoveshchensky V., Gulyayeva T., Ranova S. Assessment and Mapping of Mudflow Hazard and Mudflow Risk in the Territory of Almaty // “Abstracts of The Second Eurasian RISK-2020 Conference and Symposium”, 2020. <https://doi.org/10.21467/abstracts.93>
65. Medeu A.R., Popov N.V., Blagoveshchenskiy V.P., Askarova M.A., Medeu A.A., Ranova S.U., Kamalbekova A., Bolch T. Moraine-dammed glacial lakes and threat of glacial debris flows in South-East Kazakhstan // *Earth-Science Reviews*, №229, Elsevier B.V, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.103999>
66. Muneeb F., Baig S.U., Khan J.A., Khokhar M.F. Inventory and glacial susceptibility of glacial lakes in hunza river basin, western karakorum // *Remote Sensing*, №13(9), 2021. <https://doi.org/10.3390/rs13091794>
67. Mussina A. K., Abdullayeva A.S., Barandun M. The importance of conducting research methods to assess the state of glacial-moraine lakes // *NEWS of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical sciences.*, №6(456), 2022, pp. 147–155. <https://doi.org/10.32014/2518-170X.24568>
68. Mussina A.K., Raimbekova Zh.T., Shahgedanova M., Barandun M., Narbayeva K.T., Abdullayeva A.S., Nysanbayeva A.S. Mountain Resilience: A Tool for Mudflow Risk Management in the Ile Alatau Mountains, Kazakhstan // *Mountain Research and Development*, №43(1), 2023. pp. 1-10. <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-22-00004>
69. Mussina, A.K., Zhanabayeva Zh.A. GIS-technology in the management of mudflow risk // *Journal of Geography and Environmental Management*, №42(1), 2016, pp. 140–146. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2016.1.29370>
70. OpenStreetMap. <https://download.geofabrik.de/asia.html>
71. Ouma, Y.O., Tateishi R. Urban flood vulnerability and risk mapping using integrated multi-parametric AHP and GIS: Methodological overview and case study assessment // *Water (Switzerland)*, №6(6), 2014, pp. 1515–1545. <https://doi.org/10.3390/w606151572>
72. Prakash C., Nagarajan R. Glacial lake inventory and evolution in northwestern indian himalaya // *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, №10(12), 2017, pp. 5284–5294. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2017.2767098>
73. Qi M., Liu S., Yao X., Grünwald R., Gao Y., Duan H., Liu J. Lake inventory and potentially dangerous glacial lakes in the Nyang Qu Basin of China between 1970 and 2016 // *Journal of Mountain Science*, №17(4), 2020, pp. 851–870. <https://doi.org/10.1007/s11629-019-5675-574>
74. Saadi Y., Suroso A., Putra I.B. Identification of Suspended Sediment Concentration in Stream Network // *Applied Mechanics and Materials*, №845, 2016, pp. 3–9. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm75>
75. Saranya T., Saravanan S., Jennifer J.J., Singh L. Assessment of groundwater vulnerability in highly industrialized Noyyal basin using AHP-DRASTIC and Geographic Information System // *Disaster Resilience and Sustainability*, 2021, pp. 151–170. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85195-4.00009-376>
76. Sentinel-2 10-Meter Land Use/Land Cover. <https://livingatlas.arcgis.com/landcover/>
77. Shahgedanova M., Afzal M., Hagg W., Kapitsa V., Kasatkin N., Mayr E., Rybak O., Saidaliyeva Z., Severskiy I., Usmanova Z., Wade A., Yaitskaya N., Zhumabayev D. Emptying water towers? Impacts of future climate and glacier change on river discharge in the northern Tien Shan, Central Asia // *Water (Switzerland)*, №12(3), 2020. <https://doi.org/10.3390/w120306278>
78. Wang S., Zhang M., Li Z., Wang F., Li H., Li Y., Huang X. Glacier area variation and climate change in the Chinese Tianshan Mountains since 1960 // *Journal of Geographical Sciences*, №21(2), 2011, pp. 263–273. <https://doi.org/10.1007/s11442-011-0843-879>
79. Wang W., Yao T., Yang W., Joswiak D., Zhu M. Methods for assessing regional glacial lake variation and hazard in the southeastern Tibetan Plateau: A case study from the Boshula mountain range, China. *Environmental Earth Sciences*, №67(5), 2012, pp. 1441–1450. <https://doi.org/10.1007/s12665-012-1589-z80>
80. Xiao L., Zhang Y., Ge T., Wang C., Wei M. Analysis, Assessment and Early Warning of Mudflow Disasters along the Shigatse Section of the China-Nepal Highway // *Open Geosciences*, №12(1), 2020, pp. 44–58. <https://doi.org/10.1515/geo-2020-0004>

REFERENCES

1. Akimov V.A., Lesnykh V.V., Radaev N.N. Riski v prirode, tekhnosfere, obshchestve i ekonomike // *Delovoi ekspres*, 2004 g.
2. Almaty қаласы tsifrlandyru басқармасынун қолдауымен «Digital Almaty». <https://digital-almaty.kz/ru/content/karta-naseleniya-goroda-almaty>
3. Baimoldaev T, Vinokhodov V. Kazselezashchita: operativnye mery do i posle stikhii // Almaty: Bastau, 2007 g.
4. Baimoldaev T.A., Kasenov M.K., Musina A.K., Raimbekova Zh.T. Prostranstvenno-vremennoi analiz raspredeleniya selevykh yavlenii i puti preduprezhdeniya i snizheniya ikh razrushitel'nykh vozdeistvii v gornyykh i predgornyykh raionakh Kazakhstana // *Selevye potoki: katastrofy, risk, prognoz, zashchita. Trudy 5-i Mezhdunarodnoi konferentsii*, 2018 g.
5. Burova V.N., Zaikanov V.G., Zaikanova I.N., Minakova T.B., Pyrchenko V.A., Buldakova E.V., Savis'ko I.S. Podkhody k otsenke uyazvimosti ob'ektov ekonomiki i territorii pri vozniknovenii ChS prirodnogo kharaktera // V Mavlyanova N.G. (Red.), *Problemy snizheniya prirodnyykh*

- opasnostei i riskov. Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «GEORISK-2012» (ss. 279–284). Rossiiskii universitet druzhby narodov, 2012 g.
6. Byuro natsional'noi statistiki agentstva po strategicheskomu planirovaniyu i reformam Respubliki Kazakhstan. <https://stat.gov.kz/ru/region/>
7. Vilesov E.N. Izmenenie sostoyaniya oledeneniya Severnogo makrosklona Ile Alatau za 60 let (1955...2015 gg.)//Gidrometeorologiya i ekologiya, №3, 2015 g., s. 56–68.
8. Gladkevich G.I., Terskii P.N., Frolova N.L. Otsenka opasnosti navodnenii na territorii Rossiiskoi Federatsii // Vodnoe khozyaistvo Rossii, №2, 2012 g., s. 29–44.
9. Ershova N.M. Prinyatie reshenii na osnove metoda analiza ierarkhii // Visnik Pridniprov's'koï derzhavnoi akademii budivnistva ta arkhitekturi, №9(210), 2015 g., s. 39–46.
10. Karta selevoi opasnosti territorii Respubliki Kazakhstan // Almaty, 2015 g.
11. Kolotilin N.F., Medeuov A., Tyut'kova N.A., Ryndina V.R., Popov N.V. Karta fonovoi otsenki seleopasnosti territorii Kazakhskoi SSR // 1989 g.
12. Kazakstan Respublikasy Tötenshe zhardailar ministriligi <https://www.gov.kz/memleket/entities/emer?lang=kk>
13. Medeu, A. R., Blagoveshchenskii, V. P., Ranova, S. U., Kasatkin, N. E., Kasenov, M. K., Raimbekova, Zh. T. Sistema protivoselevykh meropriyatii v Zailiiskom Alatau // V Chernomorets S.S., Viskhadzhieva K.S. (Red.), Selevye potoki: katastrofy, risk, prognoz, zashchita. Trudy 6-i Mezhdunarodnoi konferentsii, s. 39–48, 2020 g.
14. Medeu A.R. Atlas prirodnykh i tekhnogennykh opasnostei i riskov chrezvychainykh situatsii // Almaty: Institut geografii, 2009 g.
15. Medeu A.R. Selevye yavleniya Yugo-Vostochnogo Kazakhstana: Osnovy upravleniya // Tom 1, Almaty: Institut geografii, 2011 g.
16. Medeu A.R., Blagoveshchenskii V.P., Ranova S.U., Gulyaeva T.S., Zhdanov V.V., Tanbaeva A.A., Kasatkina T.A., Dikikh I.A. Selebezopasnost' Respubliki Kazakhstan: nauchnoe obosnovanie sistemy obespecheniya selebezopasnosti v gornykh i predgornykh raionakh Ile Alatau // Otchet o nauchno-issledovatel'skoi rabote, 2018 g.
17. Medeu A.R., Blagoveshchenskii V.P., Ranova S.U., Gulyaeva T.S., Zhdanov V.V., Tanbaeva A.A., Kasatkina T.A., Dikikh I.A. Selebezopasnost' Respubliki Kazakhstan: nauchnoe obosnovanie sistemy obespecheniya selebezopasnosti v gornykh i predgornykh raionakh Ile Alatau // Otchet o nauchno-issledovatel'skoi rabote, 2019 g.
18. Medeu A.R., Blagoveshchenskii V.P., Ranova S.U., Gulyaeva T.S., Zhdanov V.V., Tanbaeva A.A., Kasatkina T.A., Dikikh I.A. Selebezopasnost' Respubliki Kazakhstan: nauchnoe obosnovanie sistemy obespecheniya selebezopasnosti v gornykh i predgornykh raionakh Ile Alatau // Otchet o nauchno-issledovatel'skoi rabote, 2020 g.
19. Medeu A.R., Baimoldaev T.A., & Kirenskaya T.L. Selevye yavleniya Yugo-Vostochnogo Kazakhstana: Antologiya selevykh yavlenii i ikh issledovaniya // Tom 4, Almaty: Institut geografii, 2016 g.
20. Medeu A.R., Blagoveshchenskii V.P., Baimoldaev T.A., Kirenskaya T.L., Stepanov B.S. Selevye yavleniya Yugo-Vostochnogo Kazakhstana: Osnovy monitoringa v Ile Alatau // Tom 2, Almaty: Institut geografii, 2018 g.
21. Medeu A.R., Blagoveshchenskii V.P., Ranova S.U. Otsenka i kartografirovanie selevoi opasnosti v basseinakh rek Kishi i Ulken Almaty // Evraziiskii Soyuz Uchenykh (ESU), №3(60), 2019 g. s. 9–13.
22. Medeu A.R., Blagoveshchenskii V.P., Stepanov B.S., Ranova S.U., Kamalbekova A.N., Sultanbekova B.M. Monitoring selevoi opasnosti v Ile Alatau. Voprosy geografii i geoekologii, №2, 2018 g., s. 52–60.
23. Medeu A.R., Kirenskaya T.L. Selevye riski i metody ikh otsenki // Materialy Mezhdunarodnogo simpoziuma «Geologicheskii risk: otsenka i umen'shenie», 2003 g., s. 14–17.
24. Medeu A.R., Kirenskaya T.L., Tasbolat B., Eszhanova A.S., Askarova M.A. Otsenka riska selevogo vozdeistviya // Vestnik KazNU. Seriya geograficheskaya., №2, 2004 g., s. 104–108.
25. Medeuov A., Kolotilin N.F., Keremkulov V.A. Seli Kazakhstana // Almaty, 1993 g.
26. Medeuov A.R. Nauchnye osnovy upravleniya selevyimi protsessami seismoaktivnykh gornykh geosistem Kazakhstana // [Avtoref. ... doktora geogr. nauk.], 2002 g.
27. Medeuov A.R., Nurlanov M.T. Selevye yavleniya seismoaktivnykh territorii Kazakhstana (Problemy upravleniya) // Karzhy-karazhat, Almaty, 1996 g.
28. Moldakhmetov M. M., Musina A.K. Sel kaupin auyzdyktau protsesin yiymdastyru // KazYU khabarshysy. Geografiya seriyasy, №1(30), 2010 zh., b. 83–88.
29. Moldakhmetov M.M., Musina A.K. Kazakstan Respublikasy sel kauipti audandarynyn zerttelgendiligin baralau zheninde // KazYU khabarshysy. Geografiya seriyasy, №2(33), 2011 zh., b. 34–37.
30. Moldakhmetov M.M., Musina A.K., & Aidarbekov D.Zh. Ile Alatauyndary sel oshaktarynyn biiktik beldeu boiynsha ylestirilui // Gidrometeorologiya zhane ekologiya, №2, 2012 zh., b. 192–202.
31. Ə.O. Ospanov atyndary Kazak topyraktanu zhane agrokimiya rylymi-zertteu instituty. (2005). Zhetisu alabynyn topyrak kartasy.
32. Petrushina M.N. Vliyanie lavinnoi i selevoi aktivnosti na sovremennoe sostoyanie landshaftov Zapadnogo Kavkaza // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo gumanitarnogo universiteta im. M.A. Sholokhova. Seriya «Sotsial'no-ekologicheskie tekhnologii», №1(2), 2015 g.
33. Saati T. Metod analiza ierarkhii // Perevod s angliiskogo R.G Vachnadze, Moskva «Radio i svyaz'», 1993 g.
34. Sokolov S.I., Assing I.A., Kurmangaliev A.B., Serpikov S.K. Pochvy Alma-Atinskoi oblasti // Institut pochvovedeniya, 1962 g.
35. Spetsial'nyi doklad mezhpriatel'stvennoi gruppy ekspertov po izmeneniyu klimata. Upravlenie riskami ekstremal'nykh yavlenii i bedstvii dlya sodeistviya adaptatsii k izmeneniyu klimata // 2012 g.
36. Stepanov B.S., Yafyazova R.K. Selevye yavleniya Yugo-Vostochnogo Kazakhstana: Selevye protsessy i seletekhnicheskije sooruzheniya // Tom 3, Almaty: Institut geografii, 2014 g.
37. Tasbolat B., Urazbaev A.K., Mısa K.Sh., Kozhabekova Z. Kartograficheskoe raionirovanie selevogo riska (na primere gornykh i predgornykh raionov Yugo-Vostochnogo Kazakhstana) // Vestnik KazNU. Seriya Geograficheskaya, №1(40), 2015 g., s. 273–280.
38. Yafyazova R.K. Priroda selei Zailiiskogo Alatau: Problemy adaptatsii // Almaty, 2007 g.

39. ASF Data Search. <https://search.asf.alaska.edu/>
40. Ballerine, C. Topographic Wetness Index Urban Flooding Awareness Act Action Support Will and DuPage Counties // Illinois Topographic Wetness Index Urban Flooding Awareness Act Action Support, 2017.
41. Bolch T., Peters J., Yegorov A., Pradhan B., Buchroithner M., Blagoveshchensky V. Identification of potentially dangerous glacial lakes in the northern Tien Shan. *Natural Hazards*, №59, 2012, pp. 1691–1714. https://doi.org/10.1007/978-3-642-25495-6_12
42. Chen J., Gao H., Han L., Yu R., Mei G. Susceptibility Analysis of Glacier Debris Flow Based on Remote Sensing Imagery and Deep Learning: A Case Study along the G318 Linzhi Section. *Sensors*, №23(14), 2023. <https://doi.org/10.3390/s23146608>
43. Chigrinets, A. G., Duskayev, K. K., Mazur, L. P., Chigrinets, L. Y., Akhmetova, S. T., Mussina, A. K. Evaluation and Dynamics of the Glacial Runoff of the Rivers of the Ile Alatau Northern Slope in the Context of Global Warming. *International Journal of Engineering Research and Technology*, №13(3), 2020, pp. 419–426.
44. Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas (CHELSA). <https://chelsa-climate.org/downloads/>
45. Copernicus Data Space Ecosystem. <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>
46. Daiyrov M., Narama C., Yamanokuchi T., Tadono T., Käab A., Ukita J. Regional geomorphological conditions related to recent changes of glacial lakes in the Issyk-Kul basin, Northern Tien Shan. *Geosciences (Switzerland)*, №8(3), 2018. <https://doi.org/10.3390/geosciences8030099>
47. Di, B.F., Chen, N.S., Cui, P., Li, Z.L., He, Y.P., Gao, Y.C. GIS-based risk analysis of debris flow: an application in Sichuan, southwest China // *International Journal of Sediment Research*, 23(2), 2008, pp. 138–148.
48. Doan V.L., Nguyen B.Q., Pham H.T., Nguyen C.C., Nguyen C. T. Effect of time-variant NDVI on landside susceptibility: A case study in Quang Ngai province, Vietnam // *Open Geosciences*, №15(1), 2023. <https://doi.org/10.1515/geo-2022-0550>
49. Dragičević, N., Karleuša, B., & Ožanić, N. Different approaches to estimation of drainage density and their effect on the Erosion Potential Method // *Water (Switzerland)*, №11(3), 2019. <https://doi.org/10.3390/w11030593>
50. Du H., Xia J., Yan Y., Lu Y., Li J. Spatiotemporal Variations of Extreme Precipitation in Wuling Mountain Area (China) and Their Connection to Potential Driving Factors // *Sustainability (Switzerland)*, №14(14), 2022. <https://doi.org/10.3390/su14148312>
51. Dupal, H. An Index Based Assessment of Debris Flow Susceptibility by Using SPI (Stream Power Index) and TWI (Topographic Wetness Index) // 2nd International conference on innovative academic studies, 2023, pp. 633–640.
52. Dupal, H. Land Use Change and Its Effects on NDVI The Case of Espiye District // *Türkiye. International academic studies conference*, №203, 2023.
53. Edamo, M. L., Bushira, K., Ukumo, T. Y. Flood susceptibility mapping in the Bilate catchment, Ethiopia // *H2Open Journal*, №5(4), 2022, pp. 691–712. <https://doi.org/10.2166/h2oj.2022.128>
54. Ennaji Nadia, Ouakhir Hasan, Halouan Said, Abahrour Mohamed. Sediment Transport Index (STI) modeling using the GIS at Small Agricultural Catchment // *International Journal of Innovative Research in Sciences and Engineering Studies (IJIRSES)*, №2(11), 2022, pp. 16–20.
55. Frey, H., Huggel, C., Chisolm, R.E., Baer, P., McArdell, B., Cochachin, A., Portocarrero, C. Multi-Source Glacial Lake Outburst Flood Hazard Assessment and Mapping for Huaraz, Cordillera Blanca, Peru // *Frontiers in Earth Science*, №6, 2018. <https://doi.org/10.3389/feart.2018.00256>
56. González-Prida, V., Viveros, P., Barbera, L., Márquez, A. C. Dynamic analytic hierarchy process: AHP method adapted to a changing environment // *Journal of Manufacturing Technology Management*, №25(4), 2014, pp. 457–475. <https://doi.org/10.1108/JMTM-03-2013-0030>
57. Harrison S., Kargel J.S., Huggel C., Reynolds J., Shugar D.H., Betts R.A., Emmer A., Glasser N., Haritashya U.K., Klimeš J., Reinhardt L., Schaub Y., Wiltshire A., Regmi D., Vilímek V. Climate change and the global pattern of moraine-dammed glacial lake outburst floods // *Cryosphere*, №12(4), 2018, pp. 1195–1209. <https://doi.org/10.5194/tc-12-1195-2018>
58. HydroSHEDS database. https://www.hydrosheds.org/products/hydro_rivers
59. Moore I.D., Burch G.J. Modelling Erosion and Deposition: Topographic Effects // *Transactions of the ASAE*, №29(6), 1986, pp. 1624–1630. <https://doi.org/10.13031/2013.30363>
60. Karger D.N., Conrad O., Böhner J., Kawohl T., Kreft H., Soria-Auza R.W., Zimmermann N.E., Linder H.P., Kessler M. Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas // *Scientific Data*, №4(1), 2017. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.122>
61. Leal J.E. AHP-express: A simplified version of the analytical hierarchy process method // *MethodsX*, №7, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.11.021>
62. Li X., He X., Li X., Du Y., Yang G., Li D., Xu W. Spatiotemporal Evaluation and Estimation of Precipitation of Multi-Source Precipitation Products in Arid Areas of Northwest China—A Case Study of Tianshan Mountains. *Water (Switzerland)*, №14(16), 2022. <https://doi.org/10.3390/w14162566>
63. Long Ngo. Approximation Method of Analytic Hierarchy Process (AHP) as developed by Dr T.L. Saaty and others // *Agriculture and Allied Sciences*, 2019. <https://doi.org/10.31220/osf.io/87xr4>
64. Medeu A., Blagoveshchensky V., Gulyayeva T., Ranova S. Assessment and Mapping of Mudflow Hazard and Mudflow Risk in the Territory of Almaty // “Abstracts of The Second Eurasian RISK-2020 Conference and Symposium”, 2020. <https://doi.org/10.21467/abstracts.93>
65. Medeu A.R., Popov N.V., Blagoveshchenskiy V.P., Askarova M.A., Medeu A.A., Ranova S.U., Kamalbekova A., Bolch T. Moraine-dammed glacial lakes and threat of glacial debris flows in South-East Kazakhstan // *Earth-Science Reviews*, №229, Elsevier B.V, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.103999>
66. Muneeb F., Baig S.U., Khan J.A., Khokhar M.F. Inventory and glof susceptibility of glacial lakes in hunza river basin, western karakorum // *Remote Sensing*, №13(9), 2021. <https://doi.org/10.3390/rs13091794>
67. Mussina A. K., Abdullayeva A.S., Barandun M. The importance of conducting research methods to assess the state of glacial-moraine lakes // *NEWS of the National*

- Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical sciences., №6(456), 2022, pp. 147–155. <https://doi.org/doi.org/10.32014/2518-170X.24568>.
68. Mussina A.K., Raimbekova Zh.T., Shahgedanova M., Barandun M., Narbayeva K.T., Abdullayeva A.S., Nysanbayeva A.S. Mountain Resilience: A Tool for Mudflow Risk Management in the Ile Alatau Mountains, Kazakhstan // Mountain Research and Development, №43(1), 2023. pp. 1-10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-22-0000469>.
69. Mussina, A.K., Zhanabayeva Zh.A. GIS-technology in the management of mudflow risk // Journal of Geography and Environmental Management, №42(1), 2016, pp. 140–146. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2016.1.29370>.
70. OpenStreetMap. <https://download.geofabrik.de/asia.html>
71. Ouma, Y.O., Tateishi R. Urban flood vulnerability and risk mapping using integrated multi-parametric AHP and GIS: Methodological overview and case study assessment // Water (Switzerland), №6(6), 2014, pp. 1515–1545. <https://doi.org/10.3390/w606151572>.
72. Prakash C., Nagarajan R. Glacial lake inventory and evolution in northwestern indian himalaya // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, №10(12), 2017, pp. 5284–5294. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2017.276709873>.
73. Qi M., Liu S., Yao X., Grünwald R., Gao Y., Duan H., Liu J. Lake inventory and potentially dangerous glacial lakes in the Nyang Qu Basin of China between 1970 and 2016 // Journal of Mountain Science, №17(4), 2020, pp. 851–870. <https://doi.org/10.1007/s11629-019-5675-574>.
74. Saadi Y., Suroso A., Putra I.B. Identification of Suspended Sediment Concentration in Stream Network // Applied Mechanics and Materials, №845, 2016, pp. 3–9. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm75>.
75. Saranya T., Saravanan S., Jennifer J.J., Singh L. Assessment of groundwater vulnerability in highly industrialized Noyyal basin using AHP-DRASTIC and Geographic Information System // Disaster Resilience and Sustainability, 2021, pp. 151–170. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85195-4.00009-376>.
76. Sentinel-2 10-Meter Land Use/Land Cover. <https://livingatlas.arcgis.com/landcover/>
77. Shahgedanova M., Afzal M., Hagg W., Kapitsa V., Kasatkin N., Mayr E., Rybak O., Saidaliyeva Z., Severskiy I., Usmanova Z., Wade A., Yaitskaya N., Zhumabayev D. Emptying water towers? Impacts of future climate and glacier change on river discharge in the northern Tien Shan, Central Asia // Water (Switzerland), №12(3), 2020. <https://doi.org/10.3390/w1203062778>.
78. Wang S., Zhang M., Li Z., Wang F., Li H., Li Y., Huang X. Glacier area variation and climate change in the Chinese Tianshan Mountains since 1960 // Journal of Geographical Sciences, №21(2), 2011, pp. 263–273. <https://doi.org/10.1007/s11442-011-0843-879>.
79. Wang W., Yao T., Yang W., Joswiak D., Zhu M. Methods for assessing regional glacial lake variation and hazard in the southeastern Tibetan Plateau: A case study from the Boshula mountain range, China. Environmental Earth Sciences, №67(5), 2012, pp. 1441–1450. <https://doi.org/10.1007/s12665-012-1589-z80>.
80. Xiao L., Zhang Y., Ge T., Wang C., Wei M. Analysis, Assessment and Early Warning of Mudflow Disasters along the Shigatse Section of the China-Nepal Highway // Open Geosciences, №12(1), 2020, pp. 44–58. <https://doi.org/10.1515/geo-2020-0004>

ОЦЕНКА И ЗОНИРОВАНИЕ СЕЛЕВОЙ ОПАСНОСТИ В БАССЕЙНАХ РЕК ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ІЛЕ АЛАТАУ

А.К Мусина. к.ғ.н., Ә.С. Абдуллаева*

¹ *Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан*
E-mail: abdullayeva.assel@kaznu.kz

Мероприятия по управлению селевыми рисками на исследуемой территории состоят из оценки и картирования селевой опасности и риска, проведения превентивных работ, мониторинга, раннего предупреждения, строительства селезащитных сооружений. Глобальное потепление климата и интенсивное освоение бассейнов рек Улькен и Киши Алматы создали необходимость определения критериев, влияющих на возникновение и развитие селевой опасности на территории, и оценки степени их воздействия. В данной статье определены критерии селевой опасности с учетом селеформирующих факторов и механизмов возникновения селевого потока, также критерии направленные на определение уязвимости территории к селевому потоку за счет особенностей, создающих условия для формирования селевого потока в зонах зарождения, транзита, отложения селевого потока, с учетом реципиентов в зоне воздействия селевого потока. В результате была создана крупномасштабная (1:25000) карта селевой опасности и уязвимости территории к селевому потоку на основе многокритериального метода принятия решений. Разработанные карты играют важную роль в планировании мероприятий по

уменьшению, предупреждению и предотвращению негативных последствий селевого потока.

Ключевые слова: селевой поток, селевая опасность, уязвимость, ГИС-технологии, данные дистанционного зондирования Земли, мультикритериальный метод принятия решений, аналитический иерархический процесс

ASSESSMENT AND ZONING OF MUDFLOW HAZARD IN RIVER BASINS OF THE ILE ALATAU CENTRAL PART

A.K. Mussina candidate of the geographical sciences, **A.S. Abdullayeva***

¹ *Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*
E-mail: abdullayeva.assel@kaznu.kz

Mudflow risk management measures in the study area consist of assessment and mapping of mudflow hazard and risk, preventive measures, monitoring, early warning, construction of mudflow protection structures. Due to global warming and intensive development of the Ulken and Kishi Almaty river basins, it became necessary to determine the criteria affecting the occurrence and development of mudflow hazards in the territory and assess the degree of their impact. This article defines the criteria of mudflow hazard, taking into account the mudflow-forming factors and mechanisms of the mudflow occurrence, as well as criteria aimed at determining the vulnerability of the territory to a mudflow due to the features that create conditions for the formation of a mudflow in the zones of origin, transit, deposition of a mudflow, as well as recipients in the zone of impact of a mudflow. As a result, a large-scale (1:25000) map of the mudflow hazard and vulnerability of the territory was created on the basis of a multi-criteria decision-making method. The developed maps play an important role in planning actions to reduce, early warning and prevent the negative consequences of mudflow.

Key words: mudflow, mudflow hazard, mudflow vulnerability, GIS technologies, remote sensing data, multi-criteria decision-making method, analytical hierarchical process

Сведения об авторах/Авторлар туралы мәліметтер/Information about authors:

Мусина Айнур Каировна – география ғылымдарының кандидаты, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ аға оқытушысы, Алматы, әл-Фараби 71, ainur.musina@kaznu.edu.kz
Абдуллаева Әсел Сәбитқызы – әл-Фараби атындағы ҚазҰУ оқытушысы, Алматы, әл-Фараби 71, assel.abdullayeva@kaznu.edu.kz

Мусина Айнур Каировна – кандидат географических наук, старший преподаватель КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, аль-Фараби 71, ainur.musina@kaznu.edu.kz
Абдуллаева Әсел Сәбитқызы – преподаватель КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, аль-Фараби 71, assel.abdullayeva@kaznu.edu.kz

Musina Ainur Kairovna - candidate of Geographical Sciences, senior lecturer of al-Farabi KazNU, Almaty, al-Farabi 71, ainur.musina@kaznu.edu.kz

Abdullaeva Assel Sabitovna - lecturer of al-Farabi KazNU, Almaty, al-Farabi 71, assel.abdullayeva@kaznu.edu.kz