



СӘУЛЕТ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС
АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО
ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

DOI 10.51885/1561-4212_2023_3_67
MFTAA 36.33.27

Б. Апшикур¹, А.К. Капасов², М.Е. Рахымбердина³, М.М. Тогузова⁴

Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан

¹E-mail: bake.ab@mail.ru*

²E-mail: azamat040594@mail.ru

³E-mail: marzhan123@mail.ru

⁴E-mail: Mrrahymberdina@ektu.kz

СУ БӨГЕТТЕРІНДЕ СЕЛ ҚАУПІН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ КАРТАҒА ТҮСІРУ КЕЗІНДЕГІ SAGA GIS БАҒДАРЛАМАСЫНЫҢ МҮМКІНДІКТЕРІ

ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГРАММЫ SAGA GIS ПРИ ИЗУЧЕНИИ И КАРТИРОВАНИИ СЕЛЕВОГО РИСКА НА ПЛОТИНАХ

FEATURES OF THE SAGA GIS PROGRAM IN THE STUDY AND MAPPING OF MUDFLOW RISK ON DAMS

Аңдатпа. Мақалада Бұқтырма су электр станциясы маңындағы сел қаупін мамандандырылған картаға түсіру мысалында, жер бетінің сандық моделін DEM және еркін қол жетімді ЖҚЗ материалдарын өңдеуге арналған SAGA GIS мүмкіндіктері мен шектеулері қарастырылды. SRTM және DEM өңдеу нәтижелерін, сондай-ақ SAGA ортасында Landsat-8 және Sentinel-2 спутниктерінен алынған спектрзональды суреттерді су бөгеттеріндегі қарқынды қысымды болжаудың талдаулары жасалынды. Жерді қашықтықтан зондау материалдары бойынша сел ағындарының ықтимал қауіптілігін бағалау тұрғысынан аумақтарды ГАЖ да талдаудың ең тиімді плагиндері және индекстері анықталды.

Түйін сөздер: SAGA GIS, Landsat, Sentinal, Жерді қашықтықтан зондылау материалдары, Жердің сандық моделі, DEM, су электр станциясы, бөгет.

Аннотация. В статье рассмотрены возможности и ограничения SAGA GIS для обработки цифровых моделей земной поверхности и свободно доступных материалов ДЗЗ на примере специализированного картографирования селевого риска вблизи Бухтарминской ГЭС. Были проанализированы результаты обработки SRTM и DEM, а также спектрзональные изображения со спутников Landsat-8 и Sentinel-2 в среде SAGA для прогнозирования интенсивного давления в водяных плотинах. По материалам дистанционного зондирования Земли определены наиболее эффективные плагины и индексы для ГИС-анализа территорий с точки зрения оценки потенциальной опасности селевых потоков.

Ключевые слова: SAGA GIS, Landsat, Sentinal, материалы дистанционного зондирования Земли, цифровая модель Земли, DEM, гидроэлектростанция, плотина.

Abstract. The article discusses the possibilities and limitations of SAGA GIS for processing digital models of the Earth's surface and freely available remote sensing materials on the example of specialized mapping of mudflow risk near the Bukhtarminskaya HPP. The results of SRTM and DEM processing, as well as spectral images from Landsat-8 and Sentinel-2 satellites in the SAGA environment were analyzed to predict intense pressure in water dams. Based on the materials of remote sensing of the Earth, the most effective plug-ins and indexes for GIS analysis of territories from the point of view of assessing the potential danger of mudflows have been determined.

Keywords: SAGA GIS, Landsat, Sentinel, Earth remote sensing materials, digital Earth model, DEM,

hydroelectric power station, dam.

Кіріспе. Бұқтырма су электр станциясы маңындағы кең сайлы алқаптар және жетуді қиын таулы аймақтардың жауын-шашын мөлшерін, жер бедерінің морфометриясын зерттеу, картаға түсіру мен бақылауға, Жерді қашықтықтан зондтау материалдарын (ЖҚЗ) кеңінен қолдану және оларды заманауи ГАЖ технологиялары арқылы өңдеу, қойылған мақсатты шешуді тездетуге және көлемді аумақты зерттеуге мүмкіндік береді [1,2,3]. Бұл, ең алдымен, сандық рельефтік модельдерді (DEM) және спектрлі аймақтық суреттерді өңдеуге қатысты болады. Сонымен қатар, типтік зерттеулерді жүргізудің экономикалық сипаттағы белгілі проблемалары, осы зерттеулерде еркін қол жетімді ЖҚЗ материалдары мен ашық кодты бағдарламалық жасақтаманы барынша пайдалану қажеттілігін анықтайды. Осыған байланысты аталған материалдар мен бағдарламалардың мүмкіндіктері мен шектеулерін зерттеу қажеттілігі туындайды. Аталған мәселелердің ұқсас зерттеулері және нақты жер бетінің дәстүрлі зерттеулердің көп жылдық статистикалық нәтижелерімен салыстыру арқылы, жасалған ЖҚЗ материалдарын алынған бағытта қолданудың тиімділігі шетелдік және отандық мамандардың көптеген зерттеу еңбектерінде дәлелденген [4]. Бұл мақалада жалпыға қол жетімді бастапқы материалдарды мамандандырылған өндеудің кейбір аспектілері қарастырылады: DEM SRTM, сондай-ақ SAGA GIS 2.3.2-ашық кодты ГАЖ ортасында Landsat-8 және Sentinel-2A миссияларының спектрлі зоналық суреттерін [5,6], Бұқтырма су электр станциясы көлеміндегі су жиналу бассейнін зерттеу, сел қаупін картаға түсіру мақсатында теориялық талдаулар жасалынды.

Жүргізілген зерттеулер Қазақстан Республикасының, Шығыс Қазақстан облысының, Өскемен қаласының және қала маңындағы Ертіс өзенінің екі жағалауында орналасқан елді мекендерді су басу қаупін анықтау үшін жүргізілді.

Осы зерттеудің мақсаты қауіпті аймақты анықтау, су тасқыны қаупін талдау және зерттеуге ЖҚЗ материалдарын қолданудың теориялық негіздемесімен ықтимал қауіпті бағалау үшін жер бетінің сандық моделі (DEM) негізінде су басу дәрежесін анықтау болып табылады. Мұнда SAGA бағдарламасының basic Terrain Analysis критерийлерін біріктіру арқылы индекске негізделген су тасқыны қаупі картасын дайындау үшін SRTM ғарыштық материалдары пайдаланылды [7,8].

Материалы и методы исследования (Материалдар және зерттеу әдістері) (Materials and methods of research). Бұқтырма су электр станциясы-Ертіс өзеніндегі ГЭС, Шығыс Қазақстан облысы, Серебрянск қаласының маңындағы Бұқтырма өзенінің сағасынан төмен орналасқан (1-сурет) және Ертіс ГЭС каскадына кіреді (материал <https://yvision.kz/post/136405> алынды).



1-сурет. Су электр станциясының көрнекілік сұлбасы

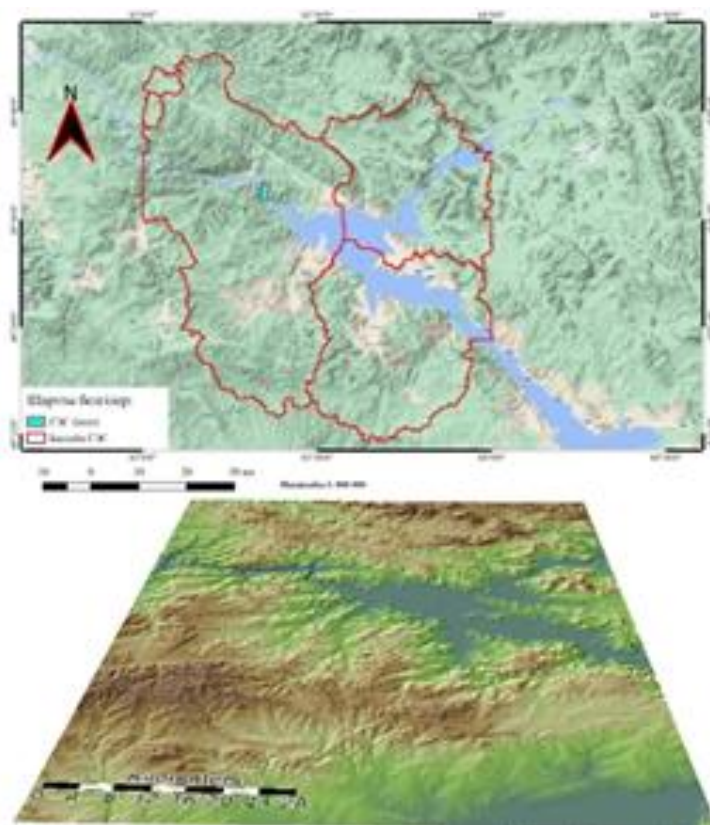
Су электр станциясы бөгет түрінде салынған. ГЭС құрылыстарының құрамы (материал https://ru.wikipedia.org/wiki/Бухтарминская_ГЭС алынды):

- максималды биіктігі 80 м оң жағалаудағы бетон бөгеті;
- ұзындығы 18 м, бір беткі ағызу аралығы бар максималды биіктігі 87 м арналы бетон бөгеті;
- ұзындығы 212 м, су электр станциясының бөгет ғимараты;
- төрт камералы бір тізбекті кеме шлюзі.

ГЭС қуаты – 750 МВт (бастапқыда 675 МВт), орташа жылдық өндіру 2,6 млрд кВт/сағ. ГЭС Қазақстанның энергия жүйесіндегі ең жоғары жүктемелерді жабуды жүзеге асырады. ГЭС ғимаратында 61 м, қысыммен жұмыс істейтін 9 радиалды-осьтік гидроагрегат орнатылған, ұзындығы 430 м ГЭС-ның қысымды құрылымдары Зайсан көлін қамтитын ірі Бұқтырма су қоймасын құрайды.

Су электр станциясының құрылысы 1953 жылы басталды, алғашқы қондырғы 1960 жылы іске қосылды, станция 1966 жылы толық қуатымен іске қосылды. Бөгет салынғаннан кейін биіктігі 67 м болатын тірек пайда болды, ол Қара Ертіс бойымен 100 км тарады, нәтижесінде, Зайсан көлінің деңгейі 7 м көтерілді, көлдің ауданы 3 есе өсті және ол Бұқтырма су қоймасының құрамына енді (материал https://ru.wikipedia.org/wiki/Бухтарминская_ГЭС алынды).

Географиялық орналасуы «WorldGeodeticSystem1984» WGS-84 бойынша координаттары 49°39'40" С.Ж.Ш. 83°20'52" Ш.Б. / 49.661111° С.Ж.Ш. 83.347778° Ш.Б. (2-сурет).



2-сурет. Бұқтырма гидроэлектростанциясының Google Terrain топографиялық картасының фрагменті: сол жақта географиялық координаттарымен негізгі су бассейндер, оң жақта, үш өлшемді топографиялық карта үзіндісі

Бұқтырма су бөгеті алқабының теңіз деңгейінен орташа биіктігі 340-360 м болса, оған жиналатын су бассейндерінің тау сілемдеріндегі биіктігі 1050-1150 м дейін жетеді. Күрделі рельефтік құрылым (2-сурет астыңғы сурет), өз кезегінде жауын шашын суларының аталған аймақтағы су бөгетіне кезеңдік қарқынды әсер етуін көрсетеді [2].

Әрбір өзен жүйесіне жанасатын, одан жауын-шашын тек осы өзен жүйесіне түсетін аңғарлар болады. Мұндай аумақтар, дренажды бассейндер деп аталады. Жауын-шашын түрінде келетін сулар, жер асты суларының булануы мен қоректенуіне жұмсалады және бассейннен тыс жерлерге кетеді (3-сурет). Мұндай ағынды емес аймақтарды өзеннің дренаждық алаңына қосу мүмкін емес. Ағынсыз облыстардың болуына түзетулер арнайы коэффициенттердің (кеуектілік, ормандылық) көмегімен ескеріледі. Аталған су жиналу бассейндерінің шекарасын анықтау және ондағы су көлемін есептеу дәстүрлі әдістерге қарағанда, ЖҚЗ материалдарын сауатты өңдеу барысында, біршама шындыққа жақын болжамдық нәтижесін бере алады [7, 9].

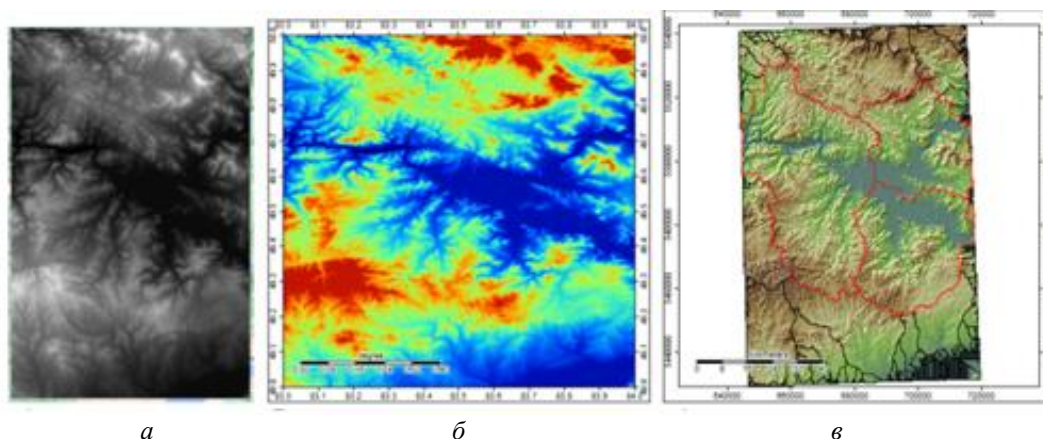


3-сурет. Бассейндерге жиналатын су көздерінің қалыптасу үдерісі

Зерттеуге пайдаланылған SAGA GIS бағдарламасы, жер бетінің сандық моделі DEM геоморфометриялық модельдерінің туындыларын жасауға, олардың математикалық талдауларын жүргізуге, сондай-ақ жер бедерімен ландшафттың басқа компоненттері арасындағы қатынастарды анықтауға мүмкіндік беретін жеткілікті қуатты құралға ие [8].

SAGA-дағы DEM өңдеу алгоритмдері дифференциалды геометрия, есептеу математикасы және геоинформатика әдістері мен тәсілдерін қолданады, бұл рельеф формаларының атрибуттарын (морфологиясын) және (әсіресе бөгеттердегі су бассейндерінің су қорын зерттеуде маңызды) оның бетіндегі зат пен энергия ағындарының гравитациялық анықталған атрибуттарын анықтауға және олардың негізінде геоморфометриялық карталар жасауға мүмкіндік береді [9, 11, 12].

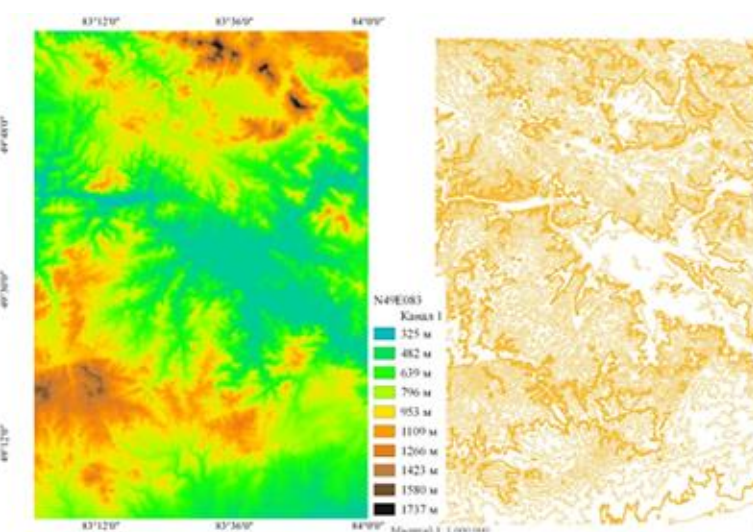
DEM талдауы мен жұмысынан басқа, бағдарлама ЖҚЗ спектрлік зоналы және панхроматикалық суреттерін өңдеу бойынша көптеген операцияларды орындауға, соның ішінде оларды синтездеуге және автоматтандырылған дешифрлеуге, сондай-ақ DEM негізіндегі 3D үлгісіне суреттерді қабаттастыруға мүмкіндік береді. Зерттеуге алынған бастапқы материалдарды қысқаша сипаттасақ: 1. USGS (АҚШ) веб-сайтынан қол жетімді DEM SRTM, Американдық Shuttle ғарыш кемесінің радиолокациялық суреттерінен интерферометрия әдісімен жасалған (30-Meter SRTM) географиялық координатасы N49E083 кескіні (4-сурет) [13].



4-сурет. Зерттеуге алынған бастапқы мәлімет DEM SRTM кескіні: а) бастапқы жүктелген кескін; б) SAGA GIS бағдарламасына жүктелгеннен кейінгі көрінісі; в) топографиялық кескінімен зерттелетін аумақтағы су бассейндер шекарасының кескіні

Бастапқы мәліметтер алынған (SRTM) Shuttle radar topographic mission – Жер шарының көп бөлігін, оның ішінде Солтүстік (> 60), Оңтүстікте (> 54), ендіктерді сондай-ақ мұхиттарды, 2000 жылдың ақпанында, 11 күн ішінде арнайы радиолокациялық жүйенің көмегімен жасалған радар топографиялық түсірілім материалы https://ru.wikipedia.org/wiki/Shuttle_Radar_Topography_Mission сайтынан алынды [14, 15].

Результаты и их обсуждения (Нәтижелері және оларды талқылау) (Results and discussion). SRTM алынған DEM материалынан SAGA GIS бағдарламасының Terrain Map модулінде жер бетінің биіктік картасы салынды (5-сурет).



5-сурет. Зерттеу аймағының биіктік картасы

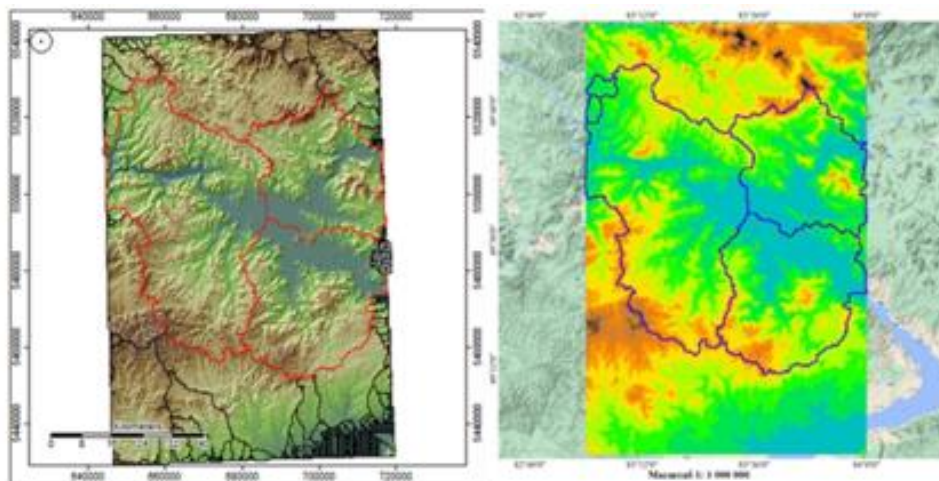
(сол жақта гипсометриялық карта, оң жақта жер бетінің горизонтальдар қимасы 150 м)

Зерттелетін аумақтың биіктік картасы салынғаннан кейін, SAGA GIS бағдарламасында ондағы су жиналу бассейндерінің шекарасын және ауданын анықтау жүргілізді. SRTM спектрінің N49E083 кескіні бойынша үлкенді кішілі 550 бассейн анықталды (сурет 6). Зерттеу аймағы екі құламалы тау қыраты болғандықтан ондағы бассейндердің санын бөлек

анықтау барысында негізгі ірі 5 бассейн алынды. Олардың аудандары анықталынып (1-кесте), осы бассейн аумағында қарқынды су жиналуының негізгі индекстерінің бағдарламалық талдаулары жасалынды [16, 17].

1-кесте. Зерттелетін аумақтағы су бассейндерінің сипаттамасы

№	Өлшем	Аудан, км ²	Периметр, м
1	5487	1147,20	208800
2	7932	1980,80	303200
3	8136	905,91	192800
4	8471	22,87	24000
5	8884	31,52	32800



6-сурет. SRTM түсірісінің N49E083 кескінінің жер бедері бойынша бассейндер сұлбасы:

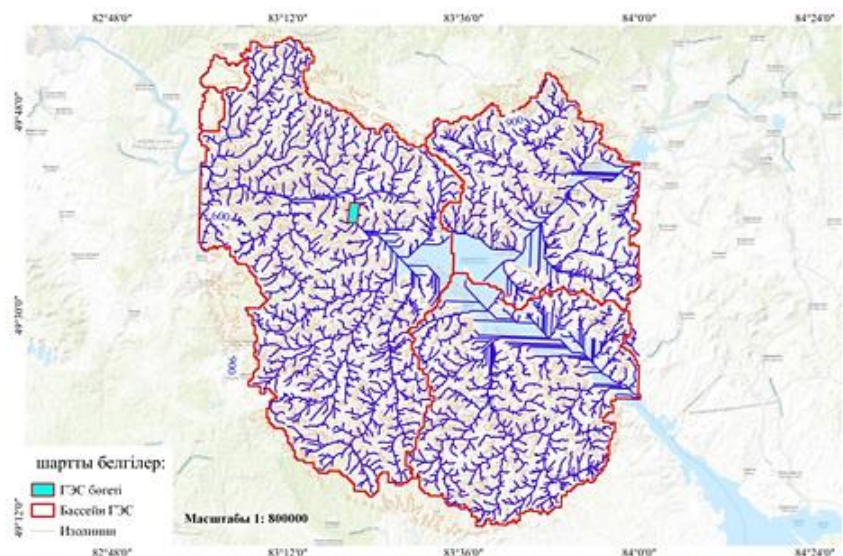
а) жалпы N49E083 кескініндегі бассейндер, б) зерттеу аймағындағы бассейндер

Зерттеу аймағындағы негізгі 5 бассейндерге құйылатын су жолдарын анықтау барысында ағыс ұзындықтары 30 метрден 3500 метрге дейінгі су жолдары анықталды. Бұл өз кезегінде бөгет құрылысы, яғни ГЭС салынған аралықтың бөгеуден шегінген сумен қатар, жауын-шашын суларының қарқынды түсетіндігін көрсетеді (7-сурет) [18, 19].

Зерттеу нәтижесінде белгілі болған су жиналу бассейндеріндегі тұрақты ағыс суларының маусымдық көтерілу, түсу статистикалық есептеулері мен ауарайының өзгерісіне байланысты қардың еруі, жаңбыр мөлшерінің айлар бойынша мәліметтерін жергілікті бақылау орындарынан біле отырып, шұғыл су деңгейінің көтерулі шамасын келесі формула бойынша болжауға болады.

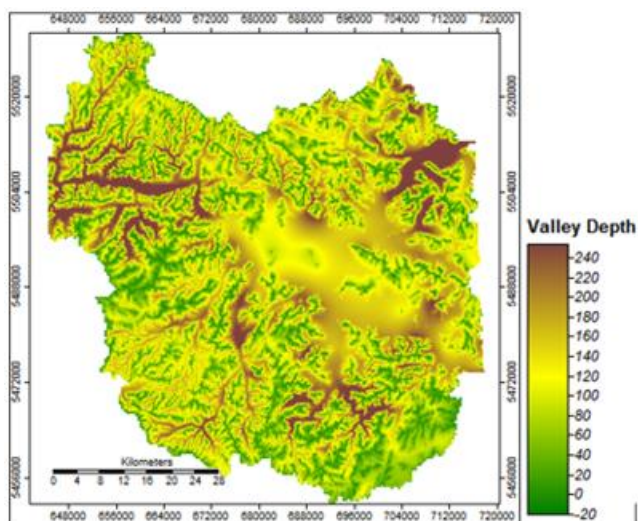
$$F = \sum(H) + (\sum(h * w) / \sum(f)), \quad (1)$$

мұндағы H – су айдынының тұрақты биіктігіндегі су мөлшері; h – әрбір су арнасынан құйылатын судың көбейтілген өсу шамасы (1-кесте); f – суды реттеу каналының максималды су жіберу мүмкіндігі м³; $h * w$ – әрбір су арнасынан құйылатын судың көбейтілген өсу шамасының, әрбір су арнасының ауданына көбейтіндісі (SAGA GIS- Total Catchment Area) [20,21].



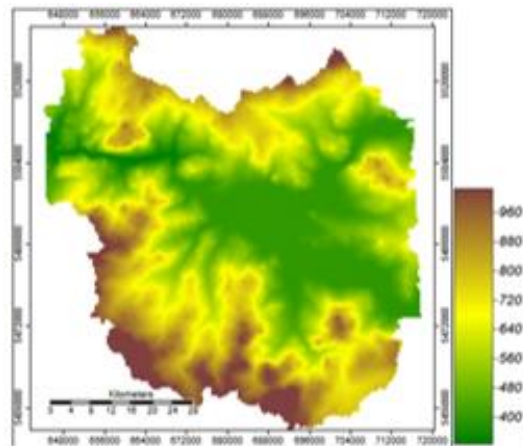
7-сурет. Бөгет аумағындағы бассейндерге құятын су каналдары

Жердің сандық моделін талдау нәтижесінде ажыратымдылығы 30 м SRTM түсірісі, көлемдік аудандардағы су жиналу бассейндерінің, су ұстау қуаттылығын анықтауда, тек қана жер бетінің морфометриялық талдауының жеткіліксіз екендігін көрсетті, себебі тау беткейлерінен жыралар арқылы бассейнге жиналатын судың бір бөлігі жерге сіңетін болса, бір бөлігін орман және өсімдік сияқты жер беті жамылғылары ұстап қалуы мүмкін [2]. Сондықтан қарқынды су жиналудың көлемін анықтауға кейбір индекстерді анықтау біршама нақты мәліметтер бере алады, оның бірі, жер бедерінің биіктік белгілерінің айырмасы ретінде анықталатын жыралардың тереңдігі (8-сурет).



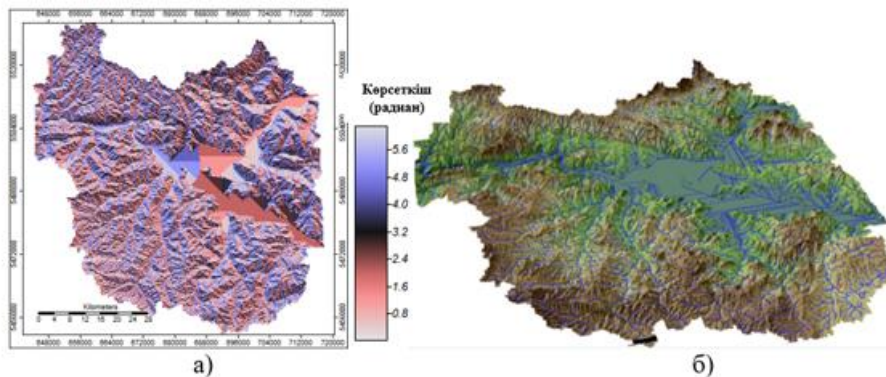
8-сурет. Негізгі су жиналатын алқаптар тереңдігі

Зерттелетін аймақтың күн нұры түсетін экспозициясы (аспектісі) мен құламасына тән көлбеулік бойынша индекстері, бөгеу аумағында қысымды биіктік деңгейінде екенін көрсетті (9-сурет).



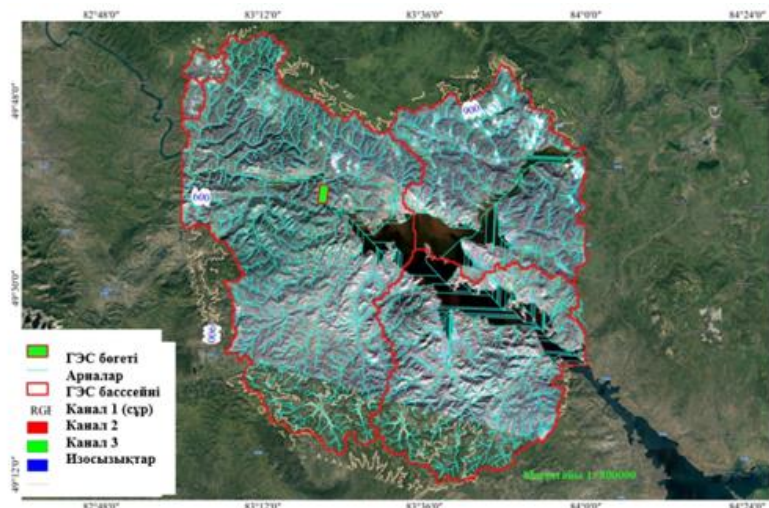
9-сурет. Арна желісінің негізгі деңгей индексі

DEM кескінін SAGA GIS бағдарламасында талдағаннан кейін, қажетті қабаттарды біріктіру, жергілікті жерді дешифрлеудің қосымша мүмкіндіктер береді [10, 11]. Талдау нәтижесіне аңғарлардың экспозициясын (Aspect) анықтау қажеттілігі талдау барысында белгілі болды. Экспозицияны (10 а, б-сурет), мәндердің көлбеу бағыты ретінде қарастыруға болады. Бұл су бассейндерінің қуаттылық есебінің бір критериясы екендігі белгілі болды [7]. 10, а-суретте экспозиция еңістік шамалары радиан мәнімен есептелінді, бұл өз кезегінде, осы бағдарламалық талдаудың бірі, каналдардың негізгі аралықтары арқылы судың бассейнге толу уақытын есептеуге, қосымша критерия үшін қарастырылады. 10, б-суретінде зерттеу аймағындағы бассейндердің топографиялық картасы, ондағы су жыралары мен негізгі су арналарының орналасуын визуальды талдауға және су электр станциясы салынған орында, су қысымының жоғары екендігін байқауға болады. Нақты судың көтерілу деңгейін (1) формуламен 1-кесте мәндерін пайдаланып анықтауға болады. Дегенмен жергілікті бақылау станциясынан w статистикалық су деңгейінің шамасын білу қажет [21].



10-сурет. Зерттеу аймағы: а) зерттеу аймағының экспозициясы, б) зерттеу аймағының топографиялық картасы және ондағы су арналары

Зерттеу аймағының келесі (11-сурет), Google Hybrid төсем картасына бекітілген бас-сейндер аумағында, сел болған жағдайда, жағалау биіктіктерімен, селді ескеру қалыптары, Total Catchment Area және Topographic Wetness Index опцияларының сызықтық карта элементтерімен корреляциялау арқылы болжамды мәліметтер алуға болады [19, 21].



11-сурет. Google Hybrid төсем картасына бекітілген бассейндер аумағы

Жүргізілген зерттеулер, Landsat немесе Sentinel спутниктерінен еркін таратылатын спектрональды кескіндерді өңдеу, анықтамалық учаскелерде зерттеулер мен бақылаулар кезінде алынған материалдарға сүйене отырып, аймақтық деңгейде, сел қаупін болжау және картаға түсіру мақсатында еркін қол жетімді DEM кескінін өңдеуге, SAGA GIS – ашық кодты геоақпараттық жүйені пайдаланудың жоғары тиімділігін көрсетті.

Қорытынды. SAGA GIS құралдары геоморфометриялық көрсеткіштер бойынша DEM 30 м тор қадамымен жауын-шашын және қардың қарқынды еруі барысында, ықтимал сел қаупі бар арналарды, ауданы 10-50 км² қарапайым бассейндерді және одан да көп сел тасқынына бейім арналар мен жоғары ретті бассейндерді анықтауға мүмкіндік береді. Ауданы 2 км² аз көлбеулердегі сел қаупі DEM арқылы нақты мәлімет бермейді. Бұл өз кезегінде торларының қадамы 30 м әсіресе қадамы 90 м ASTER GDEM биіктік моделдерімен байланысты. Алайда, егер олар салыстырмалы түрде жоғары (Sentinel) немесе тіпті орташа (Landsat) ажыратымдылықтағы суреттермен бағдарламаның pansharpening мүмкіндігімен түрлендірілсе, онда аталған аумақта кіші беткейлер туралы ақпарат алуға болады. Бұл осы материалдар бойынша орташа масштабты (1:200000-1:500000) және тіпті ауқымды (1:25000-1:50000) мамандандырылған сел қаупін болжау карталарын жасауға мүмкіндік береді.

Әдебиеттер тізімі

1. Pratik Dash1, Jishnu Sar2. Identification and validation of potential flood hazard area using GIS-based multi-criteria analysis and satellite data-derived water index. CIWEM Journal of Flood Risk Management, 2020. – Pp. 1-14.
2. Бейсембаева М.А., Дубровская Л.И., Земцов В.А. Антропогенные изменения водных ресурсов и максимальных уровней реки Иртыш в равнинной части бассейна в Республике Казахстан. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2018. – Т. 329. – № 3. 6-15.
3. Wagener, T., Wheeler, H.S. ETGupta, H.V.: Rainfall-Runoff Modelling in Gauged and Ungauged Catchments. London, Imperial College Press, 2004, 306 p. ISBN 978-1860944666.
4. Piloyan A., Konečny M., 2017: Semi-Automated Classification of Landform Elements in Armenia Based on SRTM DEM using K-Means Unsupervised Classification. Quaestiones Geographicae, 36(1), 93-103 DOI: 10.1515/quageo-2017-0007

5. Global Land Cover Validation: Recommendations for Evaluation and Accuracy Assessment of Global Land Cover Maps; Report No. 25; GOF-C-GOLD: Luxembourg, Luxembourg, 2006. – Pp. 1-51. [Google Scholar]
6. Conrad, O. SAGA – program structure and current state of implementation // SAGA – Analysis and Modelling Applications. Göttinger Geographische Abhandlungen, 115, 2006 – P. 39–52.
7. Vladimír Fárek¹, Jan Unucka², Iva Ponížilová³, Marcela Gergeřlová⁴, Dušan Židek⁵ and Radek Pallós⁶ *Acta Montanistica Slovaca Ročník*. Assessment of the runoff conditions of small ungauged catchments using GIS and fully distributed hydrologic models 19 (2014), číslo 1, 22–30.
8. Mihalová, L., Kuzevič, Š., Kuzevičová, Ž.: Application of GIS in hydrogeology, engineering geology and environmental. In: *Acta Montanistica Slovaca*, 12, 2007, special issue 3, p. 454–457. ISSN 1335-1788, online at: <http://actamont.tuke.sk/pdf/2007/s3/23mihalovakuzevicovci.pdf>.
9. M.Ye. Rakhymberdina¹, E.V. Grokhotov², Zh.A. Assylkhanova¹, M.M. Toguzova¹. Using space survey materials for modeling hydrodynamic accidents at mining enterprises in Kazakhstan. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLVI-5/W1-2022.
10. Grimaldi, S., Petroselli, A., Arcangeletti, E., Nardi, F.: Flood mapping in ungauged basins using fully continuous hydrologic–hydraulic modeling. In: *Journal of Hydrology* 487, 2013, p. 39 - 47. ISSN 0022-1694.
11. Haan, C.T., Barfield, B.J., Hayes, J.C.: *Design Hydrology and Sedimentology for Small Catchments*. London, Academic Press, Inc., 1994, 588 p. ISBN 978-0123123404.
12. Sadenova, M.A., Beisekenov, N.A., Apshikur, B., ...Mamysheva, A.M., Klemeš, J.J. Modelling of Alfalfa Yield Forecasting Based on Earth Remote Sensing (ERS) Data and Remote Sensing Methods *Chemical Engineering Transactions* this link is disabled, 2022, 94, pp. 697–702.
13. Toguzova, M.M., Rakhymberdina, M.Ye., Kulenova, N.A., ...Apshikur, B., Beisekenov, N.A. Analysis of Process Modeling in Modern Software Program to Support Smart Agriculture *Chemical Engineering Transactions* this link is disabled, 2022, 94, pp. 871–876.
14. Kuldeep, Garg, P. K., & Garg, R. D. (2016) Geospatial techniques for flood inundation mapping. 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). pp. 4387–4390.
15. Saveliev, A., Zhileykin, M., Mikhailovskaya, V., ...Kustarev, G., Grib, V. Increasing the reliability of the autograder metal construction by modeling and re-assembling of the working equipment. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*, 2019, 6 (438), pp. 276–286.
16. Sherov, K.T., Mardonov, B.T., Buzauova, T.M., ...Kurmangaliyev, T.B., Elemes, D.E. The research of micro-hardness of side surfaces of teeth cylindrical wheels processed by shaver-rolling device, *Journal of Theoretical and Applied Mechanics (Bulgaria)* this link is disabled, 2020, 50 (1), pp. 50–56.
17. Hazarika, N., Barman, D., Das, A. K., Sarma, A. K., & Borah, S. B. (2016). Assessing and mapping flood hazard, vulnerability and risk in the upper Brahmaputra River valley using stakeholders' knowledge and multicriteria evaluation (MCE). *Journal of Flood Risk Management*, 11, S700–S716. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12237>
18. Huan, H., Wang, J., & Teng, Y. (2012). Assessment and validation of groundwater vulnerability to nitrate based on a modified DRASTIC model: A case study in Jilin City of Northeast China. *Science of the Total Environment*, 440, pp. 14–23. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.08.037>
19. Kazakis, N., Kougias, I., & Patsialis, T. (2015). Assessment of flood hazard areas at a regional scale using an index-based approach and analytical hierarchy process: Application in Rhodope-Evros region, Greece. *Science of the Total Environment*, 538, pp. 555–563. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.055>
20. Lee, A. H. I., Chen, W.-C., & Chang, C.-J. (2008). A fuzzy AHP and BSC approach for evaluating performance of IT department in the manufacturing industry in Taiwan. *Expert Systems with Applications*, 34, pp. 96–107. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2006.08.022>
21. Li, G. F., Xiang, X. Y., Tong, Y. Y., & Wang, H. M. (2013). Impact assessment of urbanization on flood risk in the Yangtze River Delta. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 27(7), 1683–1693.

References

1. Pratik Dash, Jishnu Sar. Identification and validation of potential flood hazard area using GIS-based multi-criteria analysis and satellite data-derived water index. *CIWEM Journal of Flood Risk Management*, 2020. – Pp. 1–14.
2. Bejsembaeva M.A., Dubrovskaya L.I., Zemcov V.A. Antropogennyye izmeneniya vodnykh resursov i maksimal'nykh urovnej reki Irtysh v ravninnoj chasti bassejna v Respublike Kazahstan. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*. – 2018. – T. 329. – № 3. 6–15.

3. Wagener, T., Wheeler, H.S. ETGupta, H.V.: *Rainfall-Runoff Modelling in Gauged and Ungauged Catchments*. London, Imperial College Press, 2004, 306 p. ISBN 978-1860944666.
4. Piloyan A., Konečný M., 2017: Semi-Automated Classification of Landform Elements in Armenia Based on SRTM DEM using K-Means Unsupervised Classification. *Quaestiones Geographicae*, 36(1), 93-103 DOI: 10.1515/quageo-2017-0007
5. *Global Land Cover Validation: Recommendations for Evaluation and Accuracy Assessment of Global Land Cover Maps; Report No. 25; GOF-C-GOLD: Luxembourg, Luxembourg, 2006. – Pp. 1-51. [Google Scholar]*
6. Conrad, O. SAGA – program structure and current state of implementation // *SAGA – Analysis and Modelling Applications. Göttinger Geographische Abhandlungen*, 115, 2006 – P. 39–52.
7. Vladimír Fárek¹, Jan Unucka², Iva Ponížilová³, Marcela Gergel'ová⁴, Dušan Židek⁵ and Radek Pallós⁶ *Acta Montanistica Slovaca Ročník. Assessment of the runoff conditions of small ungauged catchments using GIS and fully distributed hydrologic models* 19 (2014), číslo 1, 22-30.
8. Mihalová, L., Kuzevič, Š., Kuzevičová, Ž.: Application of GIS in hydrogeology, engineering geology and environmental. In: *Acta Montanistica Slovaca*, 12, 2007, special issue 3, p. 454-457. ISSN 1335-1788, online at: <http://actamont.tuke.sk/pdf/2007/s3/23mihalovakuzevicovci.pdf>.
9. M.Ye. Rakhymberdina, E.V. Grokhotov, Zh.A. Assylkhanova, M.M. Toguzova Using space survey materials for modeling hydrodynamic accidents at mining enterprises in Kazakhstan. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLVI-5/W1-2022.
10. Grimaldi, S., Petroselli, A., Arcangeletti, E., Nardi, F.: Flood mapping in ungauged basins using fully continuous hydrologic–hydraulic modeling. In: *Journal of Hydrology* 487, 2013, p. 39 - 47. ISSN 0022-1694.
11. Haan, C.T., Barfield, B.J., Hayes, J.C.: *Design Hydrology and Sedimentology for Small Catchments*. London, Academic Press, Inc., 1994, 588 p. ISBN 978-0123123404.
12. Sadenova, M.A., Beisekenov, N.A., Apshikur, B., ...Mamysheva, A.M., Klemeš, J.J. *Modelling of Alfalfa Yield Forecasting Based on Earth Remote Sensing (ERS) Data and Remote Sensing Methods* *Chemical Engineering Transaction* this link is disabled, 2022, 94, pp. 697–702.
13. Toguzova, M.M., Rakhymberdina, M.Ye., Kulenova, N.A., ...Apshikur, B., Beisekenov, N.A. *Analysis of Process Modeling in Modern Software Program to Support Smart Agriculture* *Chemical Engineering Transaction* this link is disabled, 2022, 94, pp. 871–876.
14. Kuldeep, Garg, P. K., & Garg, R. D. (2016) *Geospatial techniques for flood inundation mapping*. 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). pp. 4387–4390.
15. Saveliev, A., Zhileykin, M., Mikhailovskaya, V., ...Kustarev, G., Grib, V. *Increasing the reliability of the autograder metal construction by modeling and re-assembling of the working equipment*. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*, 2019, 6 (438), pp. 276–286.
16. Sherov, K.T., Mardonov, B.T., Buzauova, T.M., Kurmangaliyev, T.B., Elemes, D.E. *The research of micro-hardness of side surfaces of teeth cylindrical wheels processed by shaver-rolling device*, *Journal of Theoretical and Applied Mechanics (Bulgaria)* this link is disabled, 2020, 50 (1), pp. 50–56.
17. Hazarika, N., Barman, D., Das, A. K., Sarma, A. K., & Borah, S. B. (2016). *Assessing and mapping flood hazard, vulnerability and risk in the upper Brahmaputra River valley using stakeholders' knowledge and multicriteria evaluation (MCE)*. *Journal of Flood Risk Management*, 11, S700–S716. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12237>
18. Huan, H., Wang, J., & Teng, Y. (2012). *Assessment and validation of groundwater vulnerability to nitrate based on a modified DRASTIC model: A case study in Jilin City of Northeast China*. *Science of the Total Environment*, 440, pp. 14–23. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.08.037>
19. Kazakis, N., Kougiyas, I., & Patsialis, T. (2015). *Assessment of flood hazard areas at a regional scale using an index-based approach and analytical hierarchy process: Application in Rhodope-Evros region, Greece*. *Science of the Total Environment*, 538, pp. 555–563. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.055>
20. Lee, A. H. I., Chen, W.-C., & Chang, C.-J. (2008). *A fuzzy AHP and BSC approach for evaluating performance of IT department in the manufacturing industry in Taiwan*. *Expert Systems with Applications*, 34, pp. 96–107. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2006.08.022>
21. Li, G. F., Xiang, X. Y., Tong, Y. Y., & Wang, H. M. (2013). *Impact assessment of urbanization on flood risk in the Yangtze River Delta*. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 27(7), 1683-1693.