

А.А. Асылбекова* , **Ж.К. Мукалиев** , **Н.Е. Жеңісова** 

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан, Алматы қ.

*e-mail: aizhan.asylbekova@kaznu.edu.kz

ГАЗ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП, ТОПЫРАҚ ЭРОЗИЯСЫН БАҒАЛАУ ТӘСІЛДЕРІН ЖЕТІЛДІРУ

Қазақстан билігі елдің мұнай-газ «молшылығын» қаншалықты жарнамаласа да, ол аграрлық ел болған және болып қала береді, демек, оның басты ресурсы – жер. Өкінішке орай, қазіргі уақытта агротехниканың бұзылуына, топырақтың су режимінің сақталмауына, рекультивация жүргізуге қаражаттың жетіспеуіне немесе болмауына, егіншілік мәдениетінің төмендігіне, ауыл шаруашылығы білімдерінің әлсіздігінен және табиғи факторлар әсерінен еліміздің үштен екі аумағында топырақ эрозиясы белең алған. Топырақ – бұл әлемдік азық-түлік өндірісінде маңызды рөл атқаратын таусылмайтын табиғи ресурс. Бағалау бойынша, 2.6 миллиард адамдар топырақтың тозуынан және шөлейттенуден зардап шегеді екен, бұл дегеніміз жер бетінің 33%-дан астамына әсер ететін жүзден астам елдер. Егер жаңа тәсілдер енгізілмесе, халықтың жан басына шаққандағы егістік және құнарлы жерлердің жалпы алаңы 2050 жылы 1960 жылғы деңгейдің тек төрттен бірін ғана құрайтын болады.

Мақалада географиялық ақпараттық жүйе (ГАЗ), жерді қашықтықтан зондтау (ЖҚЗ) және спектрлік индекстерді (СИ) пайдалана отырып, Семей сынақ полигоны территориясының топырақ эрозиясына бейімділігін бағалауға бағытталған.

Жүргізілген зерттеулер барысында аталған әдістері негізінде зерттелу аумағының СИ карталарын, зерттелген математикалық модельдерді ГАЗ технологиялармен мен ЖҚЗ ұштастыра отырып топырақ эрозиясын бағалау картасы жасалды және топырақ эрозиясын бағалау моделін ұсынып отырмыз.

Түйін сөздер: ГАЗ, RUSLE, ССП, ЖҚЗ, спектрлік индекстер, топырақ, эрозиясы, деградациясы.

A.A. Assylbekova*, Zh.K. Mukaliyev, N.Y. Zhengissova

Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan, Almaty

*e-mail: aizhan.asylbekova@kaznu.edu.kz

Improving approaches to assessing soil erosion using GIS technologies

Regardless of how much the Kazakhstan authorities advertise the country's oil and gas "abundance", it was and remains an agrarian country, and thus its main resource is land. Unfortunately, nowadays because of violation of agricultural technology, non-observance of water regime, lack of funds for land reclamation, low culture of farming, weak agricultural education and influence of natural factors, soil erosion is aggravated on two thirds of the territory of the country. Soil is an inexhaustible natural resource that plays an important role in global food production. It is estimated that 2.6 billion people suffer from soil degradation and desertification this means that over one hundred countries suffer from over 33% of the Earth's surface. Unless new approaches are implemented, the total arable and fertile land per capita in 2050 will be only a quarter of what it was in 1960.

The article aims to assess the soil erosion propensity of the Semey test site territory using Geographic Information System (GIS), Earth Remote Sensing (ERS), and Spectral Indices (SI).

In the course of these studies, the SI maps of the study area, soil erosion assessment maps combined with GIS-technology and remote sensing of the studied mathematical models and proposed a model for assessing soil erosion were developed on the basis of these methods.

Key words: GIS, RUSLE, SIP, ERS, spectral index, soil, erosion, degradation.

A.A. Асылбекова*, Ж.К. Мукалиев, Н.Е. Жеңісова

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы

*e-mail: aizhan.asylbekova@kaznu.edu.kz

Совершенствование подходов оценки эрозии почв с использованием ГИС технологий

Как бы ни афишировали казахстанские власти нефтегазовое «изобилие» страны, она была и остается аграрной страной, а значит, ее главный ресурс – земля. К сожалению, в настоящее время из-за нарушения агротехники, несоблюдения водного режима почв, нехватки или

отсутствия средств на проведение рекультивации, низкой культуры земледелия, слабого сельскохозяйственного образования и воздействия природных факторов эрозия почв обострилась на двух третях территории страны. Почва – это неисчерпаемый природный ресурс, который играет важную роль в мировом производстве продуктов питания. По оценкам, 2,6 миллиарда людей страдают от деградации почвы и опустынивания, это означает, что более ста стран страдают от более чем 33% поверхности Земли. Если не будут внедрены новые подходы, общая площадь пахотных и плодородных земель на душу населения в 2050 году составит лишь четверть от уровня 1960 года.

Статья направлена на оценку склонности территории Семипалатинского испытательного полигона к эрозии почв с использованием географической информационной системы (ГИС), дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и спектральных индексов (СИ).

В ходе проведенных исследований на основе данных методов разработаны карты СИ исследуемой территории, карты оценки эрозии почв в сочетании с ГИС-технологиями и ДЗЗ изученных математических моделей и предложена модель оценки эрозии почв.

Ключевые слова: ГИС, RUSLE, СИП, ДЗЗ, спектральный индекс, почва, эрозия, деградация.

Кіріспе

Қазіргі уақытта аэроғарыштық түсірілімді дешифрлеуге негізделген жерді қашықтықтан зондтау (ЖҚЗ) әдістерін белсенді енгізуге байланысты зерттелетін аумақ бойынша елеулі аумақтарды мониторингпен қамтуға, шағын эрозиялық нысандарды анықтауға, эрозиялық процестердің динамикасын бағалауға және топырақ жамылғысының қазіргі жай-күйі туралы объективті түсінік алуға мүмкіндік туындап отыр. Сол себепті және де қазіргі еліміздегі пандемияға байланысты зерттеу аумағындағы жүргізілген далалық жұмыстармен бірге ЖҚЗ әдістерін ұштастыруға негіз болып отыр. ССІП топырақ эрозиясы процестері және қазіргі таңдағы құнды егістік жерлердің жоғалуы аймақтың маңызды экологиялық проблемаларының бірі болып табылады.

Зерттеу барысында эрозияны бағалау үшін қолданылатын математикалық модельдерінің көптеген түрі анықталды. Алайда топырақ эрозиясының математикалық модельдерінің жалпы қабылданған жіктемесі жоқ. А.А. Светличныйдың пікірінше бұл зерттеуді жоспарлауды қиындатады және қолданбалы есептерді шешуде тиісті үлгіні таңдауда қиындықтар туғызатындығы туралы ойын айтып өткен.

Жүргізілген талдау барысында мынадай тұжырымдама анықталды. Жалпы жағдайда топырақ эрозиясын бағалаудың математикалық модельдерін екі топқа бөліп қарастыруға болады.

Бірінші топқа эксперименттік мәліметтерді жалпылау негізінде алынған эмпирикалық теңдеулерді қолдануға негізделген модельдер кіреді. Бұл модельдердің ерекшелігі – олар ағын процесінің сипаттамаларын қамтымайды, модельдер процестің тұрақтылығы, олардың кеңістіктік және уақытша жалпылануының

жоғары дәрежесі туралы болжамға негізделген. Бұл 0 өлшемді модельдер, олар орташа көпжылдық деректерді пайдалану кезінде көлбеу немесе басқа аумақтық бірлік үшін топырақтың шайылу мөлшерін бағалауға мүмкіндік береді. Сондықтан, осы топтың модельдері ақпараттық толықтыруларды қатты қажет етпейді және іс жүзінде кеңінен қолданылады. Бұл топ модельдерінің ең танымал, классикалық өкілі – америкалық ғалымдар әзірлеген Вишмейер-Смит топырағының әмбебап жоғалту теңдеуі (Universal Soil Loss Equation, USLE). Топырақ эрозиясының әмбебап теңдеуі одан әрі жетілдіріліп, RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) деп аталатын модельге айналды.

Екінші топтың математикалық модельдері физиканың іргелі заңдары негізінде жеке модельделген эрозия процестерін сипаттауға негізделген. Осы класс модельдеріндегі зат пен энергияның сақталу заңы су мен шөгінділердің үздіксіздігі теңдеулері түрінде және дифференциалды түрдегі қозғалыс мөлшерін сақтау түрінде ұсынылған. Модельдердің басты артықшылығы – мүмкін жағдайлардың кең ауқымы үшін теңдеулердің түрі, оларды қолданудың математикалық әдістері өзгеріссіз қалады. Осы топтың модельдері бір өлшемді (1D) немесе екі өлшемді (2D) болып табылады, жеке оқиға – нөсер немесе қардың еруі нәтижесінде эрозиялық процестерді сипаттайды. Сондықтан бұл модельдерді қолдану бастапқы ақпараттың саны мен сапасына, сондай-ақ компьютерлердің есептеу ресурстарына қойылатын талаптардың жоғарылығымен шектеледі. Соңғы уақытта еріген топырақ үшін топырақ бөлшектерінің бөлінуінің физикалық негізделген теңдеуі ұсынылды, сонымен қатар топырақтың эрозиялық шайылуын бағалаудың математикалық модельдерін әзірлеу және оларды

ГАЗ-технологиялардың көмегімен практикалық іске асыру бойынша ғылыми жұмыстар белсенді жүргізілуде. Топырақ эрозиясын нормалау туралы мәселе, ірі су жинау аумақтарынан топырақ массасының шаюын шектеу бойынша критерийлерді іздеу өзекті мәселе болып табылады.

Топырақ эрозиясы табиғи процесс және гидрологиялық циклмен байланысты қалыпты геологиялық құбылыс. Топырақ судың әсерінен жойылып, оның ыдырауына әкелетін біртіндеп жүретін процесс. Топырақтың су жинау тораптарындағы эрозиясы және кейіннен өзендерде, көлдерде және су қоймаларында шөгу сияқты екі себеп бойынша үлкен алаңдаушылық тудырады. Біріншіден, су жиналатын жерлерде құнарлы және құнарлы топырақ эрозияға ұшырайды. Екіншіден, су қоймасының сыйымдылығының төмендеуі, сондай-ақ төменгі ағындағы су сапасының нашарлауы байқалады. Топырақтың жоғалуы – топырақ эрозиясының нәтижесі. Бұл өз кезегінде топырақтың құнарлылығын төмендетіп, ауыл шаруашылығы дақылдарының өнімділігін төмендетеді. Топырақ эрозиясын толығымен тоқтату мүмкін емес, бірақ оны азайтуға болады. Топырақ эрозиясын модельдеуге және эрозия қаупін бағалай отырып, ГАЗ технологиясын топырақ эрозиясын зерттеуге көмек ретінде пайдаланудың артықшылығын ескере отырып осы әдістерді қарастыратын боламыз.

Соңғы онжылдықта үлкен аумақтардағы топырақ эрозиясын сипаттау үшін қашықтықтан зерделеу технологиялары мен ГАЗ технологияларын қолдану арқылы көптеген ғылыми зерттеулер жүргізілді (Haboudane D, Bonn F, Royer A., 2007: 383). Бұл жұмыстар осы әдістердің қолайлы құнымен және дәлдігімен топырақ түрлері, литологиялық бірлік және өсімдік жамылғысы сияқты эрозияға ұшыраған аумақтар туралы өте жақсы ақпарат беретіні дәлелденді.

Басқа зерттеулер топырақтың шағылыстыру қабілетіне негізделген спектрлік индекстерін қолдануда, мысалы, пішін индексі (FI), түс индексі (CI), жарықтық индексі (BI) және өсімдіктердің нормаланған айырмашылығы индексі (NDVI) арқылы топырақтың жоғалу мөлшерін анықтауға болады (Jazouli A., Barakat A., Ghafri A., Moutaki S., Ettaqy A., Khellouk R., 2017: 284) деген сияқты.

Бұл зерттеуде Семей сынақ полигонының топырақ эрозиясын бағалау және топырақ эрозиясына бейім аумақтардың кеңістікте таралуын бағалау үшін ГАЗ әдістерімен біріктірілген ЖҚЗ және СИ модельдері пайдаланылды.

Зерттеу нысаны

Семей ядролық сынақ полигоны (СЯСП), немесе оны сынақтар кезінде КСРО Қарулы Күштері Министрлігінің №2 оқу полигоны деп атаған. Егер Қазақстанның заманауи картасына қарайтын болсақ, полигон Шығыс Қазақстан, Павлодар және Қарағанды облыстарының аумағын ішінара алып жатыр. Полигон аумағы 18500 км² құрайды. Зардап шеккен аумақтардың жалпы ауданы – 304 000 шаршы км құрады.

СЯСП-дағы жарылыстардың салдарынан (бұл Семей полигонының ресми аббревиатурасы) полигонның өзінен 16,5 есе көп жер ластанған. 304 мың шаршы шақырым дегеніміз – бұл Польша аумағынан сәл аз және Италия аумағынан сәл үлкен. Сынақ аумағында 1949 – 1989 жылдар аралығында 470-тей қуаты әртүрлі ядролық жарылыстар жасалды. Әуеде – 90, жер үстінде – 26, жер астында – 26, олардың 90%-ы әскери мақсатта болған. Полигонда бейбіт мақсатта жерасты ядролық жарылыстар да жүргізілді. Оларды жасанды су қоймаларын, каналдарды құру, пайдалы қазбаларды іздеу кезінде жер қыртысын сейсмикалық зондтау, жер асты резервуарларын құру, жанатын газдар мен мұнай фонтандарының алауын сөндіру және т.б. мақсатында пайдалану технологиялары жасалды.

1991 жылдың 29 тамызында ССП жабылды, бірақ сынақ зардаптары күні бүгінге дейін әсерін беріп жатыр. Бұрынғы ССП аумағының көп бөлігін таяу жылдары жергілікті тұрғындарға ауыл шаруашылығы үшін пайдалануына беру жоспарланып отыр. Сондықтан топырақ эрозиясын түсіну және зерттеу маңызды мәселе.

Осындай сынақтардан кейін қазіргі таңдағы ең басты мәселе болып аумақтың тек радиоактивті ластану бағытында ғана зерттеулер жүргізбей, консервациялау бағдарламасы негізінде тұрғындарға қайтарылған жерлердің топырағының эрозиясын бағалау қажеттілігі анық.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Зерттеу барысында дәстүрлі салыстырмалы картографиялық, статистикалық әдістерімен бірге геоақпараттық картографиялау әдістері кеңінен қолданылды. Сонымен қатар жерді қашықтықтан зондлау (ЖҚЗ) мәліметтерін ГАЗ технологиялар арқылы дешифрлеу әдістемелері жан-жақты қолданыс тапты. Қазіргі уақытта топырақ эрозиясын бағалауға мүмкіндік беретін бірқатар модельдерді тауып оларды қарастырып шықтық. Оларды атап өтетін болсақ: AGNPS

(Agricultural Non-Point-Source Pollution Model); WEPP (Water erosion prediction project); USLE (Universal Soil Loss Equation); RUSLE (Revised Universal soil loss equation) және MUSLE (Modification universal soil loss equation) деген модельдер бар.

Мәліметтер көздері ретінде халықаралық азық-түлік және ауыл шаруашылығы ұйымының әлемдік топырақ картасын пайдаландық. Sentinel-1,2,3 орташа және төмен ажыратымдылықтағы спутниктерден материалдарды тегін қарау, талдау және жүктеу үшін: EOBrowser және Sentinel Playground порталдарын қолданып анализ жасадық. Sentinel Playground сізге Sentinel-2, Landsat-8 және MODIS-тен алынған суреттердің мозаикасын көруге және талдауға мүмкіндік береді. Ал Sentinel спутниктерінің ең соңғы суреттер топтамасын Copernicus Open Access Hub порталынан тегін табуға, қарауға және жүктеуге болады. Зерттеу барысында ГАЗ технологиялардың тек бір әдісін немесе моделін пайдалану арқылы ғана емес, бірнеше әдіс-тәсілдерді қосып ұштастыра отырып, аумақтың топырағы жан-жақты зерттелді.

Зерттелетін аумақтың топырақ эрозиясын бағалау үшін ЖҚЗ және спектрлік индекс (СИ) пайдаланылды. Біріншісі – топырақ эрозиясын бағалаудың заманауи, қарапайым және кеңінен қолданылатын тәсілі болып саналатын сандық үлгі болса, екіншісі – көп индексстерге негізделген сапалы тәсілі болып табылады.

ГАЗ көмегімен қашықтықтан зондтау және кеңістіктік модельдеуді, регрессиялық модельді және әдістерді қамтитын әртүрлі талдаулар топырақтың тұздылығын тікелей топырақтан және жанама өсімдіктерден картаға түсіру үшін қашықтықтан зондтау және географиялық ақпараттық жүйелерді анықтау үшін пайдаланылды.

Тұздылықты анықтау тұздылық көрсеткіштерін есептеу негізінде жүргізіледі. Тұзды топырақтар көп аймақтық ғарыштық суреттерден жақсы шешілген: құрғақ сортаңдар мен сортаң топырақтар жеңіл реңкке ие және спектрдің көк аймағындағы суреттерде жақсы көрінеді. Есептеулерді тексеру үшін сол немесе басқа спутникпен түсірілген күнге жақын тандалған аумақтың аумағында сортаңданған аумақтардың таралуы туралы бір жолғы ақпарат қажет (Цычуева Н.Ю., Малахов Д.В., 2016: 182).

Топырақтың тұздануы олардың тозуының жетекші факторларының бірі болғандықтан, ғарыштық суреттерде тұздану белгілерін анықтау және қашықтықтан зондтау деректерін

қолданумен тұздану дәрежесін анықтау мәселесіне көп көңіл бөлінеді. Бұл жоба үшін 1-теңдеу бойынша қалыпқа келтірілген тұздану айырым индексі таңдалды:

$$NDSI = ((B3-B6) / (B3+B6)) \quad (1)$$

Мұндағы B3, B6 – сәйкесінше қызыл және Landsat инфрақызыл арналары. Индекс -1-ден +1-ге дейінгі мәндер ауқымын береді. Бұл диапазонда қатты тұздалған учаскелер -0,11-ден 0-ге дейінгі мәндерге сәйкес келеді (Цычуева Н.Ю., Малахов Д.В., 2016: 182).

Спектрлік көрсеткіш тәсілін талқылайтын болсақ, мұнда құрғақ жерлерде топырақтың түсі мен минералдануының өзгеруі және өсімдіктердің құрылымы мен кеңістікте таралуының өзгеруі табиғи ортадағы өзгерістер мен деградацияның көрсеткіштері болып табылады (Joshua M., Frank T., 2008: 221). Осы себепті ССП топырақ эрозиясының күйін көрсету үшін пішін индексі (FI), түс индексі (CI), жарықтық индексі (BI) және өсімдік жамылғысының қалыпты айырмашылығы индексі (NDVI) сияқты топырақтың шағылыстыру қабілетіне негізделген спектрлік көрсеткіштер пайдаланылды.

Пішін индексі (FI). FI индексін есептеу кезінде топырақ олардың спектрлік шағылу дәрежесімен сипатталады. Шағылудың бұл өзгермелілігі темір оксидтері мен органикалық заттардың сіңіру жолақтарының болуымен немесе болмауымен байланысты. Осылайша, шағылыстырудың төмен деңгейі топырақтың деградациясының төмен деңгейімен байланысты. 2-теңдеу FI негізінде топырақ түрлерін және олардың деградация деңгейін сипаттау үшін қолданылады:

$$FI = \text{Float}((2 \times B4) - B3 - B2) / \text{Float}(B3 - B2). \quad (2)$$

Түс индексі (CI). CI индексін 1994 жылы Эскадафол әзірлеген, мұнда CI эквалайзер арқылы көрсетілген қызыл және көк жолақтардың нормаланған қатынасына сәйкес келеді. Түс топырақтың жағдайын сипаттайтын маңызды параметр болғандықтан, топырақтың спектрлік сипаттамасы оның құрамы мен ылғалдылығына байланысты. Құрамында органикалық заттары аз бұзылған топырақтар таза және жарқын болады, сондықтан төмен CI мәндерін көрсетеді, ал деградациясы шектеулі дамыған топырақтар жоғары CI мәндеріне ие (Escadafal R, Belghit A, Ben-Moussa A., 2009: 253). 3-теңдеу негізінде CI мәні есептеледі:

$$CI = \text{Float} (B4 - B2) / B2. \quad (3)$$

Жарықтық индексі (BI). BI өсімдіктерді жалаңаш топырақтан ажыратады. Топырақ құрғақ және таза болса (кремний құм, әктас түйіндері, гипс қыртысы және т.б.), BI есептеуде жақсы мән береді. Сондықтан ол топырақтың деградация күйінің көрсеткіші ретінде кеңінен қолданылады. Осылайша, төмен BI өсімдік жамылғысына байланысты, ал жоғары BI құнарсыз жерлерге байланысты. BI 4-теңдеу бойынша анықталады:

$$BI = \text{SQRT} (R^2 + G^2 + B^2), \quad (4)$$

мұндағы R – қызыл, G – жасыл, ал NIR – жақын инфрақызыл кескіндер.

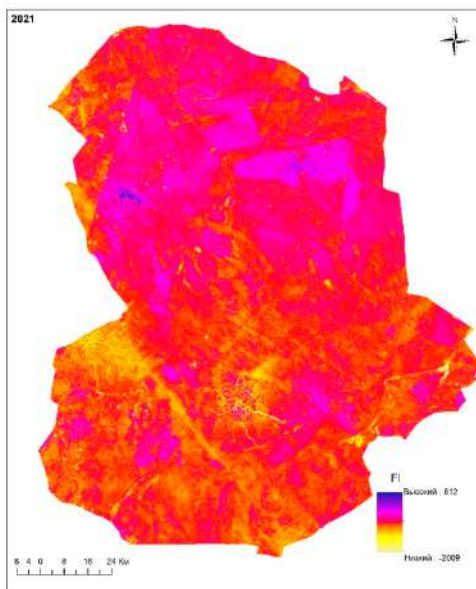
Өсімдік жамылғысының нормаланған айырмашылық индексі. NDVI жер үсті топырақтарының сипаттамаларын болжау үшін кеңінен қолданылатын индекстердің біріне айналды және топырақтың деградациясын бағалауда кеңінен қолданылады. Топырақтың жоғалу жылдамдығы өсімдік жамылғысы азайған сайын артады, себебі өсімдік жамылғысы су ағынын азайтып, судың сіңуін жоғарылату арқылы топырақты эрозиядан сақтайды (Jazouli A., Barakat A., Ghafri A., Moutaki S., Ettaqy A., Khellouk R., 2017: 284).

NDVI қызыл және жақын инфрақызыл (NIR) мәндерінен келесі 5-теңдеу арқылы анықталады:

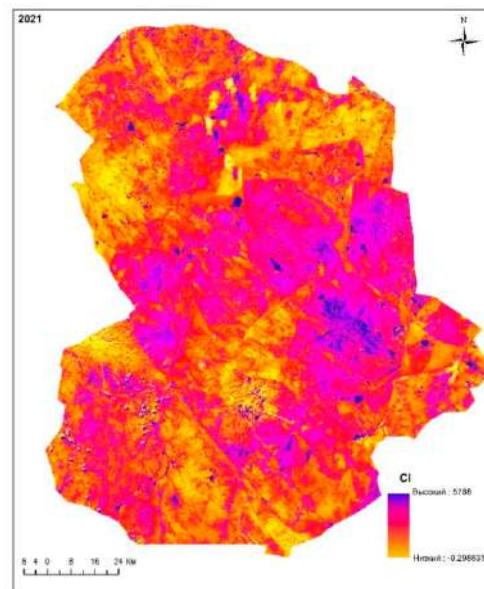
$$\text{NDVI} = \text{Float} (B5 - B4) / \text{Float} (B5 + B4) \quad (5)$$

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылаулар

FI спектрлік индекс көптеген зерттеулерде жер деградациясының әр түрлі деңгейлерін көрсету үшін, әсіресе құрғақ және жартылай құрғақ аймақтарда қолданылған (Jazouli A., Barakat A., Ghafri A., Moutaki S., Ettaqy A., Khellouk R., 2017: 284). Сондықтан ССП аймағы үшін пішін индексі таңдалды. Жұмыс барысында Landsat-8 ғарыштық суреттері 01.04.2021 мен 31.07.2021 аралығында алынды. ArcMap 10.4 бағдарламасында 1-формула бойынша «Map Algebra» құралының көмегімен FI мәні есептелді (1-сурет). FI мәні ең жоғарғы көрсеткіш аймақтың солтүстік, солтүстік-батыс, солтүстік-шығыста және оңтүстік-шығыста шоғырланғанын байқауға болады. Бұл аймақтарда «Тәжірибелік алаң», «4», «4а» атты сынақ алаңдары орналасқан. Сонымен қатар, оңтүстік жағында «Телькем» сынақ алаң аумағында жоғарғы деңгейді көрсетіп отыр.



1-сурет – ССП СИ (FI) картасы



2-сурет – ССП СИ (CI) картасы

CI спектрлік индекс бойынша ССП жобалық картасы 2-суретте көрсетілген. Картада көрсетілгендей жоғары CI мәндерін көрсететін орындар деградацияның таралмай-

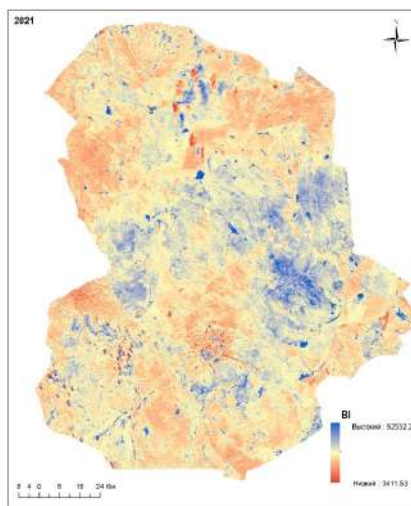
тынын білдіреді. Керісінше, төмен CI мәні бұл тораптардың деградациясының кең таралғанын білдіреді. Себебі, деградация орын алатын жерлерде жоғарыда сипатталғандай, органикалық

заттар таза және ашық түстермен бейнеленген. Ал органикалық заттар қарашірік, керісінше, қара немесе қою түспен белгіленеді.

Сондай-ақ NDSI тұздылық картасында ССП топырақтың тұздануы оңтүстікте, солтүстік-шығыста, орталықта және оңтүстік-шығыста көбірек байқалады (5-сурет). Яғни, топырақтың тұздану мөлшері мен бұзылу дәрежесі бір жерлерде болатынын көреміз. Деградацияның ең көп саны – 0,29883, тәжірибелік алқаптарда,

яғни Дегелең сынақ алаңында және батыста жиі кездеседі. Ал ең аз мөлшерде деградация Балапан учаскесінде және шығыста кең таралған.

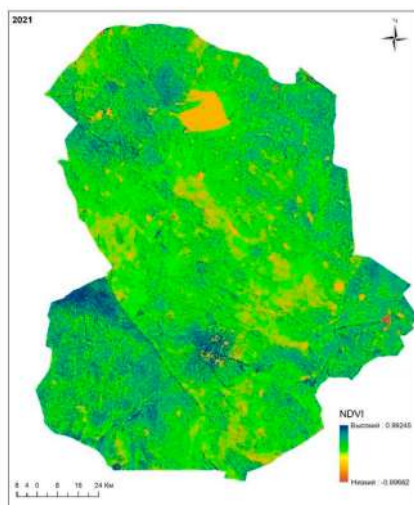
VI индексі бойынша VI мәні төмен ССП учаскелері өсімдік жамылғысында жатқаны көрсетілген (3-сурет). Ал жоғары VI мәндері – бұл мән көрсетілген нашар жерлер. Яғни, өсімдік жамылғысы ең жоғары жер солтүстік, солтүстік-батыс. Ал нашар жерлер «Балапан», «Сары – Өзен» және шығыста кең таралғанын байқауға болады.



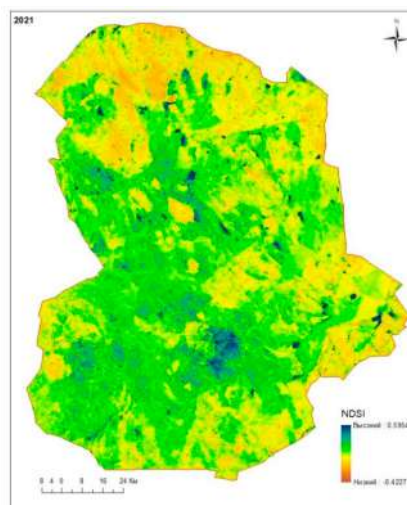
3-сурет – ССП СИ (VI) картасы

NDVI-ді ең танымал қолданылуы өсімдік жамылғысы дамуын бағалау болып табылады. NDVI картасын пайдалана отырып, зерттелінетін аумақтағы мәндердің қай жерде өте төмен екенін және олар орташадан жоғары болатынын

бағалауға болады. Вегетация кезеңінде өсімдіктер неғұрлым жақсы дамыған болса, NDVI мәні соғұрлым жоғары болады. Осылайша, NDVI – бұл вегетация кезеңінде өсімдіктердің жасыл массасының дамуын бағалауға болатын индекс.



4-сурет – Өсімдік жамылғысының нормаланған айырмашылық индексі



5-сурет – Тұзданудың нормаланған айырмашылық индексі

4-суретте көрсетілгендей, өсімдік жамылғысы төмен аймақтарда (солтүстік, оңтүстік және орталық) топырақтың жоғалу жылдамдығы арта түсетіні белгілі. Индекс 1973 жылы Техас А&М Университетінің бір топ ғалымдары инфрақызыл жарықтың қызылға қатынасын ғана емес, олардың айырмашылығының қосындыға қатынасын қарастыра бастаған. Бұл индекстің барлық мәндерін -1-ден 1-ге дейін, яғни бір-бірімен оңай салыстыру үшін “қалыпқа келтіруге” мүмкіндік берді. NDVI мәндері -1-ден 0-ге дейін – бұл жансыз табиғат пен инфрақұрылым объектілері – қар, су, құм, тастар, үйлер, жолдар және т.б. өсімдіктер үшін мәндер 0-ден 1-ге дейін.

NDSI – көрінетін (жасыл) және қысқа толқынды инфрақызыл (SWIR) арасындағы шағылысу айырмашылығының салыстырмалы шамасының өлшемі. Ол екі жолақтың дисперсиясын басқарады (біреуі спектрдің жақын инфрақызыл немесе қысқа толқындық инфрақызыл аймағында, ал екіншісі спектрдің көрінетін бөліктерінде).

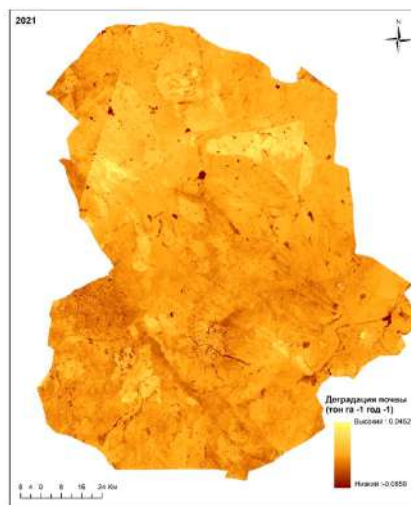
NDSI « $NDVI = (b3 - b2) / (b3 + b2)$ » индексі бойынша 5-суретте көрсетілгендей, Семей сынақ полигонында топырақтың тұздануы оңтүстікте, солтүстік-шығыста, орталықта және оңтүстік-шығыста көбірек байқалады. Тұзданудың ең көп мөлшері 0,59546 – “Опытное поле”, “Дегелен” және “Балапан” алаңдарында таралған.

1-кесте – Топырақтың жоғалу мөлшері

топырақтың жоғалуы (т га ⁻¹ жыл ⁻¹)	қарқындылық	ауданы (га)	аудан (%)
0 - 2	өте әлсіз	1036,754	0.05
2 - 5	әлсіз	1036,753	0.05
5 - 15	орташа	259,1883	0.01
>15	күшті	129,5941	0.007

Семей полигонының эрозия қаупін бағалау «ArcGIS Spatial Analyst» көмегімен бес факторлы карталарды қолдану арқылы жүргізілді. Құрылған картадағы топырақ эрозиясының қарқындылығының мәндері топырақтың табиғи үзілістерін (Дженке) жіктеу әдісі бойынша эрозияның төрт түріне, яғни өте әлсіз, әлсіз (2-5), орташа (5-15) және күшті (>15) деп жіктелген. Зерттеулерге сәйкес СИП орташа жылдық топырақ шығыны 0,356 т га⁻¹ жыл⁻¹ (1-кесте) құрап отыр.

Зерттеу барысында құрастырылған топырақ жоғалу мөлшерінің кестесінде көрсетілгендей, мұнда біз топырақ жоғалуы, қарқындылығын, ауданы (га) және ауданына (%) деген көрсеткіштерді алып отырмыз. Егер қарқындылық көрсеткіші бойынша ауданды (га) талдап көретін болсақ, мұнда өте әлсіз қарқындылық 1036,754 га ауданда таралған болса, ал күшті қарқындылық көрсеткіші бойынша 129,5941 га ауданда, бұл дегеніміз 0,007 % құрап отыр.



6-сурет – ССП топырақ деградация картасы

Қолданылған әдістер мен нәтижелерін біріктіре отырып ГАЗ технологиялар арқылы талдау негізінде ССП топырақ деградация картасы құрастырылды (6-сурет). Картада жоғарғы мән 0,0452, керісінше ең төменгі мән -0,0859-ға тең болды.

СИ әдіс негізінде ССП топырақтың деградация картасының нәтижесінде деградация дәрежесі бойынша спектр пішінін сипаттайтын индекстердің үлкен вариациясын көрсетіп отыр. Сондықтан олар топырақ бетіне әсер ететін өзгерістердің мәнерлі көрсеткіштерін білдіреді. Олардың ғарыштық түсірілім деректерінде қолданылуы жалпы қоршаған ортаның жағдайын және атап айтқанда, топырақтың деградация деңгейін картаға түсіруге көмектесті. Шын мәнінде, бұл айнымалыларды біріктіріп пайдалану әртүрлі топырақ жағдайларын жақсырақ саралауға мүмкіндік берді, содан кейін топырақ алып жатқан бірліктердің беткі жағдайлары ерекше түстермен анықталды. Нәтижелерді талдау күшті және орташа дәрежелер айтарлықтай анық нақтыланғанын көруге мүмкіндік берді.

Қорытынды

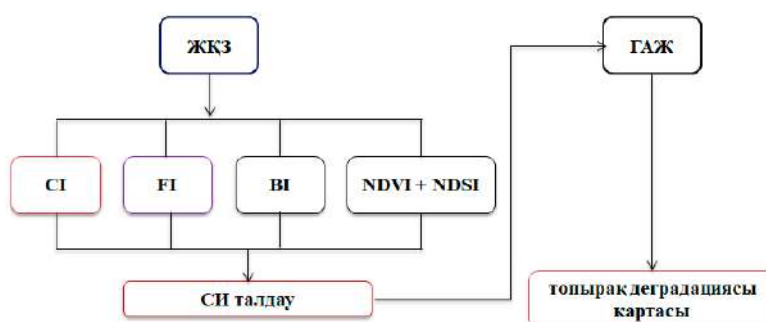
Жұмысты қорытындылай келе, жүргізілген далалық зерттеулер және де СИ көрсеткіштерді біріктіру арқылы, сонымен қатар ЖҚЗ мәліметтерін ГАЗ технологиялар негіздерін ұштастыра отырып аймақтағы топырақ деградациясы картасын құрастыруға мүмкіндік берді. Күшті деградацияға ұшыраған жерлер зерт-

телетін тәжірибелік алаңдарда орналаспағандығын көрсетті. Керісінше, деградацияға ұшырамаған жерлер тәжірибе алаңдардың көп бөлігінде орналасқандығын байқадық. Олар құнарлылығымен және топырақ байлығымен ерекшеленеді және радиоактивті ластанудан қорғалады.

ССП топырақ эрозиясы бойынша мәселелер бар екендігі зерттеулер барысында айқын белгілі болды. Бұл зерттеу ГАЗ технологиясы, ЖҚЗ және спектрлік индекс көрсеткіш әдістерін пайдалана отырып, ССП-ғы топырақ эрозиясын бағалау үшін жүргізілді.

Зерттеу барысында ГАЗ технологиясын, ЖҚЗ және СИ әдістерін қолдану арқылы аймақтың топырақ эрозиясын бағалау нәтижесін көрсетуге болатынын анықтадық. Осы әдіс-тәсілдер бірін-бірі толықтырады және әрқайсысы ақпараттың өзіндік үлесін береді: СИ топырақтың деградациясының әртүрлі деңгейін көрсетті, ал ГАЗ технологиясы мен ЖҚЗ әдісі зерттелетін аумақтың топырақ эрозиясын дешифрлеу үшін сандық аргумент береді және бастапқы мәліметтер негізі ретінде өзіндік орынға ие болып отыр.

Жұмыс барысында аумақтың топырағын зерттеу барысында ССП аумағына тиесілі жерлердің ландшафттарға бейімделген егіншілік жүйесін құру үшін қажетті негізгі факторлардың түгелге дерлігін қарастырып өттік. Осыған байланысты ССП консервациялау бағдарламасы бойынша қайтарылған жерлер ЛБЕЖ құру үшін болашақта әрі егжей-тегжейлі талданатын болады.



7-сурет – Топырақ деградация моделі

Осылайша, біздің зерттеуімізде ГАЗ технологиялар негізінде топырақ эрозиясын бағалау модельдерінің тиімді әдісін ұсынып отырмыз (7-сурет). Бұл модельді құру барысында жоғарыда сипаттап өткен әдістер, мәліметтер мен

математикалық модельдер негіз болды. Ғылыми нәтиже еліміздің басқа аймақтарындағы осындай жұмыстар үшін әдіснамалық негіз ретінде пайдаланылуы мүмкін.

АЛҒЫС

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің қаржылық қолдауымен №АР09563013 «Семей сынақ полиго-

нында ландшафттарға бейімделген егіншілік жүйесін құру үшін ГАЗ технологияларын қолдана отырып, RUSLE моделі негізінде топырақ эрозиясын бағалау» гранттық жобасы аясында орындалды.

Әдебиеттер

- Дербенцева А.М. Эрозия и охрана почв (Механическая деградация почв). – Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 2008. – С. 85.
- Светличный А.А. Эрозиоведение: теоретические и прикладные аспекты: монография / А.А. Светличный, С.Г. Черный, Г.И. Швец. – Сумы: ИТД “Университетская книга”, 2007. – С. 376-410.
- Цычуева Н.Ю., Малахов Д.В. Методика детектирования орошаемых угодий с использованием спутниковых данных и ГИС / Водные ресурсы Центральной Азии и их использование: сб. науч. тр. – Алматы, 2016. – С. 182-189.
- Alexakis D.D., Hadjimitsis D.G., Agapiou A. Integrated use of remote sensing, GIS and precipitation data for the assessment of soil erosion rate in the catchment area of “Yialias” in Cyprus. *Atmos Res*, 2013. – P. 108-124.
- Biswas S. Estimation of soil erosion using remote sensing and GIS and prioritization of catchments. *Int J Emerg Technol Adv Eng*, 2012. – Pp. 124-128.
- Escadafal R., Belghit A., Ben-Moussa A. Indices spectraux pour la télédétection de la dégradation des milieux naturels en Tunisie aride. In: Guyot, G. éd. Actes du 6ème Symposium International sur les mesures physiques et signatures en télédétection, Val d’Isère, France, 2009. – P. 253-259.
- Haboudane D., Bonn F., Royer A. Evaluation and predictability of terrain susceptibility to hillslope erosion at the regional scale using DEM-derived indices and remotely sensed information. *Rev Télédétection*, 2007. – P. 373-391.
- Jazouli A., Barakat A., Ghafri A., Moutaki S., Ettaqy A., Khellouk R. Soil erosion modeled with USLE, GIS, and remote sensing: a case study of Ikkour watershed in Middle Atlas, Morocco, 2017. – P. 284-292.
- Joshua M., Frank T., Models for Planning Wildlife Conservation in Large Landscapes. Academic Press, USA, 2008. – P. 221-235.
- Kourgialas N.N., Koubouris G.C., Karatzas G.P., Metzidakis I. Assessing water erosion in Mediterranean tree crops using GIS techniques and field measurements: the effect of climate change. *Nat Hazards*, 2016. – P. 65-81.
- Levin N., Ben-Dor E., Singer A. A digital camera as a tool to measure colour indices and related properties of sandy soils in semi-arid environments. *Int J Remote Sens*, 2005. – P. 5475-5492.
- Panagos P., Borrelli P., Meusburger K., Yu B., Klik A., Lim K.J. Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records. *Catena*, 2017. – P. 12-24.
- Rahman MR., Shi ZH., Chongfa C. Soil erosion hazard evaluation-an integrated use of remote sensing, GIS and statistical approaches with biophysical parameters towards management strategies. *Ecol Model*, 2009. – P. 1724-1734.
- Wischmeier W.H., Smith D.D. Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning. *Agriculture handbook 537*. U.S. Department of Agriculture, Washington, 2008. – P. 62-67.
- Zhang K., Shu A., Xu X., Yang Q., Yu B. Soil erodibility and its estimation for agricultural soils in China. *J Arid Envir*, 2008. – P. 1002-1011.

References

- Derbenцева А.М. (2008) Эрозија и охрана почв (Механическаја деградација почв). Владивосток: Изд-во Дал’невост. ун-та, – P. 70-85.
- Svetlichnyj A. A. (2004) Эрозиоведение: теоретические и прикладные аспекты: монография/А. А. Светличный, С. Г. Черный, Г. И. Швец. - Сумы: ИТД “Университетская книга”, – P. 376-410.
- Cychueva N.YU., Malahov D.V. (2016) Metodika detektirovaniya oroshaemyh ugodij s ispol’zovaniem sputnikovyh dannyh i GIS/ N.YU. Cychueva, D.V. Malahov // Vodnye resursy Central’noj Azii i ih ispol’zovanie: sb. nauch. tr. - Almaty., – P. 182-189.
- Alexakis D.D., Hadjimitsis D.G., Agapiou A. (2013) Integrated use of remote sensing, GIS and precipitation data for the assessment of soil erosion rate in the catchment area of “Yialias” in Cyprus. *Atmos Res*. Pp: 108-124.
- Biswas S. (2012) Estimation of soil erosion using remote sensing and GIS and prioritization of catchments. *Int J Emerg Technol Adv Eng*. Pp: 124-128.
- Escadafal R., Belghit A., Ben-Moussa A. (2009) Indices spectraux pour la télédétection de la dégradation des milieux naturels en Tunisie aride. In: Guyot, G. éd. Actes du 6ème Symposium International sur les mesures physiques et signatures en télédétection, Val d’Isère (France). Pp: 253-259.
- Haboudane D., Bonn F., Royer A. (2007) Evaluation and predictability of terrain susceptibility to hillslope erosion at the regional scale using DEM-derived indices and remotely sensed information. *Rev Télédétection* Pp: 373-391.
- Jazouli A., Barakat A., Ghafri A., Moutaki S., Ettaqy A., Khellouk R. (2017) Soil erosion modeled with USLE, GIS, and remote sensing: a case study of Ikkour watershed in Middle Atlas, Morocco. Pp: 284-292.
- Joshua M., Frank T., Models for Planning Wildlife Conservation in Large Landscapes. Academic Press, USA, 2008. – P. 221-235.

Kourgialas N.N, Koubouris G.C, Karatzas G.P, Metzidakis I. (2016) Assessing water erosion in Mediterranean tree crops using GIS techniques and field measurements: the effect of climate change. *Nat Hazards*. Pp: 65-81.

Levin N., Ben-Dor E., Singer A. (2005) A digital camera as a tool to measure colour indices and related properties of sandy soils in semi-arid environments. *Int J Remote Sen*. Pp: 5475-5492.

Panagos P., Borrelli P., Meusburger K., Yu B., Klik A., Lim K.J. (2017) Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records. *Catena*. Pp: 12-24.

Rahman M.R., Shi Z.H., Chongfa C. (2009) Soil erosion hazard evaluation-an integrated use of remote sensing, GIS and statistical approaches with biophysical parameters towards management strategies. *Ecol Model*. Pp: 1724-1734.

Wischmeier W.H, Smith D.D. (2008) Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning. *Agriculture handbook* 537. U.S. Department of Agriculture, Washington. Pp: 62-67.

Zhang K., Shu A., Xu X., Yang Q., Yu B. (2008) Soil erodibility and its estimation for agricultural soils in China. *J Arid Envir*. Pp: 1002–1011.