

Н.С. Сиханова , **Е.А. Шынбергенов*** ,
Б.Т. Кенжалиева 

Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда, Қазақстан
*e-mail: shynbergenov.erlan@mail.ru

ЖЕЛ ЭРОЗИЯСЫН БОЛЖАУ МЕН БАҚЫЛАУДЫҢ ӘДІСТЕРІНЕ ШОЛУ

Мақалада топырақтың жел эрозиясын болжау мен бақылаудың қолданыстағы әдістері бағыты бойынша әлемдік ғылыми әдебиеттерге шолу жасалған. Әдебиеттерді талдау барысында басым көпшілігі шөлді және шөлейтті аймақтардағы жел эрозиясын кеңістік пен уақыт аралығында негіздеуге арналғандығы анықталды. Қазіргі таңда әлемде аталған мәселені зерттеудің келесі түрлері таралған: көзбен бағалау, микролиментарлық, фотограмметриялық, Cs^{137} және қашықтықтан бақылау арқылы үлгілеу әдісі. Әр әдістің қысқаша сипаттамасы, артықшылықтары мен кемшіліктері, сонымен қатар қолданудың шарттары мен шектеулері келтірілген. Белгілі бір әдісті таңдау барысында бақылау жүргізу шарттарын, көзделген аймақтың ауданы мен зерттеу жүргізу масштабын, уақыт шеңберін, қаржылай және еңбек қорын ескеру қажет. Қазақстан Республикасының жер көлемінің үлкендігін және жел эрозиясына бейім жерлердің едәуір мөлшерде екендігін ескеріп, өзекті, экономикалық тұрғыдан негізделген және келешегі бар әдіс ретінде қашықтықтан зондау ұсынылады. Белгіленген әдіс әртүрлі масштабта мониторинг жүргізуге, эрозиялық белсенділікті бағалап қоймай, оны болжауға мүмкіндік береді, осылайша жел эрозиясымен күресуге және салдарын жоюға, сонымен қатар алдын-алу шараларын ұйымдастыруға бағытталған дұрыс, жедел және дер кезіндегі шаруашылық-экономикалық шешімдерді қабылдауға ақпарат ұсынады. Аталған әдістің тиімділігін арттыру үшін деректер қорын жасап, топырақ туралы ақпаратты жинақтау және кеңейту қажет, ол жер серіктерінен алынған деректерді тексеруге, нақтылауға, өңдеуге және калибрлеуге мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: топырақ дефляциясы, жер серіктік мониторинг, топырақтың азуы, топырақты зерттеу әдістері.

N.S. Sihanova, Y.A. Shynbergenov*, B.T. Kenzhalieva
Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan
*e-mail: shynbergenov.erlan@mail.ru

Review of methods for prediction and control of wind erosion

The article presents a review of the world scientific literature in the area of existing methods for predicting and controlling soil erosion. The literature analysis carried out showed that the vast majority of publications are aimed at spatio-temporal justification of wind erosion in desert and semi-desert regions. Currently, the following types of studies of this problem are common in the world: visual assessment, microlevelling, photogrammetric, Cs^{137} and remote sensing modeling methods. A brief description of each method, advantages and disadvantages, as well as conditions and limitations of use are given. When choosing a particular method, it is necessary to take into account the monitoring conditions, the area of the territory under consideration and the scale of the study, time frame, financial and labor resources. Considering the significant area of the Republic of Kazakhstan and a significant number of places subject to wind erosion, remote sensing is recommended as a relevant, economically feasible and promising method. This method allows monitoring on various scales, not only assessing erosion activity, but also predicting it, thereby providing information for making correct, prompt and timely economic decisions aimed at combating wind erosion and eliminating the consequences, as well as organizing preventive events. To improve the effectiveness of this method, it is necessary to create a database, collect and expand information about the soil, which will allow checking, clarifying, processing and calibrating satellite data.

Keywords: soil deflation, RS monitoring, soil degradation, soil research methods.

Н.С. Сиханова, Е.А. Шынбергеннов*, Б.Т. Кенжалиева
Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан
*e-mail: shynbergenov.erlan@mail.ru

Обзор методов прогнозирования и контроля ветровой эрозии

В статье представлен обзор мировой научной литературы по направлению существующих методов прогнозирования и контроля эрозии почв. Проведенный литературный анализ показал, что подавляющее большинство публикации направлены пространственно-временному обоснованию ветровой эрозии в пустынных и полупустынных регионах. В настоящее время в мире распространены следующие виды исследований данной проблемы: визуальная оценка, микронивелирование, фотограмметрический, Cs^{137} и метод моделирования с помощью дистанционного зондирования. Дается краткое описание каждого метода, преимущества и недостатки, а также условия проведения мониторинга, площадь рассматриваемой территории и масштабы проведения исследования, временные рамки, финансовые и трудовые ресурсы. Учитывая существенную площадь Республики Казахстан и значительное количество мест, подверженных ветровой эрозии, в качестве актуального, экономически обоснованного и перспективного метода рекомендуется дистанционное зондирование. Указанный метод позволяет производить мониторинг в различных масштабах, не только оценивать эрозионную активность, но и прогнозировать ее, тем самым предоставляя информацию для принятия правильных, оперативных и своевременных хозяйственно-экономических решений, направленных на борьбу с ветровой эрозией и ликвидацию последствий, а также организацию профилактических мероприятий. Для повышения эффективности данного метода необходимо создать базу данных, собрать и расширить информацию о почве, что позволит проверять, уточнять, обрабатывать и калибровать данные со спутников.

Ключевые слова: дефляция почвы, спутниковый мониторинг, деградация почвы, методы почвенных исследований.

Кіріспе

Қазіргі таңда топырақ эрозиясы – уақытша су ағындарының беттік ағымы мен желдің әсерінен бір-бірімен байланысты топырақ бөлшектерінің жер бетінен үзіліп, тасымалданып, жиналу үдерісінің жиынтығы деп түсіндіріледі. Дефляция (жел эрозиясы) – борпылдақ топырақ бөлшектерінің желдің әсерімен негізгі субстраттан үзіліп, тасымалдануы (Ларионов, 1993). Топырақтың жел эрозиясы құбылысы қатты және газтәрізді ортаның (топырақ пен ауаның) шекарасында пайда болып, Жердің бетіндегі атмосфераның төменгі қабатында дамып, жер, су немесе топырақ бетінде аяқталады (Гендугов & Глазунов, 2007; Duniway et al. 2019). Аридті және семиаридті аймақтарда тұздардың сулы ерітінділерінің ағындары және атмосфераның беткі қабаты мен құмның, шаңның, тұздардың және аэрозолдің эолдық ағындары жиі кездеседі (Бельгибаев, 2016).

Топырақ эрозиясын, себебі мен салдарын, оны жою шараларын зерттеудің халық шаруашылық және ғылыми мәні зор. Топырақ эрозиясы – адам әрекеті нәтижесінде едәуір күшейетін және халық шаруашылығына алапат залал келтіретін үздіксіз үдеріс (Кузнецов & Глазунов, 2020).

Жел эрозиясының топыраққа әсер ету механизмі сан алуан. Атап айтқанда, топырақтың өнімді қабатының желмен үрленуі барысында жалпы өнімділіктің азаюы, топырақтың көшуі нәтижесінде егістік ауданының қысқаруы, сорлардың беті мен тау жыныстары үйіндісінен желмен үрленіп ұшып келген уытты тұздармен ауылшаруашылығы алқаптары топырақтарының зиянды заттармен ластануы, егіннің жапырақтары бетінің шаңмен ластануы барысында фотосинтездің төмендеуі. Мұнан бөлек, жел эрозиясы ауаның шаңмен қанығуының басты себепкері болып табылады, мәселенің ушыққандығы сонша топырақ шаңы атмосфераның төменгі қабатын түмшалап, планетаның жылулық теңгеріміне әсер ете алады (Гендугов & Глазунов, 2020, р. 387).

Жер серігінен түсірілген жоғары және өте жоғары дәлдіктегі суреттерді талдау барысында жел эрозиясының шекті көрінісі – шаңды дауылдар барлық топырақ-климаттық белдеулерде, тіпті арктикалықта да, пайда болатыны анықталды, әсіресе жиі, әрі тұрақты түрде Солтүстік жарты шардың шаңды белдеуі, Солтүстік Африканың батыс мүйісінен, Таяу және Орта Шығыс, Орталық және Оңтүстік Азия арқылы, Қытайға дейінгі аралықта кездеседі.

Шаңды (қара) дауылдар топырақтың беткі қабатын жылдам жойып, оны жүздеген ша-

қырым жерлерге үрлеп алып кетеді. Мәселен, алыс және жақын шетелдерде орын алған төтенше жағдайлардан 1930 жылдары Солтүстік Америкада орын алған орасан күшті шаңды дауыл салдарынан аймақта егістіктің едәуір бөлігіне залал келтіріліп, елдің әлеуметтік-экономикалық жағдайы ауыр жағдайға түсті. Сонымен қатар мұндай алапат масштабтағы құм мен шаң аралас желдер Қытайдың орталығындағы Хуанхэ және Янцзы өзендері алаптарындағы лесссті топырақты аймақтарда, Африканың солтүстігіндегі Сахара шөлінде жиі болып тұрады. Жалпы әлемде топырақ эрозиясын зерттеуге арналған ұлттық деңгейдегі бағдарламалар өте аз, олар АҚШ қорларды Ұлттық түгендеу және Қытай топырақ және су қорларын зерттеу Ұлттық бағдарламасы. Еліміздің және Кеңес үкіметі тұсында орын алған оқиғалардан, XX ғасырдың 50-ші жылдарында тың игеру барысында Қазақстан мен Ресейдің Алтай өлкесінің даласын аудара жырту технологиясы пайдаланылды (Ларионов, 1993, р. 200). Егінді егіп болғаннан кейін батыстан келген жойқын күшті жел өнімді топырақтың едәуір бөлігін алып кеткен. Қазақстан мен Алтай даласының шаңы Красноярск өлкесінен де табылды.

Әдеби шолу

Қазақстан Республикасында топырақтың жел эрозиясы 25.5 млн. га аумақта өрбиді (Almaganbetov & Grigoruk, 2008). Эолдық үдерістер үлкен кеңістікті қамтыған құмды аймақтарда жеделдетілген қарқынмен дамиды: Қызылорда облысындағы Арал маңы Қарақұмдары мен Қызылқұм, Түркістан және Жамбыл облыстарындағы Мойынқұм және Бетпақдала, Ақтөбе облысындағы Үлкен және Кіші Борсық құмдары, Жетісу және Алматы облыстарындағы Сарыесік-Атырауқұм, сонымен қатар механикалық құрамы жеңіл және әктасты топырақтар таралған Павлодар облысында байқалады (Saparov, 2014).

ҚР Ұлттық Атласы деректеріне сәйкес, еліміздің орталық, оңтүстік-шығыс, оңтүстік, оңтүстік-батыс аймақтарындағы Ұлытау, Қарағанды, Алматы, Жетісу, Жамбыл, Түркістан, Қызылорда, Ақтөбе, Батыс Қазақстан, Атырау, Маңғыстау облыстарының топырағы жел эрозиясына бейім, орталықта орналасқан Ақмола облысында су және жел эрозиясы бірдей таралған жерлер кездеседі.

Сондықтан республиканың эрозияланған топырақтарын мониторинг жүргізу жалпы мемлекеттік деңгейдегі маңызды және шұғыл сұрақ болып табылады. Ғылыми тұрғыдан алып қарағанда желдің егістік алқаптардағы масса тасымалдау үдерісі қазіргі таңға дейін тым нашар дамыған. Бұл құбылыстың географиясы жалпы түрде анықталған, дегенмен, химиялық заттардың микробөлшектермен егіс даласынан тасымалдануы мен оның бөлшектердің шөгу аймағындағы топырақ өнімділігіне әсері және экологиялық жағдайы тәжірибе жүзінде зерттелмеген (Научные основы..., 2013).

Соңғы жылдары жел эрозиясын зерттеу бағытында жаңа техникалық мүмкіндіктер пайда болуда. Мәселен, топырақты өңдеу барысында немесе эрозия нәтижесінде ауаға көтерілген шаңды тіркеу және қадағалау кезінде лидарлар, күн фотометрлері, фотондар есептегіші; топырақтың желмен жер бетіне жақын қабатпен тасымалдануын зерделеуде – өзіндік есептеу жиілігі жоғары пьезо- және мембраналық есептегіштер, изокинетикалық шаңтұтқыштар; жел эрозиясын физикалық үлгілеуде – жетілдірілген далалық және зертханалық аэродинамикалық қондырғылар қолданылады (Кузнецов & Глазун, 2020). Жел эрозиясын зерттеудің эксперименталды әдістерінің дамуымен бірге аэроғарыштық түсірілімге негізделген қашықтықтан зондылау жүйелері де жетілдірілуде, нәтижесінде топырақтың жел эрозиясы құбылысын үрлеуден бастап жинақталу кезеңіне дейін түгелімен талдауға мүмкіндік беретін мол эксперименталды материал жинақтауға мүмкіндік туындады.

Әдіснама

Зерттеуді жүргізу барысында еліміз бен алыс және жақын шетелде топырақ эрозиясын зерделеуде қалыптасқан әдістер мен тәсілдер сарапталды. Олардың артықшылықтары мен кемшіліктері, ерекшеліктері мен пайда болу себебі сипатталған. Еліміздің физика-географиялық жағдайларына сәйкес келетін әдістер талданған. Классикалық әдістердің пайда болуынан бастап, қазіргі таңдағы жаңа құрылғыларға дейін шолу жүргізілген.

Нәтижелер және талқылау

Эрозиялық және басқа да экзогенді үдерістердің қарқындылығын сандық бағалаудың әдістері 1-кестеде берілген.

1-кесте

Эрозиялық және экзогенді үдерістерді бағалау әдістері

Ерекшелігі	Әдістер тобы	Әдістер түрі
Далалық	Бақылау әдісі	Көзбен шолу
	Қадалар әдісі + трассерлер	түйреуіштер әдісі, сынықтарды бояу әдісі, белгі бергіштер және т.б., сонымен қатар ^{137}Cs , $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$, ^7Be және т.б.
	Тұтқыштар (қақпандар) әдісі	торлар, шөгіндітұтқыштар, шаңтұтқыштар, табиғи және жасанды суқоймалар
	Топографиялық-геодезиялық	DGPS, Жер бетіндегі фотограмметрия, жер бетін лазерлік сканерлеу, квадрокоптермен бейнелерді түсіру және т.б.
Камералық	Қашықтықтан	аэроғарыштық бейнелер, жер серіктік бақылау, LIDAR және т.б.
	Жел эрозиясын үлгілеу	WEQ, RWEQ, GIS-RWEQ, WEPS, WEELS және т.б.

Ескерту: автор құрастырған

Көзбен шолу

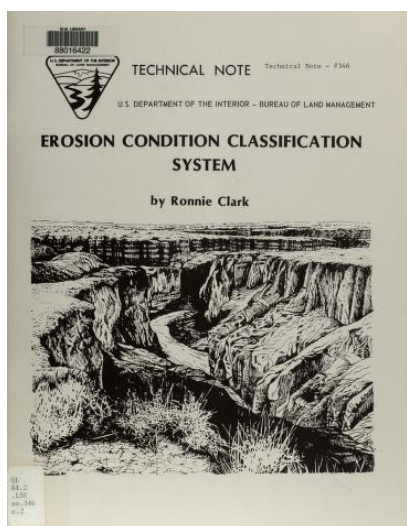
Әдістің негізі топырақтың белгілі бір қасиеттерін көру арқылы сипаттауға бағытталған: эрозиялық негіз, беткі бөлшектердің қозғалысы, түзілімдер, жел екпінінің күші және т.б. Бағалау барысында сәйкес техникалық анықтамалардағы әдістеме қолданылады, орналасқан жері, сонымен қатар экологиялық ауданы есептеледі, эрозия көрсеткішінің іс жүзіндегі мәндері референсті мәндермен салыстырылып, айырмашы-

лығы сәйкес құжатқа тіркеледі. Аталған әдістеме негізінде 1967 жылы АҚШ-да ауданы 160 млн акр жерлердің эрозиялық жағдайы бағаланды. Осы мақсатта зерттеуші далалық жағдайда бағалай алатын және сандық түрде ұсынылып, келешекте бес эрозия класын бөлу барысында негізге алынатын, топырақ бетінің қасиеттеріне негізделген «Эрозиялық жағдайдың Сыныптауышы» (Erosion Condition Classification System) (Clark, 1980) жасалды (1a-сурет).

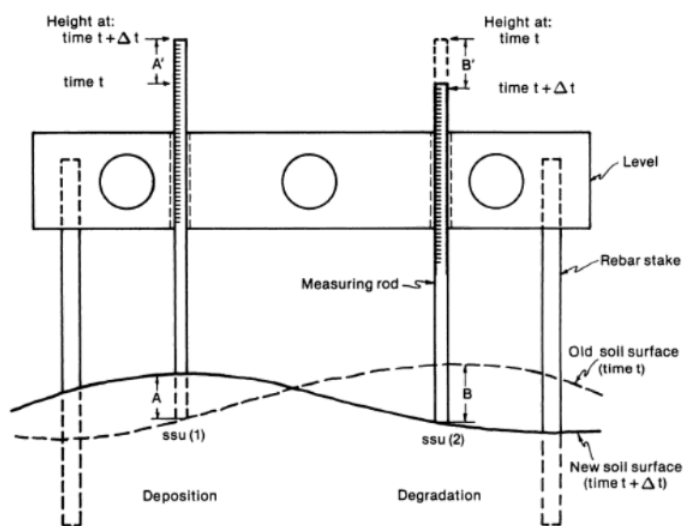
1-сурет

а) Эрозиялық жағдайдың Сыныптауышы (Clark, 1980 мәліметтері бойынша);

б) Эрозиялық көпірдің құрылысы және орналастырылу құрылымы (Blaney & Warrington, 1983 мәліметтері бойынша)



а



б

Ескерту: автор құрастырған

Бұл эрозиялық жағдайдың класын айқындайтын сандық мәндер «топырақ бетінің факторлары» (Soil Surface Factors – SSF) деп аталды және 1-100 аралығында өзгеріп отырды (Clark, 1980; Ypsilantis, 2011).

Артықшылықтары

- салыстырмалы түрде жедел үдеріс;
- далалық зерттеулер барысында бақылау жүргізу мүмкіндігі;
- белгілі бір жерде мониторинг жүргізу қажет ықтимал эрозиялық мәселелер анықталуы мүмкін.

Кемшіліктері

- сарапшының бағалауы мен ойына негізделген субъективтілік;
- тиісті дайындықсыз әртүрлі сарапшылардың сандық бағалауларында (баллдар) айырмашылық болуы мүмкін;
- дауылдың көтерілу сәтіндегі бақылау уақытына байланысты бағалаулар өзгеруі мүмкін;
- экологиялық аудан белгілі болуы тиіс, оған тиісті референсті мәні мен әдістемесі бар техникалық анықтаушы қажет;
- бұл әдістеме тәжірибесі мол, сауатты және білікті маманмен орындалуы мүмкін.

Деректерді талдау

Көзбен шолынған шаманың референсті мәндерден айырмашылығы арнайы қабылданған формаларға тіркеліп отырады. Эталонды мәндерден айырмашылықтар әрбір көрсеткіш бойынша анықталып, қорытынды балл есептеліп шығарылады және зерттеу аймағының тұрақтылығы, оның гидрологиялық қызметі мен биологиялық біркелкілігі сипатталады.

Эрозиялық көпір (түйреуіштер)

Жел эрозиясын далалық жағдайда бағалаудың қолданыста қарапайым, функционалды, жеңіл және арзан құралы. Ол топырақ бетін өте жоғары дәлдікте тегістеуге арналған қада түріндегі тіреу бағандарына қойылған ұзындығы шамамен 120 см алюминий маңдайша немесе құрылысқа арналған деңгейден тұрады. Жер бетінен деңгейге дейінгі ара қашықтық жер беті деңгейіне түсірілген арнайы түйреуіштер көмегімен әрбір деңгейдің ұзына бойында бірдей орналасқан 10 бекітілген нүктемен өлшенеді (16-сурет). Бұл өлшемдер жер беті деңгейінің орташа өзгерісін есептеу үшін қолданылады (Blaney & Warrington, 1983).

Эрозиялық көпірлердің орналасуы мен олардың бағыты зерттеу аймағы ішінде кездей-

соқ таңдалады. Әрбір бақылау нүктесі деректерді енгізу нүктесі ретінде қарастыруға болатындай етіп, GPS көмегімен нақты бекітіледі. Дефляциялық үдерістерді зерттеуші ғалымдардың есептеуі бойынша топырақ деңгейінің 1 миллиметрге төмендеуі гектарына 12,35 тонна топырақтың желмен үрленуіне сәйкес келеді. Әрбір түйреуіштегі қайталама өлшемдер әрбір тексеру және деректерді енгізу барысында жүргізіледі. Бұл өлшемдер топырақ беті деңгейінің өзгеруін, беткі қабаттың үрленуін немесе керісінше, аккумуляциялануын айғақтайды (Ypsilantis, 2011).

Артықшылықтары

- эрозиялық белсенділікті бағалаудың арзан, жедел және бейтарап әдісі болып табылады;
- дегенмен жүйелі қателіктерді болдырмау үшін есептік алаңдарды және олардың бағытын кездейсоқтық тәсілімен таңдау қажет

Кемшіліктері

- есептеуіш деңгей адамдармен, техникамен немесе жануарлармен сонымен қатар топырақтың тоңдап қопсуы барысында жылжытылып немесе қозғалтылуы мүмкін, нәтижесінде өлшеулер мағынасыз болып қалады;
- түйреуіштер жіңішке және белгілі бір дәрежеде иілгіш келеді, сондықтан өлшеулер барысында бірдей нүктеге тимеген жағдайда қате мәндер алынуы мүмкін;
- бұл әдіс зерттеу аймағы шағын және есептік алаңдар саны аз жағдайда қолданылады, ал үлкен аумақтардың топырақ эрозиясын қамту мүмкін емес

Деректерді талдау

- алынған өлшемдер топырақ жамылғысының деңгейі өзгеруінің орташа мәндерін есептеуге пайдаланылады, аталған өзгерістер байқалған белгілі бір уақыт аралығын көрсету арқылы эрозия қарқындылығын анықтауға болады;

- кейін орташа мәнмен сенімгерлік межесін есептеу үшін Стьюденттің t-өлшемшартын пайдалануға және алынған шамаларды өзара салыстыруға болады (Blaney & Warrington, 1983; Ypsilantis, 2011)

- дефляциядан топырақтың азуының шамамен алғандағы бағалаулар мөлшерін тұқымдардың жатыс тереңдігін өлшеу арқылы білуге болады;

- Топырақтың үрленген қабатының қалыңдығын нашар бөлшектенген жыртылған қабатта кездесетін топырақтың жеке қалдық үйінділері арқылы да анықтауға болады

Жер бетіндегі фотограмметрия

Жақын (жер бетіндегі) фотограмметрия – аумағы 1 шаршы метрден еңістікті түгелімен қамтитын аймақтағы эрозия жөнінде түбегейлі ақпарат алуға жарамды үздік әдіс болып та-

былады. Бұл әдіс өсімдік өспеген телімдердегі, мәселен, жолдар, құрылыс алаңдары және жол талғамайтын көлікпен тапталған айдаладағы жолдарда эрозияға мониторинг жүргізуге тіпті тиімді (2-сурет).

2-сурет

Жер бетіндегі фотограмметрия (Ypsilantis, 2011 мәліметтері бойынша)



Ескерту: автор құрастырған

Жер бетіндегі фотограмметрия – зерттеу нысанын 300 метрден аспайтын қашықтықтан түсірілген фотосуреттерден құрастырылған бейнені өңдеуден тұрады. Сандық камераны алдын-ала x , y және z координаталар жүйесінде мөлшерлеп алу қажет. Жер бетінің деңгейі өзгеруін бақылау үшін шартты санақ деңгейі ретінде бір немесе бірнеше тұрақты бекітілген нүкте қойылады. Тірек нүктесі ретінде тау жыныстары немесе жерге терең қағылған металл білік пайдаланылады.

Түсірілген фотосуреттерден компьютер мен арнайы бағдарламалық қамсыздандыру көмегімен жер бетінің сандық үлгісі құрастырылады.

Артықшылықтары

- эрозия белсенділігін тікелей егістікте жылдам және тиімді дәлдік деңгейі жоғары түрде

өлшеуге болады, бұл ретте есеп алаңдарының мөлшері айтарлықтай өзгеруі мүмкін (ауданы 1 шаршы метрден еңістіктің бүкіл аумағына дейін);

- егістікте жұмыс жасауға арналған құрылыстар құнының жоғары болмауы;

- әрбір есеп алаңдары үшін мындаған деректерді енгізу нүктелері болады;

- тірек нүктелерін жер беті деңгейінен төмен қадау арқылы олардың жылжытылу мүмкіндігі жойылады, сонымен қатар, қауіпсіздік тұрғысынан, зерттеу аумағында рекреациялық белсенділікті (велосипедпен, жаяу, атпен серуендеу және т.б.) іске асыруға мүмкіндік береді;

- бүкіл зерттеу аумағы үшін топырақ эрозиясының кеңістіктік таралуының жан-жақты картасы дайындалады;

- фотосуреттер мен қатысты деректердің жиынтығы электронды түрде сақталады;

- сонымен қатар бұл әдісті эрозиялық үлгілерді тексеру барысында пайдалануға болады.

Кемшіліктері

- үлкен өлшемдегі есеп алаңдарындағы деректерді өңдеуге қажетті бағдарламалық қамсыздандырудың қазіргі таңдағы құнының қымбаттығы;

- өсімдіктер жер бетін көлегейлеуі арқылы, зерттеу аумағының осы бөлігінде өлшемдер жүргізуді қиындатады;

- қазіргі таңда мұндай деңгейдегі мониторингті жүргізе алатын тәжірибелі сарапшылар мен жауапты ұйымдардың тым аз болуы;

- жер бетіндегі кез-келген объектінің, мейлі ол төсеніш қабаты болсын, тас немесе басқа да заттардың қозғалуы деректерді өңдеу барысында бағдарламамен топырақтың шайылуы немесе аккумуляциялануы деп қабылдануы мүмкін.

Деректерді талдау

- есеп алаңдары шегіндегі жер беті торынан топырақтың беткі қабатының үрленуі, жер қазу жұмыстары барысындағы үйінділер мен қазындылар көлемін анықтау үшін ArcGIS (немесе кез-келген басқа ГАЖ топтамалары) пайдаланылады;

- аудан бірлігі үшін топырақтың жойылуы немесе аккумуляциялануын анықтау үшін, немесе эрозияланған аумақ бірлігінен тоннамен бел-

гілеу үшін топырақтың жалпы жойылу немесе қосылу көлемі есеп алаңына бөлінеді;

- Жер беті фотограмметриясы топырақтың жойылу немесе аккумуляциялану қарқындылығын үлкен аумақтарда (мәселен жалпы еңістік үшін) дәлдігі сантиметрге дейін және өлшемі 1 м² шағын алаңқайларда дәлдігі миллиметрге дейін анықтауға мүмкіндік береді;

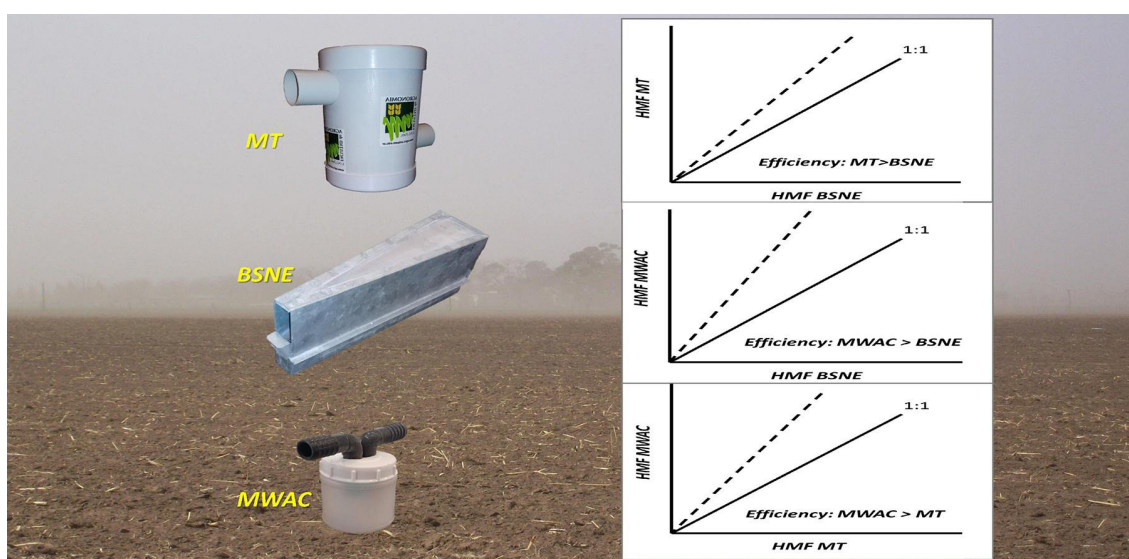
- жер беті фотограмметриясы әдісі әртүрлі факторлар мен адам әрекеті нәтижесінде пайда болған эрозияны тікелей өлшеу үдерісі үшін болашағы бар және әлеуеті зор.

Шаңтұтқыш құрылғыны пайдалану

Жоғарыда аталған әдістер топырақтың азуын, яғни эрозияның салдарын бағалауға мүмкіндік береді. Дегенмен, олар эрозия механизмін зерттеуге қауқарсыз, оны жете түсінбей эрозиялық үдерістерді басқару және сонымен қатар олардың пайда болуын болжау қиындау. Қарапайым тілмен айтқанда жел эрозиясы үдерісі ауа ағындарының ықпалымен топырақ шоғырының қозғалуын білдіреді. Бұл шоғырдың қозғалу себебін анықтау үшін эрозия үдерісіндегі қатты фазаның ағынын өлшей білуіміз қажет (Кузнецов & Глазунов, 2020). Қазіргі таңда бұл мақсатта топырақ бөлшектерінің жылжуын тіркейтін әртүрлі шаң-, топырақ тұтқыштар, сүзгілер, пьезоэлектрлік құрылғылар қолданылады (3-сурет).

3-сурет

«Мендес қақпаны» сынамаалғыштың бейнесі (Mendez, 2022 мәліметтері бойынша)



Ескерту: автор құрастырған

Дефляциялық үдерістерді зерттеу барысында параллелепипед қалпындағы қорапқа ұқсас, бір қыры қабылдау тесігі болып табылатын шаң- немесе топырақ тұтқыштар кеңінен қолданылады.

Артықшылықтары

- эрозия механизмін зерттеуге мүмкіндік береді, эрозия үдерісінде қатты фазаның, яғни топырақтың ағынын өлшеу құралы (Кузнецов & Глазунов, 2020)

Кемшіліктері

- топырақ бөлшектерін алып келе жатқан ағынның биіктігі үлкен болуы – шаңды дауылдар кезіндегі тұтас шаң фронтының қалыңдығы бірнеше жүздеген метрге жетеді;

- ауа ағыны құрылғы арқылы өтіп кете алмайды;

- бөлшектердің едәуір бөлігі, әсіресе майдалары, шаңтұтқыштан өтіп кетеді;

Деректерді талдау

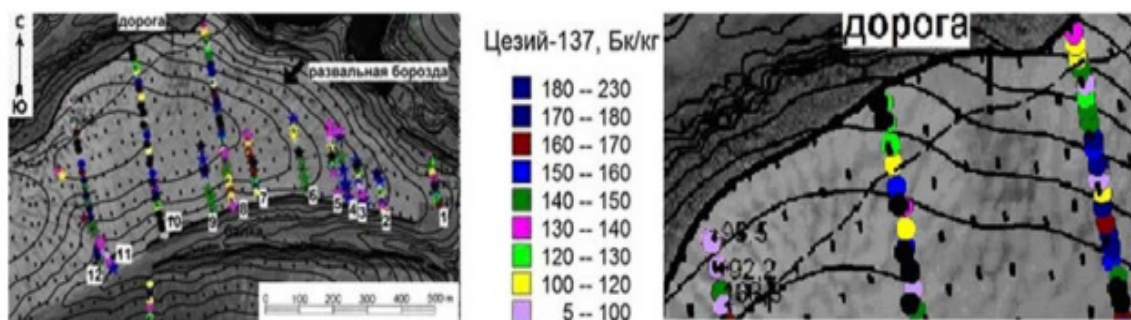
ағынның жылдамдығын есептегіш құрылғы сору тесігі мен еркін ағындағы жылдамдықтың теңдігіне қол жеткізуге мүмкіндік береді

Цезий¹³⁷

Соңғы жылдары топырақ эрозиясын бақылау үшін ғалымдар алыс (Австралия, АҚШ, Англия, Аргентина, Грекия, Жаңа Зеландия, Жапония, Зимбабве, Испания, Канада, Марокко, Нигер, Румыния, Словакия, Түркия, Ұлыбритания, Франция) және жақын (Қытай, Ресей, Украина) шет елдерде маркер ретінде Цезий¹³⁷ радионуклидін (4-сурет) кеңінен қолданып жүр (Sac et al., 2008; Ypsilantis, 2011; Fulajtar et al., 2017; Loughran et al., 2002; Mabit et al., 2008; Zhidkin et al. 2020; Golosov et al. 2021).

4-сурет

Цезий¹³⁷ радионуклидін хрономаркер ретінде пайдаланып, топырақ эрозиясының қарқындылығын бағалау (Трофимец et al. 2022 мәліметтері бойынша)



Ескерту: автор құрастырған

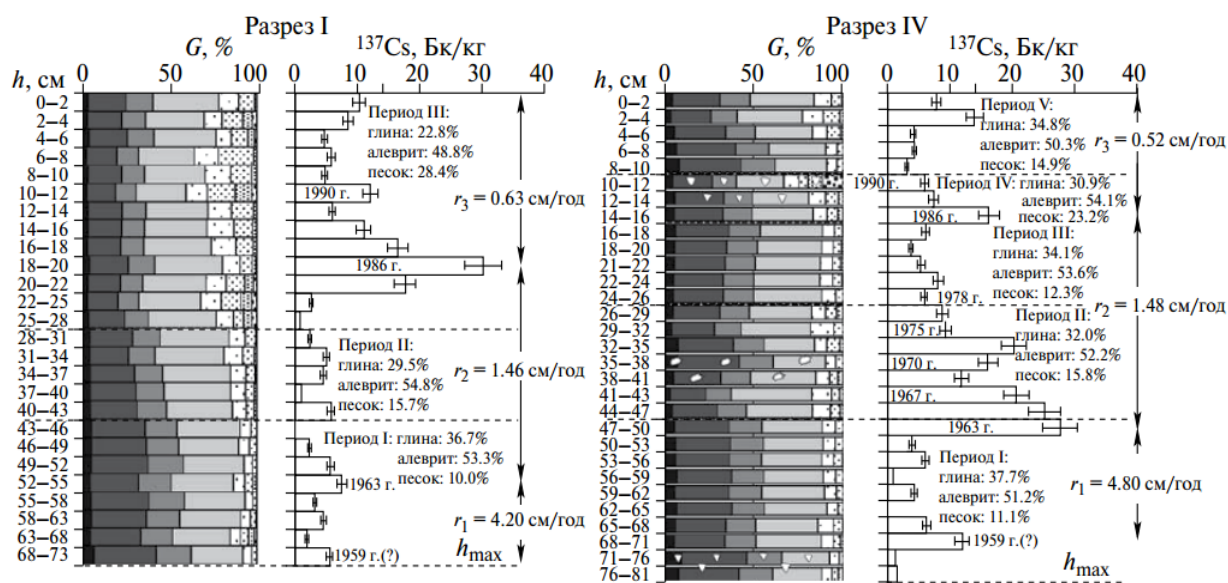
¹³⁷Cs – жартылай ыдырау кезеңі шамамен 30 жылды құрайтын радиоактивті жасанды изотоп. Цезий-137 топыраққа түскен кезде жедел жұтылып, топырақ бөлшектерінің ионаласу телімдерімен берік байланысады және әсіресе көпшілік ортада байланыспайтын күйге ауысады (Гусаров et al. 2018). ¹³⁷Cs радионуклидімен таңбаланған топырақ бөлшектерінің бір ландшафт немесе ландшафттар арасында қозғалысының негізгі факторы – жел және су эрозиясының физикалық үдерістері болып табылады (Ritchie & McCarty, 2003; Ypsilantis, 2011). Цезий¹³⁷ шоғырлануының «шыңы» топырақ түріне және климатқа байла-

нысты – субстраттың беткі деңгейінен 2-4 см. жерге көмілуі мүмкін, және егіншілікте пайдаланылмайтын өте қышқыл топырақтар үшін ғана ¹³⁷Cs капиллярлар бойымен тігінен көші-қоны арқылы 5-6 см-ге дейін көміледі (5-сурет).

Аталған әдіс жалпы топырақ массасының жылжуын бағалауға мүмкіндік береді, дегенмен жылжудың факторлары кез-келген болуы мүмкін, сондықтан нақ жел эрозиясын бақылау барысында, яғни қозғаушы күш ретінде тек жел болып, ал қалған факторлар (су эрозиясы, жер жырту және т.б.) байқалмағанда, әдіс шектелген аймақта пайдаланылуы мүмкін.

5-сурет

Стратоземдардың I және IV қыртысының қимасындағы ^{137}Cs шоғырының тигінен таралуы (Гусаров et al., 2018 мәліметтері бойынша)



Ескерту: автор құрастырған

Артықшылықтары

- толығымен суайырықтың немесе бүтін ландшафттың деңгейінде эрозияны ұзақмерзімді зерттеуге болады (Ypsilantis, 2011; Fulajtar et al., 2017);

- жел эрозиясын үлкен аумақтарда бағалауға болады (Sac et al., 2008)

Кемшіліктері

- қысқамерзімді зерттеулерді, мәселен, эрозияға қарсы шаралардың тиімділігін бағалауға жарамсыз;

- топырақ сынамалары көп мөлшерде болған жағдайда зертханалық талдауларды жүргізу құны өте жоғары болады;

- жел эрозиясы байқалатын аудандардың көпшілігінде Cs^{137} шоғырлануы төмен, сол себепті топырақ эрозиясын зерттеуде қате нәтижелердің жоғары болуы

Деректерді талдау

- алынған деректерді топырақтың шайылуы немесе аккумуляция жасалуы шамасына келтіру мүмкіндігі

- үлгілеудің екі түрі бар: эмпирикалық және теоретикалық

Жел эрозиясын үлгілеу

Топырақ азуын жартылайсандық бағалау мақсатында жел эрозиясын үлгілеу (модельдеу)

XX ғасырдың 60-шы жылдары басталды. Жел эрозиясын үлгілеу көп жағдайда жартылай эмпирикалық әдіс болып отыр және зерттеулер белгілі бір алаңқай көлемінде жүргізіліп, қолданылатын үлгі сол жердің ерекшеліктері мен күйіне сәйкес калибрлендірілсе, нақты сол жерге ғана өзекті болып отыр, қазірге дейін әмбебап нақты әдіс пайда болған жоқ. Әрине бұл тұрғыдан топырақтың шайылуын (су эрозиясын) модельдеу бағыты әлдеқайда жедел дамып, көптеген әмбебап үлгілер жарық көрді (USLE, RUSLE, MUSLE, WEPP, SWAT және т.б.).

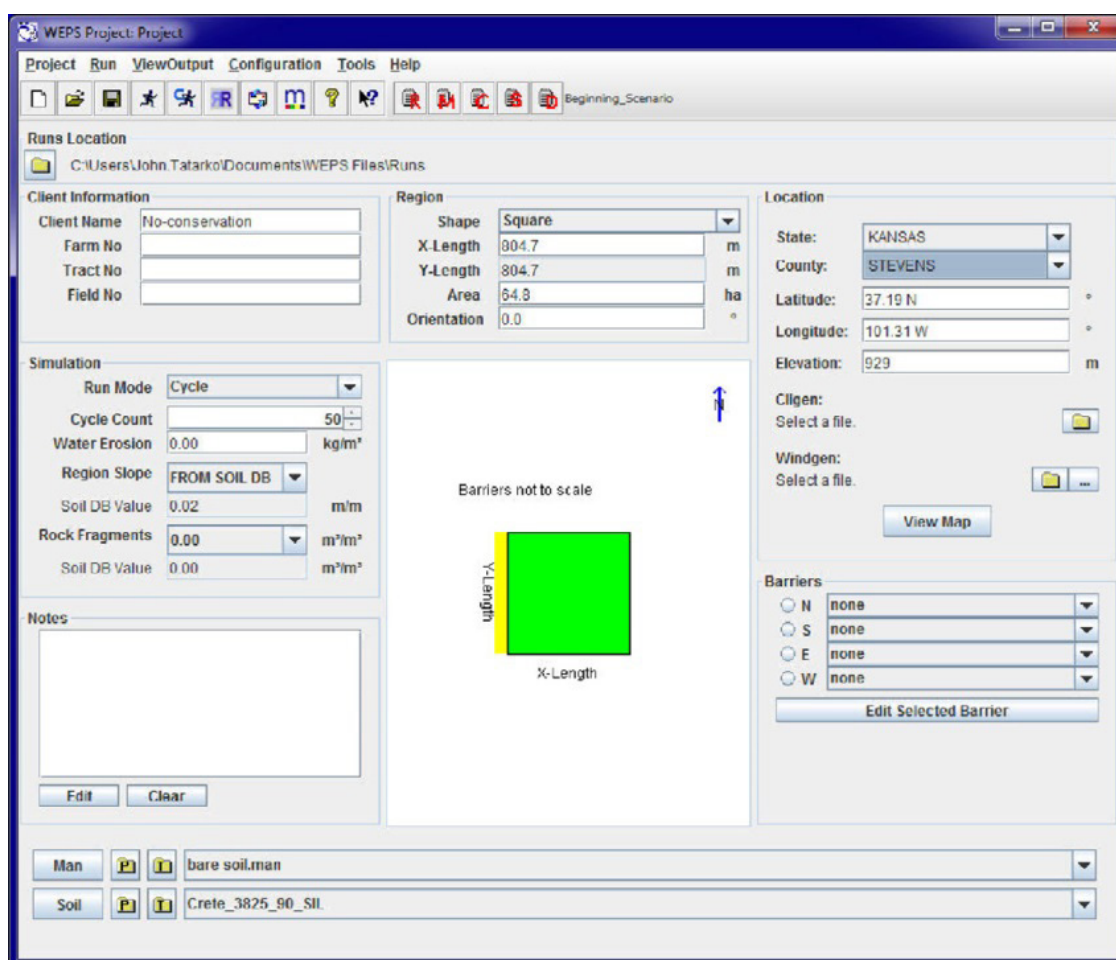
Эмпирикалық үлгілер ең қарапайым және бақылау мен эксперименталды деректерге негізделеді, яғни олар мән-жайды айқындайды және болашақта не болатындығын болжауға көмектеседі. Мұндай үлгілердің эрозияның кеңістіктік таралуы жөнінде ақпарат болмауынан туындайтын шектеулері мен кемшіліктері болады, дегенмен ГАЗ-платформаларын кодану барысында бұл кемшілікті еңсеруге болады. Физикалық үлгілер фундаменталды эрозиялық үдерістер мен зат пен энергияның сақталуы заңын ендіруге байланысты таным-түсініктерге негізделеді. Теория жүзінде қажетті параметрлерді өлшеуге болады, дегенмен тәжірибеде параметрлердің біршама бөлігін әрдайым калибрлеп отыруға тура келеді.

Жел эрозиясын үлгілеу теңдеулерінің негізгілері: WEQ, RWEQ, GIS-RWEQ, WEPS, WEELS және т.б (6-сурет). Дефляциялық үдерістерді зерттеуді белгілі бір қалыпқа келтіріп, жүйелеудің ең алғашқы қадамы АҚШ эрозиятану мектебінің өкілдерімен ұйымдастырылған жел эрозиясы теңдеуі – The Wind

Erosion Equation (Woodruff & Siddoway, 1965; Shrestha, 2008). Бұл үлгі әртүрлі аймақтарда сыналып, енгізу деректері калибрленді және геоақпараттық жүйелермен бірге пайдаланғанда жел эрозиясы пайда болу қаупі бар жерлерді анықтауда ақиқат шамаға сәйкес нәтижелер алынды.

6-сурет

Жел эрозиясын болжау жүйесі (WEPS) қолданушының графикалық интерфейсі



Ескерту: автор құрастырған

Жел эрозиясы теңдеуі (WEQ) кез-келген математикалық теңдеу секілді белгілі бір шарттарға сүйенеді, нақты бірқатар факторларға байланысты топырақ азуын болжауға мүмкіндік береді және келесі формуламен есептеледі:

$$Q = f(E, I, K, C, L, V);$$

бұл жердегі Q – белгілі бір беттен (бет бірлігінен) жылына жел эрозиясынан топырақтың азу мүмкіндігі;

E – F_s коэффициентімен есептелетін, топырақ қабыршағының болуы және оның түйіршіктелуіне (A) тәуелді топырақтың азуға бейімдігі;

I – еңістік;

К – жыртылған жерлердің кедір-бұдырлық коэффициенті;

С – желдің орташа жылдамдығы V_z мен топырақтың ылғалдылығына W тәуелді топырақтың жел эрозиясы климаттық индексі;

L – жел бағытындағы егістіктің қорғалмаған бөлігінің ұзындығы;

V – өсімдік жамылғысы мен аңыздық қалдықтардың топырақты қорғау баламасы:

$$V = RSK_0,$$

бұл жердегі R – аудан бірлігіндегі өсімдік жамылғысы мен аңыздық қалдықтардың массасы;

S – өсімдік бірліктерінің жиынтық бетін ескеретін коэффициенті;

K_0 – өсімдіктердің кеңістіктік орналасуын ескеретін коэффициенті.

WEQ моделін пайдаланып, ғалымдар жақын шетелден Моңғолия территориясындағы үлескілерде бақылаулар жүргізді және нәтижелері далалық жағдайдағы эксперимент қорытындысымен түспа-түс келді (Mandakh et al. 2016). Дефляциялық үдерістерді үлгілеудің келесі қадамы – зерттеулерді телімдер деңгейінен өңірлік масштабқа дейін жетілдіру мақсатында Revised Wind Erosion Equation (RWEQ) – жетілдірілген теңдеуі жасалып, АҚШ-та сынақтан сәтті өтті. Геоақпараттық жүйелердің географиялық зерттеулерге дендеп енуі эрозия үдерісін, оның ішінде топырақтың желдің әсерінен азуы құбылы-

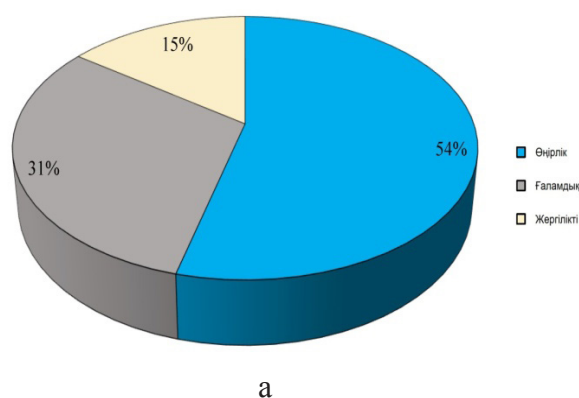
сын үлгілеуге де пайдалануға себеп болды. Яғни, қазіргі таңдағы қолданылатын үлгілер түгелге жуық ГАЖ-ға кіріктірілген. Европа құрлығындағы бірқатар елдермен қаржыландырылатын «Европалық топырақтар туралы мәліметтерді өңдеу Орталығы» (ESDAC) ұйымдастырған WEELS, Wind Erosion Prediction System (WEPS) және GIS-RWEQ (Borrelli et al., 2017) жобаларының нәтижесінде WEPS және GIS-RWEQ үлгілері жарық көрді.

Жер серіктік бақылау

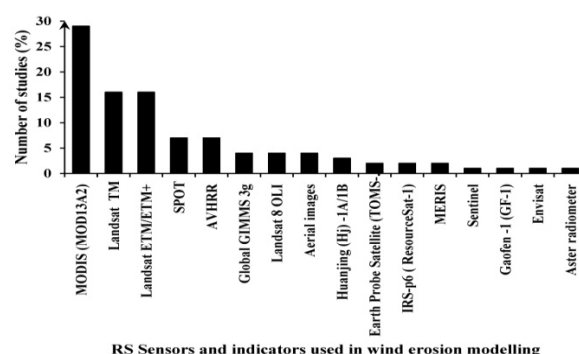
Қашықтықтан зондылау деректері Жер туралы ғылымдар бағыты бойынша салалардың көпшілігінде пайдаланылатын әдіс, әрине, топырақ эрозиясын картографиялау және бақылау барысында кеңінен қолданылады. Соңғы кездері кеңістікті суретке түсіретін жер серіктеріне орнатылатын камералардың мүмкіндіктері артып, жоғары және өте жоғары дәлдіктегі бейнелерді қамтуы топырақ эрозиясы үдерісін үлкен аумақта зерттеуге септігін тигізді (7а-сурет). Әдістің алгоритмі келесідей – түсірілген бейне / бейнелер қатары геоақпараттық жүйелер көмегімен автоматты немесе жартылай автоматты түрде топастырылып, дешифрленеді. Дешифрлеу амалының нақтылығын бағалау мақсатында дешифрленген аймақтың кез келген нүктесінен бақылау телімі кездейсоқ таңдалып алынып, сарапшы көзбен шолу арқылы анықтау амалын жүргізеді.

7-сурет

- а) Жел эрозиясы көрсеткіштерін бағалауда әртүрлі кеңістіктік қолдану масштабындағы қашықтықтан зондылау пайдаланылған зерттеулердің бүкіл әлем бойынша үлесі;
б) Жел эрозиясы көрсеткіштерін бағалауда қашықтықтан зондылаудың әртүрлі индикаторлары пайдаланылған зерттеулердің ғаламдық үлесі (Lacková et al., 2023 мәліметтері бойынша)



а



б

Ескерту: автор құрастырған

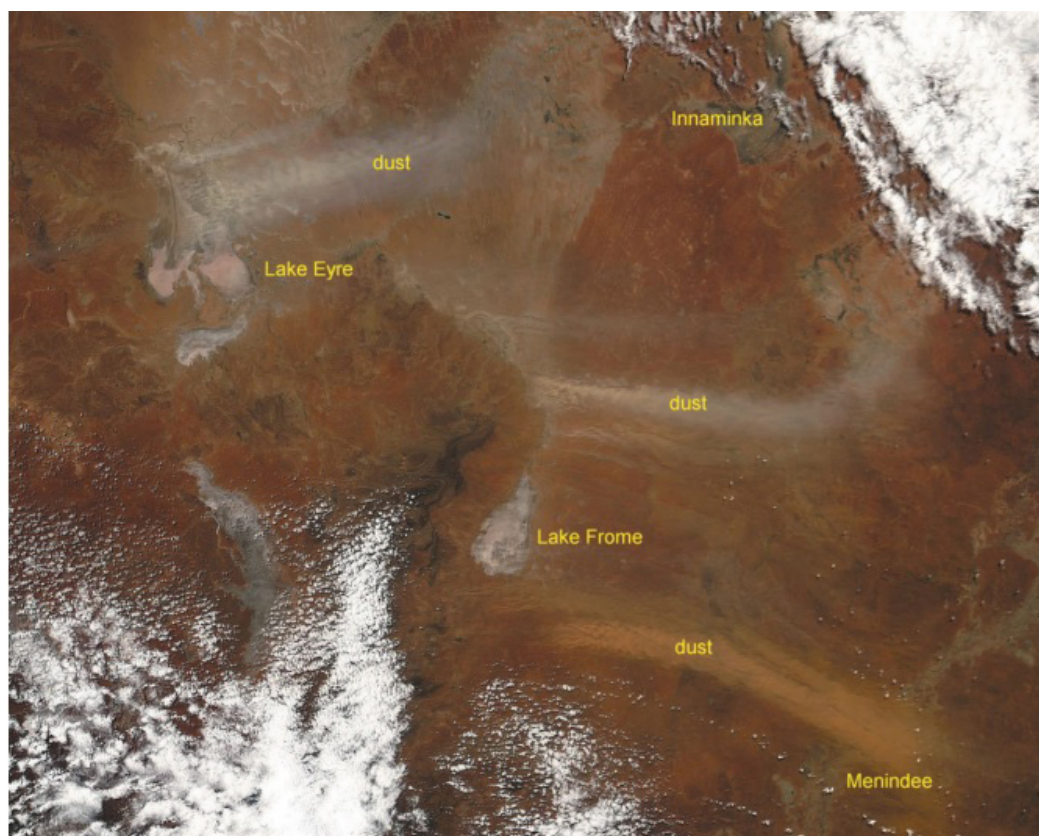
Жер серіктік деректерді жел эрозиясын картографиялау барысында, жел эрозиясына ұшыраған өңірлерді байқау және жел эрозиясына шалдыққан телімдердің қалпына келу уақытын тіркеу кезінде пайдалануға болады. Мәселен, көпшілікке белгілі Landsat TM жер серігінен әртүрлі кезеңдерде түсірілген бейнелерді динамикалық немесе көпуақыттық салыстыру тәсілімен шөл басу үдерісін картографиялау барысында қолдануға болады (76-сурет).

Қашықтықтан зондылау кезінде рельефтің эрозиялық қалыптары және эрозия кезеңдерін

анықтауға, салыстырмалы түрде жақын уақытта (аэроғарыштық суретке түсіруден бері қарай) байқалған эрозиялық үдерістің пайда болу себептерін, даму бағытын зерделеуге болады. Эрозияланған және аккумуляцияланған топырақты анықтаудың негізгі қағидасы аккумуляцияланған және эрозияға шалдықпаған топырақтардың шағылысуының спектрлік сипаттамасы өзгеше болуында. Бұл жерде топырақтың беткі қабатының химиялық және физикалық қасиеттері топырақ бөлшектерінің қозғалуы барысында өзгеріске түсетіндігімен түсіндіріледі (8-сурет).

8-сурет

Эйр көлі су алабының (Австралия) MODIS жер серігінен 28.10.2003 күні түсірілген бейнесі. Ақ шаң шлейфі (dust) құрғаған көл табандарынан көтеріледі, Фром көлінің төменгі бөлігіндегі қоңыр түсті шаң жайылымдардан үрленіп келеді (www.interscience.wiley.com/journal/espl мәліметтері бойынша)



Ескерту: автор құрастырған

Салыстырмалы түрде жақында ұшырылған Landsat-8 және Sentinel-2 жер серіктерінің жетілдірілген радиометрлік және кеңістіктік сипаттамалары көпуақыттық деректерді еркін қол жетімді ету арқылы, эрозиялық үдерістерді картографиялауға өлшеусіз үлес қосты.

Шектеулер

- топырақ жағдайлары әртүрлі үлкен аумақтардағы егістіктерді бағалау;
- нақты атмосфералық түзетулер және бұлттар мен олардың көлеңкелерін жасыру қажеттілігі;

- қоршаған орта күйінің алуантүрлілігі, әсіресе топырақ жамылғысы құрылымының әркелкілігі;

- жер серіктік деректердің бұрынғы жылдарға жетіспеушілігі топырақтың өнімді қабатының бастапқы қалыңдығын анықтауға қиындық туғызады.

Артықшылықтары

- Үлкен аумақтардың беткі көрінісі туралы ақпарат алудың салыстырмалы түрде үнемді, жедел және әділ тәсілі;

- Кез-келген аймақтың суреттерін белгілі бір уақыт аралығында алуға мүмкіндік бар, сол арқылы бақыланатын үдерістің өзгеріс динамикасын қадағалауға болады;

- Сандық бейнелер әртүрлі әдіс-тәсілдерді қолданып қосымша талдауға және әртүрлі параметрлер мен сипаттамаларын бағалауға тұрақты түрде әрдайым қол жетімді;

- Жер серіктік деректер үлкен аумақтардағы, сонымен қатар далалық зерттеу жұмыстарын жүргізу мүмкіндігі қарастырылмаған немесе қиындатылған аймақтардағы, топырақ эрозиясын бағалауда нақты, үнемді және сенімді әлеуеті зор;

- Жер серіктік бейнелерді пайдалану топырақ эрозиясын сандық түрде бағалап, жергілікті, ұлттық және өңірлік деңгейде бақылау мүмкіндіктерін едәуір кеңейтті.

Кемшіліктері

- Мультиспектралды деректер орынбасар деректер болғандықтан, яғни топырақ эрозиясы көрсеткіштерінің дәл өлшемдері емес, белгілі бір қасиеттердің спектралды сипаттамасы болуы себепті алынған ақпараттарды тексеру (нақтылықты бағалау, калибрлеу) қажет;

- Сенсорлардың төмен спектралды дәлдігі;

- Өсімдік жамылғысы кедергі келтірмеген жағдайда жер серіктік бейнелер топырақтың беткі қасиеттерін ғана анықтауға мүмкіндік береді.

Деректерді талдау

- Жер серіктік шикі деректерді талдау, егер оны автоматтандырмаған жағдайда – жұмыс қолын өте ұзақ ұстайтын үдеріс. Дегенмен соңғы жылдары жер серіктік суреттерді автоматтандыру бағытындағы жетістіктер нәтижесінде жұмсалатын уақыт пен еңбек ресурстары едәуір төмендеді.

Ұшқышсыз ұшу аппараттары

Соңғы он жыл көлемінде экзогенді үдерістерді зерделеу бойынша белсенді түрде қолда-

нылып жүрген бағыт – ұшқышсыз ұшу аппараттары – квадрокоптерлерде назар аударуға тұрарлық. Негізі, көпшілік халыққа «дрон» деген атаумен белгілі шағын габаритті құрылғылар Қытай мемлекетінің DJI компаниясының Phantom, Mavic өнімдері арқылы етене таныс болды. Бұл жерде нақты аппараттың «квадрокоптер» аталуы – ұшу қалақшалары төрт роторға бекітілуінде, яғни, ротор санына байланысты атаулары трикоптер, октокоптер болып өзгере береді.

Жел эрозиясы салыстырмалы түрде қысқа уақыт аралығында дүлей күшпен соғып, топырақтың беткі құнарлы қабатын ұшырып кететін үдеріс екендігін ескерсек, көп жағдайда жер серіктерінің беретін суреттері қажеттілігімізді толық қанағаттандыра алмай жатады, оның бірнеше себебі де бар. Біріншіден, жер серігі белгілі бір территорияны суретке бір түсіріп кеткеннен кейін, келесі қайталама сурет кемінде 16 күннен кейін түсіріледі, екіншіден, жер серіктерінің негізгі суретке түсіру аймағы – үлкен қалалар мен мегаполистер, өндіріс ошақтары мен өнеркәсіп орталықтары, әскери және стратегиялық маңызды объектілер. Аталған аймақтардың көріністері соңғы үлгідегі камера орнатылған жер серіктерінен түсірілсе, шалғайда орналасқан егістіктер мен шанды дауыл аймақтары, көбіне ескі суреттермен қалып қояды (9-сурет).

Қысқа уақытта өзгеріп отыратын үдерістерді (шанды дауылдың топыраққа әсері, өсімдіктің вегетациялық кезең барысындағы динамикасы және т.б.) зерттеуде квадрокоптер таптырмас құрал болып табылады

Артықшылығы

- салмағы жеңіл, берік материалдардан дайындалған;

- бастапқы деңгейдегі топтамаларының бағасы салыстырмалы түрде арзан;

- соңғы үлгідегі нұсқаларында басқару пультіне экран орнатылған, бұл аппаратты басқаруға едәуір көмектеседі,

- басқаруды үйрену өте жеңіл, Android платформасында дайындалғандықтан, соңғы үлгідегі телефондарды басқару деңгейінде қиындық туғызбайды, оқытылған бір маманның өзі квадрокоптерді тасымалдап, ұшу маршрутын басқарып, ұшыс барысында түсірілген бейнелерді өңдей бере алады;

- мүмкіндіктері күшейтілген мультиспектралды камераларды, LIDAR және т.б. қосымша бөлшектерді орнату мүмкіндігі қарастырылған;

9-сурет

Қызылорда облысындағы күріштік алқаптары (16.06.2019 күні түсірілген) мен Қызылорда қаласының (19.04.2023 күні түсірілген) Google Earth платформасынан бір мезгілде жүктеліп алынған бейнелері



Ескерту: автор құрастырған

Кемшілігі

- ауа-райына тәуелді, желдің жылдамдығы күнделікті ұшыруға шектеуші фактор болып табылады;

- стратегиялық маңызды әскери объектілер мен әуежайлар, қорғаныс, күштік құрылымдар аймағы ұшу зонасы болып табылмайды, кездейсоқ кіріп кеткен жағдайда, коптердің сигнал қабылдау мүмкіндігі нашарлап, басқарусыз қалады;

- ұшу уақыты шектеулі, соңғы үлгілерінде ары кеткенде 40 минуттан аспайды, бұл 50 гектар жердің көрінісін суретке түсіруге жарамды, қосымша қондырғылармен жабдықталып, салмағы артқан сайын және өте жоғары дәлдіктегі мультиспектралды камералармен, лидармен суретке түсіру ұшу уақытын едәуір шектейді;

- өте жоғары дәлдіктегі камералармен, қосымша қондырғылармен жабдықталған үлгілерінің бағасы салыстырмалы түрде қымбат;

Деректерді талдау

Үшудан кейін суреттерді камералдық жағдайда жеке компьютерге жүктеп, арнайы бағдарламалық өнімдер арқылы өндеп, жер беті топырақ, өсімдік жамылғысының 12 индексіне дейін анықтауға болады.

Қорытынды

Еліміздегі жел эрозиясына бейім топырақтардың үлкен аймақты қамтуын ескере отырып, жоғарыда көрсетілген әдістердің ішінен нақты кезеңде қолдануға қашықтықтан зондылау ұсынылады. Әдістің алгоритмінде эрозиялық белсенділікті бағалауға қоса оны болжауға мүмкіндік қарастырылған. Дефляциялық үдерістерді зерттеу бағытында жарияланған мақалаларды сараптау барысында еліміздің эрозиятану, топырақтану саласы мамандарының әлемдік трендтерге сәйкес жаңаша әдіс-тәсілдерді пайдалану көлемі аздық ететіндігі, өңірлік жоғары оқу орындарынан мұндай зерттеулердің тіпті жүргізілмейтіндігі анықталды. Рас, өзен алабындағы топырақтың шайылу көлемін камералдық жағдайда есептеу жұмыстарында едәуір алға басушылық бар, шетелдік USLE, RUSLE, MUSLE, WEPP, SWAT және т.б. үлгілерін пайдаланып, біршама ғылыми-зерттеулер жүргізілген. Дегенмен, жел эрозиясынан топырақтың үрленуін үлгілеуде де WEQ, RWEQ, GIS-RWEQ, WEPS, WEELS және т.б. математикалық тендеулерінің аридті аймақтарда орналасқан елдерде ғалымдармен егжей-тегжейлі қолданылғандығын, кі-

ріс деректерінің калибрленіп, шындалғандығын ескерген жөн. Соңғы жылдары шыққан үлгілер геоақпараттық жүйелермен бірігіп, жерді қашықтықтан зондылау деректерін, радарлық, лидарлық, мультиспектралды технологияларды қолдануға бейімделген және машиналық оқыту арқылы автоматты түрде зерттеу объектінің қасиеттері мен күйін бағалауға мүмкіндік береді.

Қорыта айтқанда Қазақстан Республикасы территориясында бақыланатын эолдық үдерістер мен шаңды бөлшектердің жылжуы механизмдерін түсіну үшін қашықтықтан зондылау деректері мен метеорологиялық мәліметтерден тұратын кешенді әдістерді дамыту мәліметтері бойынша жетілдірілген үлгілер құрастырып, эрозиялық үдерістерді болжап, карталар жасау қажет.

Мүдделер қақтығысы

Авторлар мүдделер қақтығысының жоқ екенін мәлімдейді.

Авторлардың үлесі

Conceptualization, N.S. and Y.S.; Methodology, Y.S.; Software, Y.S.; Validation, N.S., B.K. and Y.S.; Formal Analysis, B.K.; Investigation, N.S.; Resources, B.K.; Data Curation, B.K.; Writing – Original Draft Preparation, Y.S. & B.K.; Writing – Review & Editing, Y.S. & N.S.; Visualization, Y.S.; Supervision, N.S.; Project Administration, Y.S.; Funding Acquisition, Y.S.

Әдебиеттер

- Almaganbetov, N., & Grigoruk, V. (2008). Degradation of soil in Kazakhstan: Problems and challenges. In L. Simeonov & V. Sargsyan (Eds.), *Soil chemistry, pollution, risk assessment, remediation and security* (NATO Science for Peace and Security Series). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8257-3_27
- Blaney, D.G., & Warrington, G.E. (1983). *Estimating soil erosion using an erosion bridge* (WSDG-TP-00008 Report). USDA Forest Service.
- Borrelli, P., Lugato, E., Montanarella, L., & Panagos, P. (2017). A new assessment of soil loss due to wind erosion in European agricultural soils using a quantitative spatially distributed modelling approach. *Land Degradation & Development*, 28, 335–344. <https://doi.org/10.1002/ldr.2588>
- Clark, R.D. (1980). *Erosion condition classification system* (Technical Note 346). Bureau of Land Management.
- Duniway, M.C., Pfennigwerth, A.A., Fick, S.E., Nauman, T.W., Belnap, J., & Barger, N.N. (2019). Wind erosion and dust from U.S. drylands: A review of causes, consequences, and solutions in a changing world. *Ecosphere*, 10(3), Article e02650. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2650>
- Fulajtar, E., Mabit, L., Renschler, C.S., & Lee, Z.Y.A. (2017). *Use of 137Cs for soil erosion assessment*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Goloso, V.N., Collins, A.L., Dobrovolskaya, N.G., Bazhenova, O.I., Ryzhov, Y.V., & Sidorchuk, A.Y. (2021). Soil loss on the arable lands of the forest-steppe and steppe zones of European Russia and Siberia during the period of intensive agriculture. *Geoderma*, 381, Article 114678. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114678>
- Lackóová, L., et al. (2023). Unlocking the potential of remote sensing in wind erosion studies: A review and outlook for future directions. *Remote Sensing*, 15(13), 3316. <https://doi.org/10.3390/rs15133316>
- Loughran, R.J., Pennock, D.J., & Walling, D.E. (2002). Spatial distribution of Caesium-137. In F. Zapata (Ed.), *Handbook for the assessment of soil erosion and sedimentation using environmental radionuclides* (pp. 97–109). Springer. https://doi.org/10.1007/0-306-48054-9_6
- Mabit, L., Benmansour, M., & Walling, D.E. (2008). Comparative advantages and limitations of fallout radionuclides (137Cs, 210Pb and 7Be) to assess soil erosion and sedimentation. *Journal of Environmental Radioactivity*, 99(12), 1799–1807. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2008.08.009>
- Mandakh, N., Tsogtbaatar, J., Dash, D., et al. (2016). Spatial assessment of soil wind erosion using WEQ approach in Mongolia. *Journal of Geographical Sciences*, 26, 473–483. <https://doi.org/10.1007/s11442-016-1280-5>
- Mendez, M.J. (2022). A new wind erosion sampler called “Mendez’s trap (MT)”: Description and field performance test in a loamy sand soil. *Aeolian Research*, 56, Article 100800. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2022.100800>
- Ritchie, J.C., & McCarty, G.W. (2003). 137Cesium and soil carbon in a small agricultural watershed. *Soil and Tillage Research*, 69(1–2), 45–51. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00127-7](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00127-7)
- Sac, M.M., Ugur, A., Yener, G., & Ozden, B. (2008). Estimates of soil erosion using cesium-137 tracer models. *Environmental Monitoring and Assessment*, 136(1–3), 461–467. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9700-8>
- Saparov, A. (2014). Soil resources of the Republic of Kazakhstan: Current status, problems and solutions. In L. Mueller, A. Saparov, & G. Lischeid (Eds.), *Novel measurement and assessment tools for monitoring and management of land and water resources in agricultural landscapes of Central Asia* (Environmental Science and Engineering Series). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-01017-5_2

- Shrestha, D.P. (2008). *Guidelines for monitoring and assessment of wind erosion at site level*. ACSAD. <https://research.utwente.nl/en/publications/guidelines-for-monitoring-and-assessment-of-wind-erosion-at-site->
- Woodruff, N.P., & Siddoway, F.H. (1965). A wind erosion equation. *Soil Science Society of America Proceedings*, 29(5), 602–608. <https://doi.org/10.2136/sssaj1965.03615995002900050035x>
- Ypsilantis, W.G. (2011). *Upland soil erosion monitoring and assessment: An overview* (Technical Note 438). Bureau of Land Management. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.154510>
- Zhidkin, A.P., Shamshurina, E.N., Golosov, V.N., Komissarov, M.A., Ivanova, N.N., & Ivanov, M.M. (2020). Detailed study of post-Chernobyl Cs-137 redistribution in the soils of a small agricultural catchment (Tula region, Russia). *Journal of Environmental Radioactivity*, 223–224, Article 106386. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020.106386>
- Бельгибаев, М.Е. (2016). Некоторые закономерности развития эоловых процессов в семиаридной и аридной зонах. *ФМУ□ ЕСУРС УЛАРД*, 171.
- Гендугов, В.М., & Глазунов, Г.П. (2007). *Ветровая эрозия почвы и запыление воздуха*. ФИЗМАТЛИТ.
- Гусаров, А.В., Голосов, В.Н., Шарифуллин, А.Г., & Гафуров, А.М. (2018). Современный тренд эрозии пахотных черноземов южных на западе Оренбургской области. *Почвоведение*, (5), 601–616.
- Зинабдин, Н.Б. (2020). Ландшафтно-экологический анализ деградации земель дельты реки Сырдарии и осушенного дна Аральского моря. *Вестник КазНУ. Серия географическая*, 55(4), 37–46. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2020.v55.i4.04>
- Куанышбаев, С.Б. (2010). *Дефляционно-аккумулятивные процессы Южного Прибалхашья*. Костанайский государственный педагогический институт.
- Кузнецов, М.С., & Глазунов, Г.П. (2020). *Эрозия и охрана почв*. Издательство МГУ.
- Ларионов, Г.А. (1993). *Эрозия и дефляция почв: Основные закономерности и количественные оценки*. Издательство МГУ.
- Иванов, А.Л. (Ред.). (2013). *Научные основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий России и формирования систем воспроизводства их плодородия в адаптивно-ландшафтном земледелии*. Почвенный институт им. В. В. Докучаева.
- Сарсеева, Л.Б., & Айдаров, О.Т. (2021). Қызылорда облысы геокешендердің табиғи даму тенденциясы. In *Impact of Modernity on Science and Practice* (p. 45). Madrid, Spain.
- Трофимец, Л.Н., и др. (2022). Применение цезия-137 чернобыльского происхождения для расчета эрозионных потерь почвы на участках выпашанных почв в бассейне верхней Оки. *ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий*, 28, 813–828.

References

- Almaganbetov, N., & Grigoruk, V. (2008). Degradation of soil in Kazakhstan: Problems and challenges. In L. Simeonov & V. Sargsyan (Eds.), *Soil chemical pollution, risk assessment, remediation and security* (NATO Science for Peace and Security Series). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8257-3_27
- Bel'gibaev, M.E. (2016). Nekotorye zakonomernosti razvitiya jeolovyh processov v semiaridnoj i aridnoj zonah [Some patterns of development of aeolian processes in semiarid and arid zones]. *F MUX ESURS ULARD*, 171.
- Blaney, D.G., & Warrington, G.E. (1983). *Estimating soil erosion using an erosion bridge* (WSDG-TP-00008 Report). USDA Forest Service.
- Borrelli, P., Lugato, E., Montanarella, L., & Panagos, P. (2017). A new assessment of soil loss due to wind erosion in European agricultural soils using a quantitative spatially distributed modelling approach. *Land Degradation & Development*, 28, 335–344. <https://doi.org/10.1002/ldr.2588>
- Clark, R.D. (1980). *Erosion condition classification system* (Technical Note 346). Bureau of Land Management.
- Duniway, M.C., Pfennigwerth, A.A., Fick, S.E., Nauman, T.W., Belnap, J., & Barger, N.N. (2019). Wind erosion and dust from U.S. drylands: A review of causes, consequences, and solutions in a changing world. *Ecosphere*, 10(3), e02650. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2650>
- Fulajtar, E., Mabit, L., Renschler, C.S., & Lee, Z.Y.A. (2017). *Use of 137Cs for soil erosion assessment*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Gendugov, V.M., & Glazunov, G.P. (2007). *Vetrovaja jerozija pochvy i zapylenie vozduha [Wind erosion of soil and air dust]*. FIZMATLIT.
- Golosov, V.N., Collins, A.L., Dobrovolskaya, N.G., Bazhenova, O.I., Ryzhov, Y.V., & Sidorchuk, A.Y. (2021). Soil loss on the arable lands of the forest-steppe and steppe zones of European Russia and Siberia during the period of intensive agriculture. *Geoderma*, 381, 114678. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114678>
- Gusarov, A.V., Golosov, V.N., Sharifullin, A.G., & Gafurov, A.M. (2018). Sovremennyy trend jerozii pahotnyh chernozemov juzhnyh na zapade Orenburgskoj oblasti [Current erosion trend of southern arable chernozems in the west of the Orenburg region]. *Pochvovedenie*, 5, 601–616.
- Kuanyshbaev, S.B. (2010). *Deflationary and accumulative processes in Southern Pribalhash*. Kostanay State Pedagogical Institute.
- Kuznecov, M.S., & Glazunov, G.P. (2020). *Jerozija i ohrana pochv [Erosion and soil conservation]*. Moscow State University Press.
- Lackóová, L., et al. (2023). Unlocking the potential of remote sensing in wind erosion studies: A review and outlook for future directions. *Remote Sensing*, 15(13), 3316. <https://doi.org/10.3390/rs15133316>

- Larionov, G.A. (1993). *Jerozija i defljacija pochv: Osnovnye zakonomernosti i kolichestvennye ocenki [Soil erosion and deflation: Basic patterns and quantitative estimates]*. Moscow State Univ. Press.
- Loughran, R.J., Pennock, D.J., & Walling, D.E. (2002). Spatial distribution of Caesium-137. In F. Zapata (Ed.), *Handbook for the assessment of soil erosion and sedimentation using environmental radionuclides*. pp. 97–109. Springer. https://doi.org/10.1007/0-306-48054-9_6
- Mabit, L., Benmansour, M., & Walling, D.E. (2008). Comparative advantages and limitations of fallout radionuclides (¹³⁷Cs, ²¹⁰Pb and ⁷Be) to assess soil erosion and sedimentation. *J. of Environ. Radioactivity*, 99(12), 1799–1807. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2008.08.009>
- Mandakh, N., Tsogtbaatar, J., Dash, D., et al. (2016). Spatial assessment of soil wind erosion using WEQ approach in Mongolia. *J. of Geogr. Sci.*, 26, 473–483. <https://doi.org/10.1007/s11442-016-1280-5>
- Mendez, M.J. (2022). A new wind erosion sampler called “Mendez’s trap (MT)”: Description and field performance test in a loamy sand soil. *Aeolian Research*, 56, 100800. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2022.100800>
- Ivanov, A.L. (Ed.). (2013). *Nauchnye osnovy predotvrashhenija degradacii pochv (zemel') sel'skohozjajstvennyh ugodij Rossii i formirovanija sistem vosproizvodstva ih plodородija v adaptivno-landshafinom zemledelii*. Pochvennyj Institut im. V.V. Dokuchaeva.
- Ritchie, J.C., & McCarty, G.W. (2003). ¹³⁷Cesium and soil carbon in a small agricultural watershed. *Soil and Tillage Research*, 69(1–2), 45–51. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00127-7](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00127-7)
- Sac, M.M., Ugur, A., Yener, G., & Ozden, B. (2008). Estimates of soil erosion using cesium-137 tracer models. *Environ. Monit. and Assess.*, 136(1–3), 461–467. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9700-8>
- Sarseeva, L.B., & Aidarov, O.T. (2021). Natural development trends of geosites in Kyzylorda region. In *The VIII International Science Conference “Impact of Modernity on Science and Practice”*. Madrid, Spain.
- Shrestha, D.P. (2008). *Guidelines for monitoring and assessment of wind erosion at site level: Prepared for the ACSAD, Damascus, Syria*. ACSAD. <https://research.utwente.nl/en/publications/guidelines-for-monitoring-and-assessment-of-wind-erosion-at-site->
- Trofimec, L.N., et al. (2022). Primenenie cezija-137 chernobyl'skogo proishozhdenija dlja rascheta jerozionnyh poter' pochvy na uchastkah vypahannyh pochv v bassejne verhnjej Oki [Application of cesium-137 of Chernobyl origin to calculate soil erosion losses in areas of plowed soils in the Upper Oka basin]. *InterKarto-InterGIS: Geoinformacionnoe obespechenie ustojchivogo razvitiya territorij*, 28, 813–828.
- Woodruff, N.P., & Siddoway, F.H. (1965). A wind erosion equation. *Soil Sci. Soc. of America Proc.*, 29(5), 602–608. <https://doi.org/10.2136/sssaj1965.03615995002900050035x>
- Ypsilantis, W.G. (2011). *Upland soil erosion monitoring and assessment: An overview* (Technical Note 438). Bureau of Land Manag. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.154510>
- Zhidkin, A.P., Shamshurina, E.N., Golosov, V.N., Komissarov, M.A., Ivanova, N.N., & Ivanov, M.M. (2020). Detailed study of post-Chernobyl Cs-137 redistribution in the soils of a small agricultural catchment (Tula region, Russia). *J. of Environ. Radioactivity*, 223–224, 106386. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020.106386>
- Zinabdin, N.B. (2020). Landscape and ecological analysis of land degradation in the Syr Darya River delta and the dried-up bed of the Aral Sea. *Bull. of KazNU. Geography Series*, 55(4), 37–46. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2020.v55.i4.04>

Авторлар туралы мәлімет:

Нургуль Сагындыковна Сиханова – PhD, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті “Электр энергетикасы, техносфералық қауіпсіздік және экология” БББ қауымдастырылған профессоры м.а. (Қызылорда, Қазақстан, e-mail: sihanova.nurgul@mail.ru).

Ерлан Алимжанович Шынбергенев (жауапты автор) – PhD, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті “Су шаруашылығы және жерге орналастыру” БББ қауымдастырылған профессоры м.а. (Қызылорда, Қазақстан, e-mail: shynbergenov.erlan@mail.ru).

Бахыткуль Торебаевна Кенжалиева – ауылшаруашылық ғылымдарының кандидаты, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті “Су шаруашылығы және жерге орналастыру” БББ қауымдастырылған профессоры м.а. (Қызылорда, Қазақстан, e-mail: Kenzhalieva@korkyt.kz).

Information about the authors:

Nurgul Sikhanova – PhD, Acting Associate Professor of the Educational Program “Electric Power Engineering, Technosphere Safety and Ecology”, Korkyt Ata Kyzylorda University (Kyzylorda, Kazakhstan, e-mail: sihanova.nurgul@mail.ru).

Erlan Shynbergenov (Corresponding Author) – PhD, Acting Associate Professor of the Educational Program “Water Management and Land Administration”, Korkyt Ata Kyzylorda University (Kyzylorda, Kazakhstan, e-mail: shynbergenov.erlan@mail.ru).

Bakhytkul Kenzhalieva – Candidate of Agricultural Sciences, Acting Associate Professor of the Educational Program “Water Management and Land Administration”, Korkyt Ata Kyzylorda University (Kyzylorda, Kazakhstan, e-mail: Kenzhalieva@korkyt.kz).

Сведения об авторах:

Сиханова Нургуль Сагиндыковна – PhD, и.о. ассоциированного профессора образовательной программы «Электроэнергетика, техносферная безопасность и экология» Кызылординского университета имени Коркыт Ата (Кызылорда, Казахстан, e-mail: sihanova.nurgul@mail.ru).

Шынбергенев Ерлан Алимжанович (автор для корреспонденции) – PhD, и.о. ассоциированного профессора образовательной программы «Водное хозяйство и землеустройство» Кызылординского университета имени Коркыт Ата (Кызылорда, Казахстан, e-mail: shynbergenov.erlan@mail.ru).

Кенжалиева Бахыткуль Торебаевна – кандидат сельскохозяйственных наук, и.о. ассоциированного профессора образовательной программы «Водное хозяйство и землеустройство» Кызылординского университета имени Коркыт Ата (Кызылорда, Казахстан, e-mail: Kenzhalieva@korkyt.kz).

Келіп түсті: 11 қазан 2025 жыл

Қабылданды: 14 сәуір 2026 жыл