

Е.А. Шынбергенов^{1,2,*}, Н.С. Сиханова¹, А.Б. Қарабалаева³

¹Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қазақстан, Қызылорда қ.

²М.В. Ломоносов атындағы Мәскеу мемлекеттік университеті, Ресей, Мәскеу қ.

³Астана Халықаралық университеті, Қазақстан, Астана қ.

*e-mail: shynbergenov.erlan@mail.ru

ҚАЗАҚСТАНДА ТОПЫРАҚТЫҢ ШАЙЫЛУЫН АНЫҚТАУДЫҢ ӘДІСТЕМЕЛІК МӘСЕЛЕЛЕРІ

Антропогендік әсердің күшеюі егістіктен топырақтың беткі құнарлы қабатының шайылуы мен тасымалдануының жеделдетуі барысында су және жел эрозиясы үдерістерінің дамуына әкеледі. Нәтижесінде шартты түрде былайша сипатталған құбылыс байқалады: шайылу – тасымалдау – топырақтың төменде жинақталуы. Топырақтың шайылуын есептеу бойынша ғылыми ортада ұсынылған әдістемелерге көлемді шолу және талдау жүзеге асырылды. Еліміз аграрлық-индустриялық даму бағытын ұстанған мемлекет болуы себепті, топырақтың құнарлығына байланысты белгілі бір тәуекелдерге барады. Бұл тұрғыда топырақтың ықтимал шайылуының мүмкін болатын даму бағытын анықтауға негізделген болжамдық ғылыми зерттеулердің шұғыл қажеттілігі байқалады. Мақалада 1950 жылдары Батыс Сібір мен Солтүстік Қазақстанның далалық алқаптарында тың игеру барысында эрозиялық процестердің пайда болуы мен даму мәселесі қарастырылған. Жаппай жер жырту су мен жел эрозиясының күрт өсуіне әкелгені көрсетілген. Егістіктердің бір бөлігі құнарлылықтың күрт төмендеуіне байланысты игеруден шығарылды. Эрозиялық модельдерді қолдану негізінде алынған нәтижелер жауынның дамуындағы эрозиялық үдерістердің жылдамдығын бағалау келтірілген. Эрозиялық модельдер бойынша есептеулер нәтижесін тексеру үшін далалық әдістерді қолдану қажеттілігі келтірілген. Топырақтың су және жел эрозиясын бағалаудың далалық және қашықтықтан бақылау әдістері ұсынылады.

Түйін сөздер: Су эрозиясы, топырақтың ықтималды шайылуы, топырақтың шайылу факторлары, топырақ эрозиясының қарқындылығы, топырақтың түзілуі, Қазақстанның гумидті аумақтары, RUSLE.

Y.A. Shynbergenov^{1, 2,*}, N.S. Sihanova¹, A.B. Karabalaeva³

¹Korkyt Ata Kyzylorda University, Kazakhstan, Kyzylorda

²Lomonosov Moscow State University, Russia, Moscow

³Astana International University, Kazakhstan, Astana

*e-mail: shynbergenov.erlan@mail.ru

Methodological problems of determining soil loss in Kazakhstan

The increased anthropogenic impact leads to an acceleration of loss and transportation of the surface fertile soil layer from the fields and the development of water and wind erosion processes. As a result, a phenomenon is recorded, conventionally described as follows: loss – transportation – accumulation of soils on slopes. A comprehensive review and evaluation of methods for calculating soil loss presented in scientific circles has been carried out. Kazakhstan, being an agro-industrial state, has certain risks associated with soil fertility. In this context, there is an urgent need for predictive scientific research based on determining the possible direction of development of potential soil loss. The article deals with the problem of the development of erosion processes in the virgin lands of Western Siberia and Northern Kazakhstan, developed in the 1950s. It is shown that plowing led to a sharp increase in water and wind erosion. Part of the arable land was abandoned due to the loss of fertility. Estimates of the rates of erosion processes during the development of stormwater runoff, obtained on the basis of the use of erosion models, are given. The necessity of using field methods for verification of calculations based on erosion models is stated. Field and remote methods for assessing water and wind erosion of soils are recommended.

Key words: water erosion of soils, potential soil loss, soil loss factors, soil erosion intensity, soil formation, Kazakhstan, RUSLE.

Е.А. Шынбергенов^{1,2,*}, Н.С. Сиханова¹, А.Б. Карабалаева³

¹Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Казахстан, г. Кызылорда

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Россия, г. Москва

³Международный университет Астана, Казахстан, г. Астана

*e-mail: shynbergenov.erlan@mail.ru

Методические проблемы определения смыва почв в Казахстане

Усиление антропогенного воздействия приводит к ускорению смыва и транспортировки поверхностного плодородного слоя почвы с полей и развитию процессов водной и ветровой эрозии. В результате регистрируется явление, условно описываемое следующим образом: смыв – транспортировка – аккумуляция почв на склонах. Осуществлен объемный обзор и оценка методик по расчету смыва почв, представленных в научных кругах. Казахстан, будучи аграрно-индустриальным государством, имеет определенные риски, связанные с плодородием почв. В этом контексте наблюдается острая необходимость в прогностических научных исследованиях, основанных на определении возможного направления развития потенциального смыва почв. В статье рассмотрены проблема развития эрозионных процессов на целинных землях Западной Сибири и Северного Казахстана, освоенных в 1950-х годах. Показано, что распашка привела к резкому усилению водной и ветровой эрозии. Часть пашен была заброшена в связи с потерей плодородия. Приведены оценки темпов эрозионных процессов при развитии ливневого смыва, полученные на основе применения эрозионных моделей. Констатируется необходимость применения полевых методов для верификации расчетов по эрозионным моделям. Рекомендуются полевые и дистанционные методы оценки водной и ветровой эрозии почв.

Ключевые слова: водная эрозия почв, потенциальный смыв почв, факторы смыва почв, интенсивность эрозии почв, почвообразование, Казахстан, RUSLE.

Кіріспе

Су эрозиясы – бүкіл әлемдегі құнарлы жерлер мен топырақтың азуының негізгі себебі бола отырып (Borrelli P. et al. 2022: 17-28), көміртегі мен қоректік заттардың айналымына, топырақтың өнімділігі мен тұрақты ауыл шаруашылығына залал келтіру арқылы ғаламдық әлеуметтік-экономикалық жағдайға қауіп төндіреді (Xiong M., Sun R., Chen L. 2019: 31-39) Қоршаған табиғи ортаны қорғау саласында негізгі ғаламдық мәселенің бірі – топырақтың шайылуы болып есептеледі (Лисецкий Ф.Н. и др. 2012: 456; Wang B. et al. 2013: 1-10; Guerra A.J.T. et al. 2017: 27-41). Ол топырақтың жайкүйіне әсер ететін көптеген құрамбөліктердің нашарлауын туындататын бірнеше табиғи және антропогендік факторлардың қатысуы негізіндегі күрделі үдеріс (Borrelli P. et al. 2023: 713-725). Әртүрлі белсенді заттардың әсер етуі салдарынан топырақтың құнарлылығы кеміп, азады (Flanagan D.C. et al. 2002: 13-30; Рейнгард Я.Р. и др. 2012: 258-260; Mondal A. et al. 2016: 1-12). Біріккен Ұлттар Ұйымының (БҰҰ) мақсаты 2030 жылға қарай «экожүйелердің тозуын тоқтату және оларды жаһандық мақсаттарға жету үшін қалпына келтіру» болып табылатын экожүйелерді қалпына келтіру онжылдығының басталуымен (2021-2030) Біріккен Ұлттар Ұйымының Азық-түлік және ауылшаруашылық

ұйымы (ФАО) топырақ эрозиясын тоқтату үшін шаралар қабылдауға шақырып, осы мәселелерді шешуге едәуір жұмыстар атқарылды (Borrelli P. et al. 2023: 713-725). Топырақ қабатының бұзылуында жаңбыр тамшыларының әрекеті ерекше мәнге ие, салдарынан беткейлік шайылу белгілері пайда болуына әкеп соғады (Pimentel D. 2006: 119-137; Machiwal D. et al. 2015: 183-195). Топырақтың құнарлы қабатының беткейлік шайылудан ысырап болуы ғаламдық деңгейде кең таралған және барлық табиғи экожүйелердің, әсіресе, ауылшаруашылық, орман және жайылымдық алқаптардың өнімділігіне теріс әсер етеді (Pimentel D. 2006: 119-137; Golosov V., Walling D. 2019). Мәселен, БҰҰ Сауда және ауылшаруашылығы ұйымы есебі бойынша адамзаттың пайдаланатын азығының 99,7% астамы топырақтан алынады, алайда, топырақтың жоғалуы көп жағдайда табиғи топырақ түзілу қарқынынан бірнеше есе асып түсетіндігін ескерсек, топырақтың қалыптасу жылдамдығы оның азуынан 10-14 есе баяу өрбиді. АҚШ ауылшаруашылығы алқаптарындағы топырақтың шайылуы жылына орташа есеппен бір гектардан 30 тоннаны құрайды, бұл топырақтың табиғи жағдайда қалыптасу қарқынынан 8 есе жедел (Guerra A.J.T. et al. 2017: 27-41). Ресей, АҚШ, Қытай, Австралия, Үндістан және Африка мен Оңтүстік Американың кейбір елдеріндегідей Қазақстанда

да топырақ эрозиясы кең таралған (Li Z., Fang H. 2016: 94-117). Еліміздің территориясында ауылшаруашылығы алқаптарының 25,5 млн. га. ықтимал топырақ эрозиясы таралған (Almaganbetov N., Grigoruk V. 2008).

Зерттеу материалдары мен әдістері

Мақаланы дайындау барысында келесі зерттеу әдістері қолданылды: ретроспективті талдау, салыстырмалы талдау, жүйелік-құрылымдық тәсіл, типологиялық тәсіл, ұқсастық әдісі.

Топырақтың ықтимал шайылу факторлары

Топырақтың шайылуын анықтайтын қолданыстағы әдістер түгел дерлік белгілі бір факторлар жиынтығынан құралады (жер бедерінің морфометриясы, ауа-райы көрсеткіштері, топырақтың морфологиялық-генетикалық қасиеттері және т.б.). Белгілі бір фактордың басым болуы және/немесе көрсеткіштердің реттілігі зерттеу аумағының нақты жағдайларына байланысты. Ғылыми қауымдастықта топырақтың ықтималды эрозиясының триггерлері әртүрлі тұжырымдалған, мысалы, бір дереккөзде оның климат, топырақ, жер бедері екені көрсетілген (Guerra A.J.T. et al. 2017: 27-41), екіншісінде топырақ шайылуының себебі – жерді пайдалану, өңдеу, климат және топография, әлеуметтік-экономикалық жағдайлар болып табылады (Blanco H., Lal R. 2010: 21-52). Су және жел эрозиясының қауіпті деңгейін анықтау жөніндегі әдістемелік нұсқауларда (Методические указания ... 2015: 23) факторлардың мынадай үйлесімділігі келтіріледі: климат, жер бедері, топырақ, өсімдік жамылғысы, шаруашылық қызмет, жануарлар әлемі, әлеуметтік-экономикалық жағдайлар. М.Н. Заславскийдің айтуынша, эрозия қаупінің алғышарты келесі жағдайдың нәтижесі болып табылады: климат, рельеф, геология, топырақ, топырақты қорғаудағы өсімдік жамылғысының қызметі, жерді экономикалық пайдалану (Заславский М.Н. 1983: 320), қазіргі авторлардың жұмысында, геологияны қоспағанда, ұқсас факторлар жиынтығы келтірілген (Бурак Ж.А. 2014: 140-146).

Топырақтың шайылу мөлшерінің классификациясы

Әдебиеттерде шайылған топырақты мөлшерлеуді жіктеудің екі тобы бар: сапалық және сандық. Сондай-ақ, топырақ эрозиясын зерттеудің әлемдік тәжірибесінде рұқсат етілген шайылу мөлшерінің белгілі бір шекті мәні бар, оның шегінде бұл үдеріс нақты агроэкономикалық ша-

ралар қолданбай жүруі мүмкін. Белгілі ғалым Д.А. Лобб бастаған зерттеушілер тобы – бұл ұзақ мерзімді егіншілікті қолдауға қабілетті өте төмен қауіптілік деңгейіндегі топырақ класы екенін атап өтті (Lobb D.A., Li S., McKonkey B.G. 2016: 77-89). Америка Құрама Штаттарының Ауыл шаруашылығы министрлігі 1960 жылы топырақ шығынының максималды рұқсат етілген мөлшерін жылына 5 т/га шамасында қабылдады (кесте 1), бұл топырақ эрозиясын бағалауды кодтау жүйесінің екінші класы – «мардымсыз» шамасына сәйкес келеді (Guerra A.J.T. et al. 2017: 27-41).

Канадада топырақ эрозиясының рұқсат етілген класы «өте төмен» деп белгіленеді және жылына 6 т/га дейін шайылады (Wall G.J. et al. 2002: 117; Lobb D.A. et al. 2007: 377-387, 2016: 77-89; Li S. et al. 2010: 114-117). Ресейде шайылған топырақ мөлшерінің рейтингі айтарлықтай ерекшеленеді (кесте 1), мысалы, «мардымсыз» шаю дәрежесі жылына 0,5 т/гадан (Заславский М.Н. 1983: 320) 2,5 т/га/жылға дейін бағаланады (Балакай Н.И. 2011: 11). Бұған табиғи жағдайлар, құнарлы топырақ қоры, «эрозиятану» ғылымының даму деңгейі, ауыл шаруашылығында басшылыққа алынған стратегия, эрозияға қарсы қабылданған шаралардың сапасы және жекелеген мемлекеттердің басқа да ұстанымдары себеп болуы мүмкін. Ұсынылған 1-кестеде біз еркін қол жетімді басылымдарда ұсынылған шайылған топырақ мөлшерінің градациясын анықтауға тырыстық. Сонымен қатар, бұл бөлім өте кең таралған белгілермен көрсетілген топырақты шаю кластары негізінде жүргізілді. Айта кетерлігі, еркін қолжетімді әдебиеттерде елімізде топырақтың шайылуын мөлшерлеуге байланысты жіктеу туралы мәліметтер келтірілмеген. Мүмкін, мұндай жұмыстар Кеңес Одағы тұсында жүргізілген болар, дегенмен, ол кезден бері 30-40 жыл өтуіне байланысты, жаңа классификацияның қажеттігі байқалады.

Беткейлік эрозия, шайылатын өнімнің массасынан бөлек, топырақтың шайылу жылдамдығын ескереді. Шаюдың қарқындылығы қалыпты немесе жеделдетілген болуы мүмкін, бірінші жағдайда беткі қабатты шаю табиғи топырақ түзілу жылдамдығынан аспайды, ал соңғы жағдайда топырақ түзілу үдерісі топырақ эрозиясына ілесе алмайды, бұл топырақ құнарлылығының төмендеуіне әкеледі (Заславский М.Н. 1983: 320; Заславский М.Н. и др. 1984: 31-44; Голубев И.А. 2009: 12-15; Лисецкий Ф.Н. и др. 2012: 456; Guerra A.J.T. et al. 2017: 27-41).

1-кесте – Топырақ шайылуының қарқындылығын анықтау тәсілдері

Жіктеу тобы		Шайылу дәрежесі							
		Гумус қорының азаюы / топырақ кескінінің түгелімен шайылуы, %							
C1	1	I	әлсіз		орташа	күшті	өте күшті		
		II	> 30 / > 20		30-60 / 20-40	60-80 / 40-60	80-100 / 60-100		
C2	2	I	Эрозия қарқындылығының межесі / Кеңес Одағы, Ресей						
		II	т/га/жыл						
		I	мардымсыз	әлсіз	орташа	күшті	өте күшті		
		II	< 0,5	0,5-1	1-5	5-10	> 10		
	3	I	Топырақ шайылуының дәрежесі / Ресей						
		II	т/га/жыл						
		I	мардымсыз	әлсіз	бірқалыпты	орташа	күшті	өте күшті	апатты
		II	≤ 2,5	2,6-5,0	5,1-10	10-30	30-50	50-70	> 70
	4	I	Егістікте топырақ эрозиясын бағалаудың кодтау жүйесінің класы / АҚШ						
		II	Эрозия жылдамдығы, т/га/жыл						
		I	шекті шама (Т шамасы)		бірқалыпты	жоғары	күшті	өте күшті	апатты
			өте мардымсыз	мардымсыз					
		II	≤ 2	2-5	5-10	10-50	50-100	100-500	> 500
		5	I	Топырақ эрозиясының класы / Канада					
	II		Топырақтың ықтимал жоғалуы, т/га/жыл						
	I		шекті		төмен	бірқалыпты	жоғары	күшті	
мардымсыз			өте төмен						
II	< 3	3-6	6-11	11-22	22-33	> 33			

Ескерту. C1 – Сапалық; C2 – Сандық;

(1) – Наумов С.В. 1955: 60-67; Швебс Г.И. 1981: 3-116;

(2) – Заславский М.Н. 1983: 320;

(3) – Балакай Н.И. 2011: 11; Методические указания ... 2015: 23;

(4) – Morgan R.P.C. 2005: 11-261;

(5) – Wall G.J. et al. 2002: 117; Li S. et al. 2010: 114-117; Lobb D.A. et al. 2016: 77-89.

Қазіргі уақытта топырақтың эрозиялық ысыраптарын есептеу үшін геоақпараттық жүйелер кеңінен қолданылады, бұл егжей-тегжейлі және жаһандық жалпылау деңгейінде шайылу шамаларын өте дәл бағалай отырып, деректердің үлкен көлемін өңдеуге мүмкіндік береді. Осы бағыттағы заманауи ақпараттық технологиялар бұрын-соңды болмаған үлкен аумақтар үшін эрозияны бағалауға мүмкіндік бере отырып, нақты серпіліс жасады деп айтуға болады. Бұл міндеттер үшін әртүрлі эрозиялық модельдер жиі қолданылады, олар «USLE» (Wischemeier W.H., Smith D.D. 1958: 458-462; 1978: 65) «WEPP» (Flanagan D.C. et al. 2007: 1603-1612), «SWAT» (Gassman P.W. et al. 2007: 1211-1250), «RUSLE» (Renard K. et al. 1997: 404). Көрсетілгендердің ішінде «RUSLE» моделі жиі қолданылады. Эро-

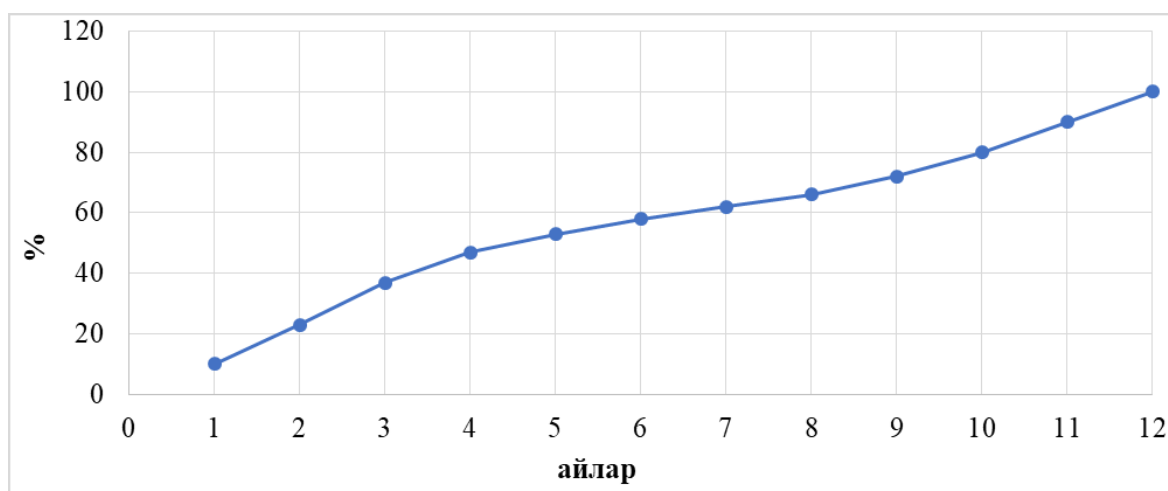
зияны кеңістіктік бағалауды жүзеге асырудың тағы бір ерекшелігі, сонымен қатар оны ГАЗ көмегімен картаға түсіру – деректерді ұйымдастырудың растрлық моделін қолдану. Осы тәсілді қолдана отырып, ірі аумақтар үшін топырақтың ықтимал шығындарын сандық бағалау бойынша көптеген жұмыстар жүргізілді: Еуропа – RUSLE (Panagos P. et al. 2015: 438-447; Bosco C. et al. 2015: 225-245); Құрама Штаттары (Flanagan D.C. et al. 2007: 1603-1612, 2016: 23-26) және ғаламдық (Borrelli P. et al. 2023: 713-725).

Топырақ шайылуын есептеуде математикалық үлгілердің КСРО тұсында пайдаланылуы
М.В. Ломоносов атындағы Мәскеу мемлекеттік университеті География факультетінің «Топырақ эрозиясы және арналық үдерістер»

ғылыми-зерттеу зертханасында 1980 жылдары КСРО-ның бүкіл аумағын қамтитын су және жел эрозиясы бойынша әртүрлі ауқымды зерттеулер ұйымдастырылды. Солтүстік Еуразияның физика-географиялық жағдайына сәйкес жауын-шашын кезіндегі шайылуды бағалау үшін жетілдірілген топырақ эрозиясының әмбебап теңдеуі (USLE) негізінде және еріген қар ағыны кезінде шайылуды бағалау үшін Мемлекеттік Гидрологиялық Институттың түрлендірілген теңдеуі негізінде құрылған бірыңғай әдістеме бойынша Ресей Федерациясы мен Қазақстанның барлық игерілген тың аудандары үшін топырақ эрозиясының қарқынын бағалау жүргізілді (Ларионов Г.А. 1992: 200). Айта кету керек, эрозиялық модельдер бойынша есептеулерден бөлек, дәстүрлі және соңғы әдістер жиынтығын қамтитын негізгі объектілердегі топырақ эрозиясын бағалау бойынша егжей-тегжейлі далалық зерттеулер жүргізілді. Атап айтқанда, егістіктегі топырақтың шайылуын және беткейлердің төменгі бөліктері мен құрғақ арналар желісінің түбінде егістіктен шайылған шөгінділердің жиналуын бағалауға мүмкіндік беретін топырақтық-морфологиялық әдіспен қатар, цезий-137 изотопы маркер ретінде қолданылған радиоцезийлік әдіс қолданылды (Голосов В.Н. 2000: 26-33). Бұл изотоптың шығу тегі техногендік және 1954 жылдан 1970 жылдардың аяғына дейін атмосферадан түскен. Оның ең көп түсуі 1963 жылы КСРО мен АҚШ арасында ашық атмосферада ядролық қаруды сынауға тыйым салу туралы келісімге қол қойылған кезде болды. Зерттеулер жүргізілген негізгі су алаптары Ресей Федерациясының

дала аймағында: Орынбор облысының Тоцк ауданында және Алтай өлкесінің Шелаболихин ауданында орналасқан. Алынған нәтижелер эрозиялық модельдер бойынша шаю қарқынын есептеу тұтастай алғанда еріген қар және нөсер жауын суларынан шайылу кезінде топырақ шығындарының барабар мөлшерін алуға мүмкіндік беретіндігін анықтауға мүмкіндік берді. Алайда, әртүрлі қарқындылықтағы шаю аймақтары орналасуының кеңістіктік заңдылықтарын анықтау үшін есептік деректерді далалық тексеруден өткізген жөн. Орал алды дала аймағының, Батыс Сібірдің оңтүстігі мен Қазақстанның солтүстігіндегі тың жерлерге нөсер жауынның да, еріген қар суының да тең дәрежеде әсер еткенін атап өту маңызды. Әсіресе, еріген қардың ағынды сулары мен шайылу жыл сайын байқалып отырды.

Сол зерттеу бағдарламасы шеңберінде орындалған Солтүстік Еуразия аумағы үшін желдің дефляциялық әлеуетінің есептеулері Батыс Сібірдің оңтүстігі мен Қазақстанның көп бөлігі Солтүстік Еуразия үшін желдің дефляциялық әлеуетінің шекті жылдамдығы 11 м/сек болатын ең жоғары мәндері бар 30 бірлікті құрайтын аймаққа жатады деген қорытындыға келді, ал Қазақтың ұсақ шоқылары шегінде, рельефтің ерекшеліктеріне байланысты, тіпті > 30 (Ларионов Г.А. и др. 1988: 91-102). Желдің эрозиялық әлеуетінің жыл ішіндегі таралуын да ескерген жөн. Батыс Сібірдің оңтүстігі мен Қазақстан аймағы үшін едәуір бөлігі жылдың суық мезгіліне сәйкес келеді (сурет 1).



1-сурет – Батыс Сібірдің оңтүстігі мен Қазақстандағы желдің дефляциялық әлеуетінің жыл ішіндегі таралуы (Ларионов Г.А. 1992: 200 мәліметтері бойынша)

Климаттың жылынуы 1970 жылдардың ортасынан басталғаны белгілі, 1990 жылдары айтарлықтай жеделдеді және бүгінгі күнге дейін жалғасуда. Осылайша, жаһандық ауа температурасының өсу кезеңінен бері 30 жылдан астам уақыт өтті. Сонымен бірге, осы кезеңде КСРО-ның ыдырауы және жаңадан құрылған тәуелсіз мемлекеттерде туындаған экономикалық қиындықтар, соның ішінде ауылшаруашылық өндірісіне әсер етті (Шынбергенев Е.А., Ермолаев О.П. 2017: 513-528; Golosov V., Walling D. 2019). Бұл 1990 жылдары толыққанды жүргізілмеген тың аудандардың ауылшаруашылық жерлеріндегі эрозиялық процестердің дамуын бағалау бойынша зерттеулерге бірдей әсер етті.

Зерттеу нәтижелері және талқылау

Қазақстандағы топырақ эрозиясы алғышарты мен зерттелуі

Қазақстанның климаттық жағдайларына байланысты жел эрозиясы жиі кездеседі, оның қарқындылығы тың жерлерді игеру жылдарында тіпті артып кетті (Пашков С.В., Пигалев А.В. 2016: 14-25), сондай-ақ көктемгі қар еру кезеңінде және жылы мезгілде жауған нөсер жауын кезінде әсіре байқалатын су эрозиясы ерекше назар аударады. Эрозияға ұшыраған жерлердің едәуір бөлігі Қазақстанның солтүстігіндегі егістік алқаптарға тиесілі, онда 1954-1960 жылдар аралығында 25,5 млн.га тың және тыңайған жерлер жыртылды, салыстырмалы түрде осы кезеңде Ресей Федерациясында егістік алқаптары 16,5 млн. га-ға өсті (Левыкин С.В. и др. 2018: 216). Қазақстан Республикасында топырақ эрозиясы ірі ошақтары қалыптасуының алғашқы құжатталған фактілері жаңадан құрылған Тың өлкесінде (Ақмола, Қостанай, Көкшетау, Павлодар және Солтүстік Қазақстан облыстары) тың жерлерді игерудің басталуымен байланысты болды (Мусағалиева А.С., Мусабекова Р.М. 2020: 31-44). Жаппай жер жырту – топырақтың беткі қабатындағы су ағынының ұлғаюына және шағын өзен арналарына түсетін шөгінділер көлемінің өсуіне әкелді. Ресейдің Орал өңірі үшін әр түрлі уақыттағы топографиялық карталарды егжей-тегжейлі салыстыру негізінде жаппай жер жыртудан кейінгі кезеңде олардың шөгуіне байланысты шағын өзендердің ұзындығының қысқаруы анықталды (Голосов В.Н., Иванова Н.Н. 1993: 684–688). Дәл осы кезеңде Қазақстанның тың аймақтарындағы шағын өзендердің лайлануы және ішінара кеуіп

қалуы ұқсас себептерге байланысты болды деп тұжырымдауға болады. Тұрақты су ағындары желісі ұзындығының қысқаруы автоматты түрде құрғақ аңғарлар желісінің ұзындығының өсуіне әкелді. Егістіктен шайылған шөгінділердің көп бөлігі құрғақ сай-салалар желісіне жинала бастады, бұл тұрақты су ағындарына шөгінділердің ағынының азаюына әкелді.

Сонымен қатар, 1950-1960 жылдардағы қатты жел эрозиясынан топырақтың құнарлы қабатының айтарлықтай жоғалуы 1970 жылдардың басында Ресей Федерациясы мен Қазақстанның дала аймақтарындағы егістік алқаптары ауданының қысқаруына әкелді. Дегенмен, жерді пайдаланудағы ең маңызды өзгерістер 1990 жылдардың басында, ең алдымен, Ресей Федерациясының Қазақстанмен шекаралас дала аймақтарында егістік алқаптардың едәуір бөлігі тастанды жерлерге айналған кезде болды (Левыкин С.В. и др. 2018: 216).

Соңғы онжылдықтарда Қазақстанда эрозияны бағалау бойынша зерттеулер жанданды. Атап айтқанда, Ақмола облысының топырағының эрозиясы мен дефляциясын аймақтың агломерациялық дамуы жағдайында зерттеген ҚР БҒМ География институты жұмыстары назар аударады (Акиянова Ф.Ж., Васильченко Н.И. 2015: 372-376). Дегенмен, алынған нәтижелер дәстүрлі, үлкен аумақтарды қамтитын әдістемеге негізделген, яғни, негізгі телімдер желісіне топокарталарды пайдалану арқылы деректерді кеңістіктік экстраполяциялау. Мұнан бөлек, ҚР-дағы ауыл шаруашылығы алқаптарында су және жел эрозиясының дамуына жартылай сандық баға берілді (Маулен Ж.Е. 2022: 16-20), USLE моделі бойынша есептеулер негізінде Алтай тауларының шағын өзен бассейндері жағдайында топырақтың шайылуы есептелді (Маханова Н.Б. и др. 2020: 56-69; Турыспекова Э.М. және басқалар 2022: 108-119), Солтүстік Қазақстанда жырлардың пайда болу себептеріне талдау жасалды (Пашков С.В., Тайжанова М.М. 2016: 50-63), дала зонасының жартылай қуаң топырағының ықтимал эрозиялануы сипатталды (Koza M. et al. 2022: e13304), жел эрозиясының агенттерін модельдеу жүргізілді (Пашков С.В., Пигалев А.В. 2016: 14-25; Koza M. et al. 2021: 115073). Нәтижесінде, бірқатар аумақтар үшін топырақтың шайылуының есептік мөлшері алынып, олар кең ауқымда өзгеретіндігі анықталды (кесте 1). Еріген қар және нөсер жаңбыр суларының ағыны кезіндегі шаю үдерістерін табиғи күйінде зерт-

теу негізінде шаюдың есептік шамаларын верификациялау немесе эрозиялық үдерістердің қарқындылығын бағалаудың жанама әдістерін пайдалану болмаған кезде алынған деректердің дұрыстығына толық көз жеткізу мүмкін емес. Сондықтан оларды топырақ пен суды қорғау шараларын әзірлеу барысында пайдалануға жарамсыз. Эрозиялық модельдеуді пайдалана отырып орындалған зерттеулер қатарында Қазақстан Республикасын қоса алғанда, Орталық Азиядағы жауын-шашынның эрозиялық индексінің

өзгерістерін болжамды бағалау бойынша жұмыс ерекшеленеді (Duulatov E. et al. 2021: 27-46). Бұл жұмыста климаттық модельдер ансамблі негізінде жауын-шашынның эрозиялық индексінің өзгеру тенденциялары және 2070 жылға дейінгі кезеңге жаңбыр жауған кезде топырақтың шайылуы бағаланды. Алынған мәліметтерге сәйкес жауын-шашынның эрозиялық индексінің және соның салдарынан шаю қарқынының алғашқы пайызының шамалы ғана өсуі мүмкін. Бұл жаңбырдың біркелкі түспеуінің күшеюі аясында болады.

2-кесте – RUSLE моделін және тірек қималарын пайдалану негізінде алынған Қазақстан Республикасының бірқатар өңірлеріндегі топырақты шаюдың қазіргі заманғы қарқынын бағалау нәтижелері

Зерттеу аумағы	Зерттеу пәні	Шаю қарқындылығы, т/га/жыл	Математикалық үлгі	Дереккөз
Ұлан өзені (Ертістің сол саласы)	Топырақ эрозиясы	3,4	RUSLE	Турыспекова Э.М. және басқалар 2022: 108-119
Семей ядролық полигоны (ШҚО, Павлодар, Қарағанды облыстары)	Топырақ эрозиясы	0,356	RUSLE	Асылбекова А.А. және басқалар 2021: 15-24
Нұра өзені	Топырақ эрозиясы	0,13-3,15	RUSLE	Токсанбаева С.Т. и др. 2021: 108-119
Жыланды өзені	Топырақ эрозиясы	189,17	RUSLE	Маханова Н.Б. и др. 2020: 56-69
Солтүстік Қазақстан облысы, «Қызыл Таң»ЖШС	Топырақ эрозиясы	19,5-21,9	Тірек қималары	Озеранская Н.Л. 2015: 41-44

Өкінішке орай, қазіргі климаттық жағдайларда еріген су ағынымен топырақтың шайылуын бағалау бойынша зерттеулер жүргізілмейді. Сонымен қатар, бақылаулардың деректері бойынша Солтүстік Қазақстанның бөгелмеген өзендерінің (Гальперин Р.И. 2013: 3-10) максималды су шығыны барысында жалпы бағытталған уақытша үрдістер көрінбейді, бұл дегеніңіз қар еріген кезде топырақтың шайылуы кем дегенде сол деңгейде қалады деп жорамалдауға мүмкіндік береді. Соңында, соңғы онжылдықтарда Қазақстан үшін жауын-шашын кезінде су эрозиясын анықтау бойынша жарияланған жұмыстарда топырақтың шайылуын бағалау нәтижелерін верификациялау түріндегі дәлелді база жоқ, яғни камералдық жағдайларда алынған есептік мәндерге сүйенеді. Әрине, ең дұрысы, дәлдікті бағалау далалық зерттеулер мен ағынды станцияларында алынған мәліметтермен са-

лыстыру негізінде жасалуы мүмкін. Мұндай мүмкіндік болмаған жағдайда өзендердің өлшенген шөгінділерінің гидрологиялық бекеттерде тіркелетін ағын модулі пайдаланылуы мүмкін. Жалпы, қазақстандық Таулы Алтай өзендерінде небәрі 27 бақылау бекеті тіркелген, оның ішінде ХХ ғасырдың 90-жылдарына қарай 13 бекеттен Ертіс өзенінің сол жағалауының қазақстандық бөлігіндегі шағын өзендерде бес стационарда бақылаулар жүргізіліп, 2015 жылға қарай өз қызметін толығымен тоқтатқан (Чигринец Л.Ю., Байсакова М.К. 2014: 120-134; Апсатарова А.Ж., Чигринец Л.Ю. 2015: 105-117). Алайда, нөсер кезінде шаю қарқынын тексеру үшін өзен шөгінділерінің ағыны туралы мәліметтер жеткіліксіз, өйткені шайылған шөгінділердің көп бөлігі беткейлердің төменгі бөліктерінде және құрғақ сай-салалар желісінде қайта бөгеліп қалады.

Қорытынды

ГАЖ-ға интеграцияланған платформаның математикалық модельдерін қолдана отырып, топырақтышаю есептеулерін жүргізу флювиалды процестерді зерттеудің заманауи бағыттарының бірі болып табылады. Әрине, мұндай жұмыс камералдық жағдайда жүргізіледі және олар әлі толық табиғи бақылауларды алмастыра алмайды және бақылау нүктелеріне негізделген тексеруді қажет етеді. Сынақ учаскелері ретінде Қазақстанның ірі су алаптары шегіндегі шағын өзендер бассейндеріндегі беткейлер қызмет ете алады. Сонымен қатар, әлемде топырақтың шайылуын есептеудің көптеген модельдері жасалды және сыналды. Бұл есептеу нәтижелерін

салыстыруға және белгілі бір өзен бассейні үшін қолайлы формуланы таңдауға мүмкіндік береді. Осыған байланысты Қазақстан мен Батыс Сібірдің оңтүстігіндегі тың жерлер шегінде шайылуды және жел эрозиясын бағалау үшін ең оңтайлы шешім Қазақстан Республикасының Ауыл шаруашылығы жерлерінде сәтті пайдаланылуы мүмкін радиоцезийлік әдіс болып табылады.

АЛҒЫС СӨЗ

Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырды (грант №BR21882415)».

Әдебиеттер

- Almaganbetov N., Grigoruk V. (2008). Degradation of Soil in Kazakhstan: Problems and Challenges. In: Simeonov, L., Sargsyan, V. (eds) Soil Chemical Pollution, Risk Assessment, Remediation and Security. NATO Science for Peace and Security Series. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8257-3_27
- Blanco H. Lal R. (2010) Principles of soil conservation and management // Springer. – pp. 21-52.
- Borrelli P., Poesen J., Vanmaercke M., et al. (2022). Monitoring gully erosion in the European Union: A novel approach based on the Land Use/Cover Area frame survey (LUCAS) // International Soil and Water Conservation Research. – 2022. – Т. 10. – №. 1. – С. 17-28.
- Borrelli P. et al. (2023) Towards a better understanding of pathways of multiple co-occurring erosion processes on global cropland // International Soil and Water Conservation Research. – Т. 11. – №. 4. – С. 713-725.
- Bosco C., de Rigo D., Dewitte O., Poesen J., Panagos P. (2015) Modelling soil erosion at European scale: towards harmonization and reproducibility // Nat. Hazards Earth Syst. Sci., vol. 15, no. 2, – pp. 225-245.
- Duulatov, E. et al. (2021) Projected Rainfall Erosivity and Soil Erosion in Central Asia. In Current and Future Trends of Rainfall Erosivity and Soil Erosion in Central Asia (pp. 27-46). Springer,
- Flanagan D.C., Nearing M.A., Norton L.D. (2002) Soil erosion by water prediction technology developments in the United States // Modelling erosion, sediment transport and sediment yield / W. Summer, D.E. Walling (ed). IHP-VI, Technical documents in hydrology, no. 60, UNESCO, Paris, – pp. 13-30.
- Flanagan D.C., Gilley J.E., Franti T.G. (2007) Water Erosion Prediction Project (WEPP): development history, model capabilities, and future enhancements // Transactions of the ASABE 50 (5), – pp. 1603-1612.
- Gassman P.W. et al. (2007) The Soil and Water Assessment Tool: Historical Development, Application, and Future Research Direction. SWAT. American Society of Agricultural and Biological Engineers. Vol. 50(4). – pp 1211-1250.
- Goloso V., Walling D. (2019) Erosion and sediment problems: global hotspots. UNESCO Digital Library. UNESCO, Paris. <https://unesdoc.unesco.org/ark>
- Guerra A.J.T. et al. (2017) Slope Processes, Mass Movement and Soil Erosion: A Review // Pedosphere, vol. 27, Issue 1, – pp. 27-41.
- Koza, M. et al. (2021). Consequences of chemical pretreatments in particle size analysis for modelling wind erosion. *Geoderma*, 396, 115073.
- Koza, M. et al. (2022). Potential erodibility of semi-arid steppe soils derived from aggregate stability tests. *European Journal of Soil Science*, 73(5), e13304.
- Li S., Lobb D.A., McKonkey B.G. (2010) The impacts of land use on the risk of soil erosion on agricultural land in Canada // 19th World Congress of Soil Sci., Soil Solutions for a Changing World, Australia. Published on DVD. pp. 114-117.
- Li Z., Fang H. (2016) Impacts of climate change on water erosion: A review // Earth-Science Reviews. 163, pp. 94-117.
- Lobb D.A., Huffman E., Reicosky D.C. (2007) Importance of information on tillage practices in the modelling of environmental processes and in the use of environmental indicators // J. of Environmental Manag., vol. 82, pp. 377-387.
- Lobb D.A. Li S., McKonkey B.G. (2016) Soil Erosion // Clearwater, R.L., Martin T., Hoppe T. (eds.) Environmental Sustainability of Canadian Agric.: Agri-Environmental indicator report series – Report #4. Ottawa, ON: Agric. and Agri-Food Canada, pp. 77-89.
- Machiwal D., Katara P., Mittal H.K. (2015) Estimation of soil erosion and identification of critical areas for soil conservation measures using RS and GIS-based Universal Soil Loss Loss Equation // Agric. Res., vol. 4 (2), pp. 183-195.
- Mondal A. et al. (2016) Uncertainty of soil erosion modelling using open source high resolution and aggregated DEMs // Geoscience Frontiers, vol. XXX, pp. 1-12.

- Morgan R.P.C. (2005) Soil erosion and conservation // 3-rd ed. Blacwell Science Ltd. pp. 11-261.
- Panagos P., Borrelli P., Poesen J. et al. (2015) The new assessment of soil loss by water erosion in Europe // Environ. Sci. Policy. Elsevier Ltd, vol. 54, pp. 438-447.
- Pimentel D. (2006) Soil erosion: A food and environmental threat // Environment, Development and Sustainability. vol. 8, pp. 119-137.
- Renard K. et al. (1997) Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) // Agric. Handb. no. 703, 404 p.
- Wall G.J., Coote D.R., Pringle E.A. (2002) RUSLEFAC — Revised Universal Soil Loss Equation for Application in Canada // A Handbook for Estimating Soil Loss from Water Erosion in Canada. Contribution no. AAFC/AAC2244E. 117 p.
- Wang B. et al. (2013) Soil erodibility for water erosion: A perspective and Chinese experiences // Geomorphology, vol. 187, pp. 1-10.
- Wischmeier W.H., Smith D.D. (1978) Predicting rainfall erosion losses // Agric. Handbook. Washington, no. 537. 65 p.
- Wischmeier W.H., Smith D.D., Uhland R.E. (1958) Evaluation of factors in the soil loss equation // Agric. Eng., vol. 39, no. 8, pp. 458-462.
- Xiong M., Sun R., Chen L. (2019) A global comparison of soil erosion associated with land use and climate type // Geoderma. – T. 343. – С. 31-39.
- Акиянова Ф.Ж., Васильченко Н.И. (2015) Процессы эрозии и дефляции почв Акмолинской области в условиях агломерационного развития региона // Материалы международной конференции «Экосистемы Центральной Азии в современных условиях социально-экономического развития». – Улан-Уде, – С. 372–376.
- Апсарова А.Ж., Чигринцев Л.Ю. (2015) Оценка водно-эрозионной деятельности рек казахстанской части левобережья реки Ертіс с использованием данных о твёрдом стоке // Гидрометеорология и экология. № 3 (78). С. 105-117.
- Асылбекова А.А., Мукалиев Ж.К., Жеңісова Н.Е. (2021) ГАЗ технологияларын пайдалана отырып, топырақ эрозиясын бағалау тәсілдерін жетілдіру // Хабаршы. География сериясы. №4 (63), – С. 15-24. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2021.v63.i4.02>
- Балакай Н.И. (2011) Оценка интенсивности проявления эрозии и почвозащитное действие сельскохозяйственных культур // Научный журнал КубГАУ. – №65 (01). – 11 с. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2011/01/03>. – Шифр Информрегистра: 0421100012/0023.
- Буряк Ж.А. (2014) Совершенствование подходов к оценке эрозионной опасности агроландшафтов с использованием ГИС-технологий // Научные ведомости, Серия Естественные науки. – №23 (194), вып. 29. – С. 140-146.
- Гальперин Р.И. (2013) Высокие половодья в северной половине Казахстана. Вопросы географии и геоэкологии, – С. 3-10.
- Голосов В.Н. (2000) Использование радионуклидов при исследовании эрозионно-аккумулятивных процессов. Геоморфология, №2, – С. 26-33.
- Голосов В.Н., Иванова Н.Н. (1993) Особенности заиления малых рек зоны интенсивного сельскохозяйственного освоения // Водные ресурсы. № 6. – С. 684–688.
- Голубев И.А. (2009) Постановка полевых экспериментов по изучению водноэрозионных процессов на пахотных землях Красноярского края // Ботанические исследования в Сибири / Красноярск. отд. Росс. ботан. общ. РАН.. – вып. 17. – С. 12-15.
- Заславский М.Н. (1983) Эрозиоведение. – М.: Высш. шк. – 320 с.
- Заславский М.Н., Ларионов Г.А., Литвин Л.Ф. (1984) Механизм и закономерности проявления процесса // Эрозионные процессы (Географическая наука практике). Ч. 2. Эрозия почв. / Под ред. Н.И. Маккавеева, Р.С. Чалова. – М.: Мысль, – С. 31-44.
- Ларионов Г.А. (1992) Эрозия и дефляция почв: основные закономерности и количественные оценки. М.: Издательство МГУ, 200 с.
- Ларионов Г.А. и др. (1988) Эрозионно-дефляционные земли сельскохозяйственной зоны СССР. География опасных природных явлений, М.: Изд-во Моск. ун-та, – С. 91-102.
- Левыкин С.В. и др. (2018) Проблемы землепользования и пространственного развития степных регионов. М.: РУСАЙНС, – 216 с.
- Лисецкий Ф.Н., Светличный А.А., Черный С.Г. (2012) Современные проблемы эрозиоведения / Под ред. А.А. Светличного. – Белгород: Константа, – 456 с.
- Маулен Ж.Е. (2022) Анализ эрозии сельскохозяйственных угодий в республике казахстан // The scientific heritage. №. 87-1. – С. 16-20.
- Маханова Н.Б. и др. (2020) Оценка эрозии почв по модели «RUSLE» бассейна реки Жыланды // Хабаршы. География сериясы. №4 (59), 2020. – С. 56-69. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2020.v59.i4.05>
- Методические указания по определению опасного уровня водной и ветровой эрозии (2015) ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, – 23 с.
- Мусағалиева А.С., Мусабекова Р.М. (2020) Деятельность ВНИИ зернового хозяйства в рамках борьбы с эрозиями почв в целинных районах Казахстана (1960–1970-е гг.) // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 4, История. Регионоведение. Международные отношения, – Т.25, – №3. – С. 31-44. DOI: <https://doi.org/10.15688/jvolsu4.2020.3.3>
- Наумов С.В. (1955) К вопросу классификации смытых почв // Почвоведение. – N 5. – С. 60-67.
- Озеранская Н.Л. (2015) Направления организации территории в агроландшафтах Северного Казахстана // Земельные

и водные ресурсы: мониторинг эколого-экономического состояния и модели управления материалы международной научно-практической конференции, посвященной 10-летию Института землеустройства, кадастров и мелиорации. – С. 41-44.

Пашков С.В., Пигалев А.В. (2016) Дефляция почв Северо-Казахстанской области // Вестник Забайкальского государственного университета. – Т. 22. – № 2. – С. 14-25.

Пашков С.В., Тайжанова М.М. (2016) Детерминанты овражной эрозии в Северном Казахстане // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. – № 4. – С. 50-63.

Рейнгард Я.Р. и др. (2012) Изменение структуры почвенного покрова в связи с развитием процессов эрозии и дефляции в южно-таёжной зоне Западной Сибири (на примере Омской области) // Омский науч. вест., Науки о Земле, – № 2 (114). – С. 258-260.

Токсанбаева С.Т., Рамазанова Н.Е., Тусупбеков Ж.А. (2021) Оценка эрозии почв по модели «RUSLE» бассейна реки Нура // Хабаршы. География сериясы, №2 (61), – С. 108-119. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2021.v61.i2.10>

Тұрыспекова Э.М. и др. (2022) Антропогендік геожүйелерді қалыптастырушы факторлардың бірі ретінде Ұлан өзені алабының топырақ шайылуын бағалау // Хабаршы. География сериясы. №3 (66), – Б. 108-119. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2022.v66.i3.05>

Чигринец Л.Ю., Байсакова М.К. (2014) Исследование и расчёт максимального стока воды рек Казахстанского Алтая // Гидрометеорология и экология. – № 3 (74). – С. 120-134.

Швебе Г.И. (1981) Теоретические основы эрозиоведения. – Киев-Одесса. Вища школа. Головное изд-во, – С. 3-116.

Шынбергенов Е.А., Ермолаев О.П. (2017) Потенциальная эрозия почв бассейна р. Лена // Вест. Удмурт. ун-та. Сер. Биология. Науки о Земле. – Т. 27, вып. 4. – С. 513-528.

References

Akijanov F.Zh., Vasil'chenko N.I. (2015) Processy jerozii i defljacii pochv Akmolinskoj oblasti v uslovijah aglomeracionnogo razvitiya regiona [Processes of erosion and deflation of soils in Akmola region in the conditions of agglomeration development of the region] // Materialy mezhdunarodnoj konferencii «Jekosistemy Central'noj Azii v sovremennyh uslovijah social'no-jeconomicheskogo razvitiya». – Ulan-Ude, – S. 372–376.

Almaganbetov N., Grigoruk V. (2008). Degradation of Soil in Kazakhstan: Problems and Challenges. In: Simeonov, L., Sargsyan, V. (eds) Soil Chemical Pollution, Risk Assessment, Remediation and Security. NATO Science for Peace and Security Series. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8257-3_27

Apsatarova A.Zh., Chigrinec L.Ju. (2015) Ocenka vodno-jerozionnoj dejatel'nosti rek kazahstanskoy chasti levoberezh'ja reki Ertis s ispol'zovaniem dannyh o tvjordom stoke [Assessment of water erosion activity of rivers in the Kazakhstani part of the left bank of the Ertys River using data on solid runoff] // Gidrometeorologija i jekologija. № 3 (78). S. 105-117.

Asylbekova A.A., Mukaliev Zh.K., Zhenisova N.E. (2021) GAZh tehnologijalaryn pajdalana otyryp, topyraq jerozijasyn bagalau tasilderin zhetildiru [Development of GIS technologies, methods of evaluation of soil erosion] // Habarshy. Geografija serijasy. №4 (63), – S. 15-24. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2021.v63.i4.02>

Balakaj N.I. (2011) Ocenka intensivnosti pojavlenija jerozii i pochvozashhitnoe dejstvie sel'skohozjajstvennyh kul'tur [Assessment of the intensity of erosion and the soil-protective effect of agricultural crops] // Nauchnyj zhurnal KubGAU. – №65 (01). – 11 s. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2011/01/03.> – Shifr Informregistra: 0421100012/0023.

Blanco H. Lal R. (2010) Principles of soil conservation and management // Springer. – pp. 21-52.

Borrelli P., Poesen J., Vanmaercke M., et al. (2022). Monitoring gully erosion in the European Union: A novel approach based on the Land Use/Cover Area frame survey (LUCAS) //International Soil and Water Conservation Research. – 2022. – Т. 10. – №. 1. – С. 17-28.

Borrelli P. et al. (2023) Towards a better understanding of pathways of multiple co-occurring erosion processes on global cropland // International Soil and Water Conservation Research. – Т. 11. – №. 4. – С. 713-725.

Bosco C., de Rigo D., Dewitte O., Poesen J., Panagos P. (2015) Modelling soil erosion at European scale: towards harmonization and reproducibility // Nat. Hazards Earth Syst. Sci., vol. 15, no. 2, – pp. 225-245.

Burjak Zh.A. (2014) Sovershenstvovanie podhodov k ocenke jerozionnoj opasnosti agrolandshaftov s ispol'zovaniem GIS-tehnologij [Improving approaches to assessing the erosion hazard of agricultural landscapes using GIS technologies] // Nauchnye vedomosti, Serija Estestvennye nauki. – №23 (194), vyp. 29. – S. 140-146.

Chigrinec L.Ju., Bajsakova M.K. (2014) Issledovanie i raschjot maksimal'nogo stoka vody rek Kazahstanskogo Altaja [Research and calculation of the maximum water flow of the rivers of Kazakhstan Altai] // Gidrometeorologija i jekologija. – № 3 (74). – S. 120-134.

Duulatov, E. et al. (2021) Projected Rainfall Erosivity and Soil Erosion in Central Asia. In Current and Future Trends of Rainfall Erosivity and Soil Erosion in Central Asia (pp. 27-46). Springer,

Flanagan D.C., Nearing M.A., Norton L.D. (2002) Soil erosion by water prediction technology developments in the United States // Modelling erosion, sediment transport and sediment yield / W. Summer, D.E. Walling (ed). IHP-VI, Technical documents in hydrology, no. 60, UNESCO, Paris, – pp. 13-30.

Flanagan D.C., Gilley J.E., Franti T.G. (2007) Water Erosion Prediction Project (WEPP): development history, model capabilities, and future enhancements // Transactions of the ASABE 50 (5), – rr. 1603-1612.

Gal'perin R.I. (2013) Vysokie polovod'ja v severnoj polovine Kazahstana [High floods in the northern half of Kazakhstan] // Voprosy geografii i geojekologii, S. 3-10.

- Gassman P.W. et al. (2007) The Soil and Water Assessment Tool: Historical Development, Application, and Future Research Direction. SWAT. American Society of Agricultural and Biological Engineers. Vol. 50(4). – pp 1211-1250.
- Golosov V.N. (2000) Ispol'zovanie radioizotopov pri issledovanii jerozionno-akkumuljativnyh processov [The use of radioisotopes in the study of erosion-accumulation processes] // Geomorfologija, №2, S. 26-33.
- Golosov V.N., Ivanova N.N. (1993) Osobennosti zailenija malyh rek zony intensivnogo sel'skohozjajstvennogo osvoenija [Features of siltation of small rivers in the zone of intensive agricultural development] // Vodnye resursy. № 6. – S. 684–688.
- Golosov V., Walling D. (2019) Erosion and sediment problems: global hotspots. UNESCO Digital Library. UNESCO, Paris. <https://unesdoc.unesco.org/ark>
- Golubev I.A. (2009) Postanovka polevyh jeksperimentov po izucheniju vodnojerozionnyh processov na pahotnyh zemljah Krasnojarskogo kraja [Conducting field experiments to study water erosion processes on arable lands in the Krasnoyarsk Territory] // Botanicheskie issledovanija v Sibiri / Krasnojarsk. otd. Ross. botan. obshh. RAN.. vyp. 17. S. 12-15.
- Guerra A.J.T. et al. (2017) Slope Processes, Mass Movement and Soil Erosion: A Review // Pedosphere, vol. 27, Issue 1, – pp. 27-41.
- Koza, M. et al. (2021). Consequences of chemical pretreatments in particle size analysis for modelling wind erosion. Geoderma, 396, 115073.
- Koza, M. et al. (2022). Potential erodibility of semi-arid steppe soils derived from aggregate stability tests. European Journal of Soil Science, 73(5), e13304.
- Larionov G.A. (1992) Jerozija i defljacija pochv: osnovnye zakonomernosti i kolichestvennye ocenki [Soil erosion and deflation: basic patterns and quantitative estimates]. M.: Izdatel'stvo MGU, 200 s.
- Larionov G.A. i dr. (1988) Jerozionno-defljacionnye zemli sel'skohozjajstvennoj zony SSSR [Erosion-deflation lands of the agricultural zone of the USSR]. Geografija opasnyh prirodnyh javlenij, M.: Izd-vo Mosk. un-ta, – S. 91-102.
- Levykin S.V. i dr. (2018) Problemy zemlepol'zovanija i prostranstvennogo razvitiya stepnyh regionov [Problems of land use and spatial development of steppe regions]. M.: RUSAJNS, – 216 s.
- Li Z., Fang H. (2016) Impacts of climate change on water erosion: A review // Earth-Science Reviews. 163, pp. 94-117.
- Li S., Lobb D.A., McKonkey B.G. (2010) The impacts of land use on the risk of soil erosion on agricultural land in Canada // 19th World Congress of Soil Sci., Soil Solutions for a Changing World, Australia. Published on DVD. pp. 114-117.
- Liseckij F.N., Svetlichnyj A.A., Chernyj S.G. (2012) Sovremennye problemy jeroziovedenija [Modern problems of erosion science] / Pod red. A.A. Svetlichnogo. – Belgorod: Konstanta, 456 s.
- Lobb D.A., Huffman E., Reicosky D.C. (2007) Importance of information on tillage practices in the modelling of environmental processes and in the use of environmental indicators // J. of Environmental Manag., vol. 82, pp. 377-387.
- Lobb D.A. Li S., McKonkey B.G. (2016) Soil Erosion // Clearwater, R.L., Martin T., Hoppe T. (eds.) Environmental Sustainability of Canadian Agric.: Agri-Environmental indicator report series – Report #4. Ottawa, ON: Agric. and Agri-Food Canada, pp. 77-89.
- Machiwal D., Katara P., Mittal H.K. (2015) Estimation of soil erosion and identification of critical areas for soil conservation measures using RS and GIS-based Universal Soil Loss Loss Equation // Agric. Res., vol. 4 (2), pp. 183-195.
- Mahanova N.B. i dr. (2020) Ocenka jerozii pochv po modeli «RUSLE» bassejna reki Zhylandy [Assessment of soil erosion using the “RUSLE” model for the Zhylandy River basin] // Habarshy. Geografija serijasy. №4 (59), 2020. – S. 56-69. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2020.v59.i4.05>
- Maulen Zh.E. (2022) Analiz jerozii sel'skohozjajstvennyh ugodij v Respublike Kazahstan [Analysis of agricultural land erosion in the Republic of Kazakhstan] // The scientific heritage. №. 87-1. – S. 16-20.
- Metodicheskie ukazaniya po opredeleniju opasnogo urovnja vodnoj i vetrovoj jerozii [Guidelines for determining dangerous levels of water and wind erosion] (2015) FGBNU “RosNIIPM”. Novoчеркассk, – 23 s.
- Mondal A. et al. (2016) Uncertainty of soil erosion modelling using open source high resolution and aggregated DEMs // Geoscience Frontiers, vol. XXX, pp. 1-12.
- Morgan R.P.C. (2005) Soil erosion and conservation // 3-rd ed. Blacwell Science Ltd. pp. 11-261.
- Musagalieva A.S., Musabekova R.M. (2020) Dejatel'nost' VNII zernovogo hozjajstva v ramkah bor'by s jerozijami pochv v celinnyh rajonah Kazahstana (1960–1970-e gg.) [Activities of the All-Russian Research Institute of Grain Farming in the framework of the fight against soil erosion in virgin regions of Kazakhstan (1960–1970's)] // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija 4, Istorija. Regionovedenie. Mezhdunarodnye otnosheniya, – T.25, – №3. – S. 31-44. DOI: <https://doi.org/10.15688/jvolsu4.2020.3.3>
- Naumov C.B. (1955) K voprosu klassifikacii smytyh pochv [On the issue of classification of washed away soils] // Pochvovedenie. – N 5. – S. 60-67.
- Ozeranskaja N.L. (2015) Napravlenija organizacii territorii v agrolandshaftah Severnogo Kazahstana [Directions for organizing territory in agricultural landscapes of Northern Kazakhstan] // Zemel'nye i vodnye resursy: monitoring jekologo-jekonomicheskogo sostojanija i modeli upravlenija materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvjashhennoj 10-letiju Instituta zemleustrojstva, kadastruv i melioracii. – S. 41-44.
- Panagos P., Borrelli P., Poesen J. et al. (2015) The new assessment of soil loss by water erosion in Europe // Environ. Sci. Policy. Elsevier Ltd, vol. 54, pp. 438-447.
- Pashkov S.V., Pigalev A.V. (2016) Defljacija pochv Severo-Kazahstanskoj oblasti [Soil deflation in the North Kazakhstan region] // Vestnik Zabajkal'skogo gosudarstvennogo universiteta. – T. 22. – № 2. – S. 14-25.
- Pashkov S.V., Tajzhanova M.M. (2016) Determinanty ovrazhnoj jerozii v Severnom Kazahstane [Determinants of gully erosion in Northern Kazakhstan] // Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o zemle. – № 4. – S. 50-63.

Pimentel D. (2006) Soil erosion: A food and environmental threat // Environment, Development and Sustainability. vol. 8, pp. 119-137.

Rejngard Ja.R. i dr. (2012) Izmenenie struktury pochvennogo pokrova v svyazi s razvitiem processov jerozii i defljacii v juzhno-tajozhnoj zone Zapadnoj Sibiri (na primere Omskoj oblasti) [Changes in the structure of soil cover due to the development of erosion and deflation processes in the southern taiga zone of Western Siberia (using the example of the Omsk region)] // Omskij nauch. vest., Nauki o Zemle, – № 2 (114). – S. 258-260.

Renard K. et al. (1997) Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) // Agric. Handb. no. 703, 404 p.

Shynbergenov E.A., Ermolaev O.P. (2017) Potencial'naja jerozija pochv bassejna r. Lena [Potential soil erosion in the river basin Lena] // Vest. Udmurt. un-ta. Ser. Biologija. Nauki o Zemle. – T. 27, vyp. 4. – S. 513-528.

Shvebs G.I. (1981) Teoreticheskie osnovy jeroziovedeniya [Theoretical foundations of erosion science]. – Kiev-Odessa. Vishha shkola. Golovnoe izd-vo, – S. 3-116.

Toksanbaeva S.T., Ramazanova N.E., Tusupbekov Zh.A. (2021) Ocenka jerozii pochv po modeli «RUSLE» bassejna reki Nura [Assessment of soil erosion using the “RUSLE” model for the Nura River basin] // Habarshy. Geografija serijasy, №2 (61), – S. 108-119. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2021.v61.i2.10>

Turyspekova Je.M. i dr. (2022) Antropogendik geozhujelderdi qalyptastyrushy faktorlardyn biri retinde Ulan ozeni alabynyn topyraq shajyluyn bagalau [Assessment of soil loss in the Ulan River basin as one of the factors in the formation of anthropogenic geosystems] // Habarshy. Geografija serijasy. №3 (66), – B. 108-119. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2022.v66.i3.05>

Wall G.J., Coote D.R., Pringle E.A. (2002) RUSLEFAC — Revised Universal Soil Loss Equation for Application in Canada // A Handbook for Estimating Soil Loss from Water Erosion in Canada. Contribution no. AAFC/AAC2244E. 117 p.

Wang B. et al. (2013) Soil erodibility for water erosion: A perspective and Chinese experiences // Geomorphology, vol. 187, pp. 1-10.

Wischmeier W.H., Smith D.D. (1978) Predicting rainfall erosion losses // Agric. Handbook. Washington, no. 537. 65 p.

Wischmeier W.H., Smith D.D., Uhland R.E. (1958) Evaluation of factors in the soil loss equation // Agric. Eng., vol. 39, no. 8, pp. 458-462.

Xiong M., Sun R., Chen L. (2019) A global comparison of soil erosion associated with land use and climate type // Geoderma. – T. 343. – C. 31-39.

Zaslavskij M.N. (1983) Jeroziovedenie [Erosion science]. M.: Vyssh. shk. 320 s.

Zaslavskij M.N., Larionov G.A., Litvin L.F. (1984) Mehanizm i zakonomernosti projavleniya processa [Mechanism and patterns of manifestation of the process] // Jerozionnye processy (Geograficheskaja nauka praktike). Ch. 2. Jerozija pochv. / Pod red. N.I. Makkaveeva, R.S. Chalova. M.: Mysl', S. 31-44.

Авторлар туралы мәлімет:

Шынбергенов Ерлан Әлімжанұлы (корреспондент автор) – PhD, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті «Су шаруашылығы және жерге орналастыру» кафедрасының аға оқытушысы (Қызылорда қ., Қазақстан), М.В. Ломоносов атындағы ММУ география факультетінің ғылыми тағылымдамашысы (Мәскеу қ., Ресей, эл.пошта: shynbergenov.erlan@mail.ru);

Сиханова Нұргүл Сағындыққызы – PhD, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті «Электр энергетикасы, техносфералық қауіпсіздік және экология» кафедрасының аға оқытушысы (Қызылорда қ., Қазақстан, эл.пошта: sihanova.nurgul@mail.ru).

Қарабалаева Айман Бейсембайқызы – PhD, Астана Халықаралық университеті жаратылыстану ғылымдары Жоғары мектебінің аға оқытушысы (Астана қ., Қазақстан, эл.пошта: aiman_jan@mail.ru)

Information about authors:

Shynbergenov Yerlan (corresponding author) – PhD, Senior lecturer at the Department of Water Management and Land Use of Korkyt Ata Kyzylorda University (Kyzylorda, Kazakhstan), research intern at the Geographical Faculty of Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia, e-mail: shynbergenov.erlan@mail.ru);

Sihanova Nurgul – PhD, Senior lecturer at the Department of Electric Power Engineering, Technosphere Safety and Ecology of Korkyt Ata Kyzylorda University (Kyzylorda, Kazakhstan, e-mail: sihanova.nurgul@mail.ru).

Karabalaeva Ayman – PhD, Senior lecturer at the Higher School of Natural Sciences of Astana International University (Astana, Kazakhstan, e-mail: aiman_jan@mail.ru)

*Жіберілді: 14 қараша 2023 жыл
Қабылданды: 27 наурыз 2024 жыл*