

EROZIJOS GREIČIO VERTINIMO PROBLEMOS

Stasys Paškauskas, Irena Vekeriotienė

Geologijos ir geografijos institutas, T. Ševčenkos g. 13, LT-03223, Vilnius

El. paštas: paskauskas@geo.lt, vekeriotiene@geo.lt

Paškauskas S., Vekeriotienė I. PROBLEMS OF EVALUATION OF EROSION RATES. *Annales Geographicae* 42(1-2), 2009.

Abstract. The present article is devoted to analysis of the rates of soil erosion which is a widespread phenomenon in the territory of Lithuania. The data on soil erosion have been obtained by instrumental measuring, calculated mathematically using empirical equations, and estimated based on the runoff of fluvial drift, sedimentation rates of lake sediments and thickness of diluvium layer. The differences of the available soil erosion values and variation trends are discussed. The actual rates of erosion are best reflected by the data of stationary measurements.

References 34. Fig. 1. In Lithuanian, summary in English.

Keywords: soil erosion, rates of erosion

Received: 11 May 2009; accepted: 28 August 2009.

Įvadas

Greitis – viena svarbiausių įvairius reiškinius, procesus apibūdinančių charakteristikų. Ši charakteristika labai svarbi ir geomorfologiniuose tyrimuose, ypač nagrinėjant reljefo geodinamikos, morfogenezės ir panašius klausimus. Nežinant greičio, sudėtinga palyginti procesus, įvertinti jų poveikį reljefo kaitai bei epigenezei. Be šios charakteristikos neišsiverčia ir procesų modeliavimas bei taikomojo pobūdžio geomorfologinių problemų sprendimas. Reljefo geodinamikos tyrimuose dar neretai vartojamas terminas aktyvumas, kuris yra greičio sinonimas, tačiau juo tiksliau apibūdinamas egzogeninių procesų vyksmo pobūdis.

Geomorfologinių procesų greitis (kaip ir jų spektras) labai įvairus ir priklauso nuo aplinkos sąlygų, jų kaitos. Lietuvos paviršių veikia įvairūs geomorfologiniai procesai, besiskiriantys paplitimu bei intensyvumu (Basalykas, 1982). Vienas labiausiai paplitusių geodinaminį procesų – erozija. Klasikine prasme erozija suprantama kaip medžiagos nuėmimas nuo iškilaus žemės paviršiaus. Erozija dar yra diferencijuojama atsižvelgiant į ją lemiančius veiksniai (Zachar, 1982). Šiame darbe apsisota ties vandens erozija, kurios tyrimai Lietuvoje atliekami nuo antrosios XX amžiaus pusės.

Apie vandens erozijos paplitimą Lietuvoje pateikiama įvairių duomenų. Pavyzdžiui, A. Pajarskaitės (pagal: Kiburys, 1989) duomenimis, vandens eroduoti dirvožemiai užima 40,9%, žemės kadastro duomenimis (Žemės..., 1989), eroduotos žemės sudaro 202 300 ha. Leidinyje „Lietuvos dirvožemiai“ pateikiama erozijos paveiktų plotų sklaida fiziniuose geografiniuose rajonuose (apima tik žemės ūkio naudmenas) kinta nuo kelių procentų lygumose iki 30–50% aukštumose. Pasak šio šaltinio, erozija paveikusi 14,1% žemės naudmenų (Lietuvos..., 2001). A. Račinsko skaičiavimais (Račinskas, 1990), Lietuvoje eroduoti dirvožemiai užima daugiau kaip 600 000 ha. Dar kitokius skaičius pateikia žemėtvarkininkai J. Juodis ir kt. specialistai B. Kiburio monografijoje (Kiburys, 1989). Naujausiais duomenimis, erozija apima beveik pusę (49,5%) šalies teritorijos (Česnulevičius, 1998).

Taigi skelbiami duomenys apie erozijos paveiktus plotus skiriasi ir tai susiję su apskaitos metodiniais aspektais, erozijos veikiamo paviršiaus diagnostika, įvertinimu ir pan. Be to, svarbus ir laiko veiksnys, nes erozija nėra pastovus procesas, jo sklaida priklauso nuo aplinkos sąlygų. Tačiau šio darbo tikslas – ne erozijos veikiamų plotų apskaitos, bet erozijos greičio Lietuvos teritorijoje aptarimas. Kaip jau minėta, erozijos greitis – tai viena reljefo charakteristikų, svarbi konstruojant reljefo kaitos prognostinius modelius, sprendžiant žemės paviršiaus paleoraidos klausimus ar analizuojant reljefo neotektonikos problemas.

1. Tyrimų duomenys ir metodika

Geomorfologinių procesų greičio matavimų metodika yra labai įvairi, kaip, beje, ir greičio raiškos matavimo dimensijos. Buvo bandymų unifikuoti greičio matavimo vienetus (Fischer, 1969), kuriais būtų išreiškiamas įvairių procesų greitis, bet paaiškėjo, kad tai labai

sudėtingas klausimas, ir jis iki šiol dar neišspręstas. Literatūroje neretai to paties proceso greitis išreiškiamas įvairiais vienetais, kas taip pat apsunkina proceso analizę tiek laiko, tiek erdvės atžvilgiu bei proceso modeliavimą.

Duomenys apie dirvožemio erozijos paplitimą ir intensyvumą Lietuvoje buvo renkami iš mokslinių tyrimų ataskaitų, publikuotų žemėlapių, skelbtų mokslo publikacijų. Tyrimai apėmė tik dirvožemio vandens eroziją, jos detaliau neskaidant ir apsiribojant Lietuvos teritorija. Publikacijose duomenys apie erozijos intensyvumą pateikiami linijinėmis, svorio arba tūrio dimensijomis per laiko vieneta: mm ar cm per metus ar ilgesnį laikotarpį, $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$, $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{metus}$, $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{metus}$. Kai kuriais atvejais nurodomas tik eroduotos medžiagos bendras kiekis, kartais pateikiamas ir plotas, iš kurio susidarė erozinės sąnašos, tačiau nenurodomas laikas, per kurį jos susiformavo. Dirvožemininkai, inžinieriai pirmenybę teikia santykiniams ploto ir laiko atžvilgiu svorio ir tūrio vienetais. Geomorfologijoje priimta erozijos intensyvumą pateikti linijiniais dydžiais laiko atžvilgiu (pavyzdžiui: $\text{mm}\cdot\text{m}^{-1}$, $\text{cm}\cdot 10^{-3}\text{m}^{-1}$ ar $\text{m}\cdot 10^{-6}\text{m}^{-1}$). Skelbtus įvairių dimensijų duomenis apie erozijos intensyvumą Lietuvoje autoriai perskaičiavo į linijinį dydį ($\text{mm}\cdot\text{m}^{-1}$), kas palengvino ir supaprastino jų analizę, taip pat leido palyginti įvairių autorių pateiktus duomenis su aplinkinių šalių duomenimis apie erozijos mastą. Perskaičiuojant erozijos svorinius vienetus į linijinį, eroduotos medžiagos tankis ($1,57\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$) buvo įvertintas atsižvelgiant į dirvožemininkų publikuotus duomenis (Lietuvos..., 2001), kurie svyruoja $1,54\text{--}1,62\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ribose. Dimensijos pasirinkimą vertinant erozijos greitį lemia kelios aplinkybės: duomenų sekos ilgis, tyrimų trukmė, sprendžiamų uždavinių pobūdis ir pan. Pavyzdžiui, vertinant erozijos greitį pastaraisiais dešimtmečiais, tikslinga taikyti „jautresnę“ dimensiją ($\text{mm}\cdot\text{m}^{-1}$), nes tuomet daugiau išsaugoma informacijos apie greičio pokyčius laiko atžvilgiu. Tačiau, vertinant erozijos greitį ir pagal tai reljefo planacijos greitį geologiniais laikotarpiais ar archeologiniais, istoriniais periodais, paprastai tiesioginių matavimų neturima, o išvestinė informacija yra generalizuota ir negausi, todėl galimos ir „grubesnės“ greičio vienetų išraiškos ($\text{cm}\cdot 10^{-3}\text{m}^{-1}$ ar $\text{m}\cdot 10^{-6}\text{m}^{-1}$).

2. Erozijos greitis įvairių tyrimų duomenimis

Lietuvoje erozija tiriama įvairiais metodais ir tyrimų duomenys nėra tapatūs. Vykdomus tyrimus galima suskirstyti į tris grupes. Tai būtų natūriniai erozijos proceso stebėjimai ir matavimai pasirinktuose regionuose, etalonuose ir monitoringinio pobūdžio arba vienkartiniai matavimai įvairiose vietose, dažniausiai norint nustatyti erozijos pasekmes. Antrą grupę sudarytų duomenys, gauti netiesioginiais matavimais, pagal empirines ar pusiau empirines formules, bei taikant įvairius prognostinius erozijos modelius. Trečią grupę sudarytų vykusios ar vykstančios erozijos indikatoriai – nuosėdos vandens telkiniuose bei fluvialinių nešmenų nuotėkis.

2.1. Erozijos greitis natūrinių matavimų duomenimis

Tiesioginiai erozijos matavimai gamtinėje aplinkoje turėtų tiksliausiai atspindėti šio proceso greitį. Pirmieji natūriniai vandens erozijos tyrimai Lietuvoje pradėti 6-ajame pereinamojo šimtmečio dešimtmetyje. Matavimų duomenys yra labai įvairūs ir tai suprantama, nes tyrimai vykdyti įvairiomis geomorfologinėmis, klimatinėmis sąlygomis, skirtingose žemėnaudose. Erozijos greitis žemėnaudose kinta įvairiai: nuo $0,001\text{--}0,01\text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$ pievose, javų pasėliuose – $0,31\text{--}4,0\text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$ iki $2,1\text{--}11,9\text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$ kaupiamųjų kultūrų laukuose (Lietuvos..., 2001; Jankauskas, Jankauskienė, 2005). Vidutinis erozijos greitis minėtose žemėnaudose sudarytų $3,36\text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$. Nuo atvirų, be augalinės dangos laukų nuplaunamo dirvožemio storis siekia $3,6\text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$ (Lietuvos..., 2001), kitų tyrėjų duomenimis (Kiburys, 1989) – galimas ir didesnis nuoplovos greitis: $19,5\text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$. Erozijos intensyvumo priklausomybę nuo paviršiaus nuolydžio gerai iliustruoja Kaltanėnų stoties sukaupti duomenys (Lietuvos..., 2001), iš kurių matyti, kad lėkštuose šlaituose (nuolydis iki 5°) erozijos greitis yra $1,1\text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$, statokuose šlaituose ($5\text{--}10^\circ$) – $3,0\text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$, o stačiuose ($10\text{--}14^\circ$) šlaituose greitis padidėja iki $4,2\text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$. Bendras vidutinis erozijos greitis kalvotame reljefe siektų $2,8\text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$. Stiprių liūčių metu milžiniški grunto kiekiai gali būti išplaunami per labai trumpą laikotarpį. Remdamiesi A. Račinsko darbe (Račinskas, 1990) skelbtais duomenimis autoriai apskaičiavo erozijos greitį liūčių metu: jis kito nuo $3,2\text{--}5,7\text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$ iki $13,4\text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$, vidutinis sudarė $7,4\text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$. Taigi liūčių sukeltos erozijos greitis gali viršyti ilgametės (santykiškai) erozijos greitį keletą kartų. Dūkšto ir Kaltanėnų bandymo stočių sukaupti erozi-

jos tyrimų duomenys (Jankauskas, Jankauskienė 2004; Bundinienė, Paukštė, 2002) rodo ir regioninius proceso greičio skirtumus: vakarinėje šalies dalyje erozijos greitis yra $2,1 \text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$, o rytinėje siekia vos $1,1 \text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$, t. y. skiriasi beveik du kartus. Tačiau tai reiktų vertinti kaip sąlyginius ir abejotinus skirtumus, nes skiriasi matavimo duomenų sekų ilgis, be to, jie neatitinka Lietuvos dirvožemių eroduotumo sklaidos dėsningumą (Рачинскас, 1976; Раčинскас, 1990; Česnulevičius, 1998).

Literatūros duomenimis (Jankauskas, Jankauskienė, 2005), kalvotame reljefe prie esamos žemėnaudų struktūros ir žemdirbystės technologijų vidutinis erozijos greitis sudarytų $2,0 \text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$.

Atlikti deliuvio tyrimai Žeimenos baseino kalvotame moreniniame ežeringame reljefe parodė, kad per pastaruosius šimtą metų čia vyko intensyvūs eroziniai procesai (Экологическая..., 1981). Per šį laikotarpį iškilios reljefo formos kasmet vidutiniškai pažėmėdavo apie 2,54 mm. Ketverius metus (1977–1980) vykdant stacionarius landšaftinius tyrimus 14 ežerų baseinuose, kasmet visuose juose buvo nustatoma dirvų erozija (Экологическая..., 1981). Šio šaltinio duomenimis, metinis erozijos greitis per 4 metų laikotarpį sudarė 1,3–2,5 mm, o žiemkenčių laukuose kartais siekdavo 6,4 mm. Panašus ar kiek didesnis erozijos greitis nustatytas ir kaimynėje Baltarusijoje: siekė 5–10,4 $\text{mm}\cdot\text{m}^{-1}$ (Современная..., 1991). Tuo tarpu Lenkijos šiaurinėje dalyje, agrarinėse teritorijose, atlikti natūriniai erozijos matavimai rodo silpnesnius procesus. Šių tyrimų duomenimis, erozijos greitis kalvoto reljefo lėkštesniuose šlaituose buvo iki $0,4 \text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$, statesniuose – iki $0,7\text{--}1,1 \text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$ (Smolska, 2002).

Publikuoti natūriniai vandens erozijos tyrimų duomenys rodo, kad Lietuvoje šio proceso greičio kaitos amplitudė – nuo $0,001 \text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$ iki $19,5 \text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$. Koks būtų vidutinis erozijos greitis visai Lietuvos teritorijai, sudėtinga vertinti. Vakarinėje Lietuvos dalyje vidutinis erozijos greitis siektų $2,4 \text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$, o rytinėje pusėje būtų kiek mažesnis – $2,0 \text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$. Tačiau duomenų, iš kurių skaičiuoti greičio vidurkiai, sekų ilgis skiriasi, todėl šiuos regioninius skirtingumus tenka vertinti kaip sąlyginius. Skaičiuojant formaliai matematiškai ir be ploto svorio, visoje šalies teritorijoje dirvožemio nuoplovo greitis būtų $2,2\pm 0,44 \text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$. Skaičiuojant šį vidurkį nebuvo įtraukti keli ekstremalios liūtinės dirvos nuoplovos dydžiai, nes pastarosios nėra dažnos ir neapima didelių plotų, tačiau jų įtraukimas į apibendrinančius skaičiavimus gerokai iškreipia vidutinio erozijos greičio respublikoje vaizdą. Vidutinis erozijos greitis pagal susikaupusio deliuvio storį truputį padidėja – sudaro $2,6 \text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$.

2.2. Erozijos greitis modeliavimo duomenimis

Pasaulyje pastaraisiais dešimtmečiais brangius natūrinius erozijos tyrimus vis dažniau keičia įvairūs skaitmeniniai modeliai, kuriais vertinamas proceso intensyvumas, lemiančios sąlygos, modeliuojama erozijos sklaida (Flanagan, Nearing, Norton, 2002).

Šia kryptimi erozijos tyrimai plėtojami ir Lietuvoje. Taikant empirinius ar pusiau empirinius modelius (tiksliau, tai būtų įvairaus pobūdžio matematinės lygtys), atlikti dirvožemio erozijos potencialo skaičiavimai. Erozijos ir jos veiksnių empirinių priklausomybių sudarymo srityje daugiausiai nuveikė A. Račinskas (Račinskas, 1990), kurio pasiūlytos lygtys taikomos ir šiandien ir jomis remiamasi tobulinant erozijos vertinimo bei prognostinius metodus. Jis vienas pirmųjų atliko Lietuvos dirvožemių erozinį vertinimą ir rajonavimą. Šio vertinimo duomenimis (Рачинскас, 1976), potencinė erozinė nuoplova fiziniuose geografiniuose rajonuose svyruoja nuo 0,1 iki 1,4 $\text{mm}\cdot\text{m}^{-1}$. Apskaičiuotas erozijos vidutinis greitis pagal skiriamus intensyvumo intervalus sudarytų $0,67 \text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$. Dar kitoki erozijos greitį visai Lietuvos teritorijai gautume įvertinę ir skiriamų intensyvumo intervalų užimamus plotus – $0,45 \text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$. Vėliau A. Česnulevičius, remdamasis A. Račinsko pateiktomis erozijos priklausomybėmis bei naujaisiais reljefo morfometriniais matavimais, pateikė naują erozijos potencialo vertinimą, kuris, priklausomai nuo reljefo morfometrinio tipo, kinta iki $3,6 \text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$ (Česnulevičius, 1998). Taip skaičiuojamas vidutinis erozijos greitis visam šalies plotui būtų lygus $1,54 \text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$. Tačiau to paties autoriaus (Česnulevičius, 1998) pateikiamas erozijos perklostomų nuogulų tūris ($44,8\text{--}106 \text{ m}^3\cdot\text{m}^{-1}$) rodo mažesnę erozijos intensyvumą – $0,44 \text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$. Dar kitoks greitis būtų įvertinus reljefo morfometrinio tipo erozinį potencialą ir jo užimamą plotą (ploto svoris) – $0,73 \text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$. Taigi pastarasis erozijos greitis tiksliausiai atspindėtų bendrą visos šalies planacijos dydį. Kaip matyti, skaičiuojant vidutinį proceso greitį visos šalies mastu pagal vieno šaltinio duomenis, gaunami skirtingi dydžiai. Objektyviausias ir tiksliausias skaičiavimas būtų tas, kai skaičiuojama su ploto svoriu, t. y. atsižvelgiant į erozijos intensyvumą ir išplitimą. Dirvožemio erozijai modeliuoti buvo išbandytas JAV sukurtas vandens erozijos modelis WEPP, kurio testavimas atliktas Dūkšto bandymų stotyje. Paaiškėjo, kad plokš-

tuminei nuoplovai įvertinti šis modelis tinka, nes išmatuotojo ir apskaičiuotojo erozijos greičio skaičiavimo paklaida neviršija 3%, tačiau, prognozuojant vandentėkmių eroziją, šis rodiklis labai tinka, ir reikalinga jo korekcija (Povilaitis, 1997).

Naujausi paviršiaus erozijos modeliavimo taikant GIS technologijas duomenys paskelbti pastaraisiais (2006) metais. Nustatyti erozijos potencialo dydžiai 0,12–3,5 mm·m⁻¹ (Dėnas ir kt., 2006) yra artimi anksčiau publikuotiems ir paminėtiems duomenims. Apskaičiavę vidutinę erozijos greitį visam šalies plotui pagal šio šaltinio (Dėnas ir kt., 2006) duomenis ir įvertinę ploto svorį, straipsnio autoriai gavo erozijos greitį, lygų 0,78 mm·m⁻¹, t. y. labai artimą erozijos greičiui, apskaičiuotam pagal A. Česnulevičiaus (Česnulevičius, 1998) ar A. Račinsko (Račinskas, 1982) pateiktus duomenis. Šie naujausi modeliavimo rezultatai patvirtino jau anksčiau nustatytus erozijos intensyvumo sklaidos dėsningumus (Рачинскас, 1976; Račinskas, 1982; Račinskas, 1990; Česnulevičius, 1998) ir tai suprantama, nes iki šiol vykdytas proceso modeliavimas rėmėsi ta pačia A. Račinsko pasiūlyta priklausomybe (Račinskas, 1990). Empirinio modeliavimo duomenims taikant A. Račinsko išvestinę lygtį (Račinskas, 1990) ir esamą reljefo morfometrinių tipizavimą (Кайрюкшпис ir kt., 1983), erozijos greitis niekada neviršys 3,6 mm·m⁻¹. Todėl tolesni erozijos modeliavimo darbai, neįvedant dinaminių komponentų, naujų žinių apie proceso ypatumus ir dėsningumus nesuteiks. Taigi dirvožemio erozijos vertinimui ir prognozavimui reikėtų bandyti pritaikyti ir kitus žinomus erozijos modelius (Flanagan, Nearing, Norton, 2002), atlikti jų testavimą ir adaptavimą Lietuvos sąlygoms.

Aplinkinėse šalyse matematiškai apskaičiuotieji erozijos greičiai yra labai įvairūs. Pagal vienus šaltinius, Baltijos šalyse (ir Lietuvoje) prie esamos žemėnaudos struktūros erozijos greitis sudaro 0,20 mm·m⁻¹, Baltarusijoje – 0,23 mm·m⁻¹. Vertinant tik atsižvelgiant į juodojo pūdyto eroziją, Baltijos šalyse jos greitis padidėja iki 0,79 mm·m⁻¹, o Baltarusijoje truputį mažiau – 0,76 mm·m⁻¹ (Белоцерковский ir kt., 1990). Kitų autorių duomenimis, potencialios erozijos dydis Baltarusijoje sudarytų iki 6,4 mm·m⁻¹; kalvotame reljefe vidutinis erozijos greitis būtų 2,2–3,5 mm·m⁻¹, o vidutinis visai respublikai 0,7 mm·m⁻¹ (Яцухно, Качков, Башкинцева, 1998).

2.3. Erozijos greitis ežerinės sedimentacijos ir upių kietojo debito duomenimis

Eroduota medžiaga pernešama ir kaupiasi ne tik reljefo pažemėjimuose, nes dalis jos patenka ir į vandens telkinius – ežerus, upes, jūras. Erozijos intensyvumas tų telkinių baseinuose vertinamas pagal ežerinių nuosėdų storį arba upėmis pernešamos terigeninės medžiagos kiekį (Рейнек, Синх, 1981). Tačiau visada iškyla iki šiol neišspręsta problema – koks yra eroduotos medžiagos nuo baseino paviršiaus kiekio santykis su visu ežerinių nuosėdų ar fluvialinių nešmenų kiekiu. Tai platus klausimas, kurio apžvalgai reikėtų skirti atskirą straipsnį, todėl tenka apsiriboti tik esamų duomenų palyginimu.

Dabartinės sedimentacijos tyrimai ežeruose rodo, kad baseinuose, kuriuose eroziniai procesai yra silpni, nuosėdų akumuliacijos greitis siekia (sausosios medžiagos) 0,7–0,9 mm·m⁻¹ (Tamošaitis, Martinkėnienė, 1991). J. Tamošaičio ir kt. (Тамошайтис, Мартинкенене, 1984) atliktų tyrimų duomenimis, 8-ajame pereinamojo dešimtmetyje ežerinės sedimentacijos greitis svyravo nuo 0,6–0,7 mm·m⁻¹ iki 3,9–4,6 mm·m⁻¹. Mažesnė buvo miškinguose baseinuose – 1,25 mm·m⁻¹, o mažo miškingumo, intensyvios žemdirbystės baseinuose nuosėdų akumuliacija buvo aktyvesnė – 1,9 mm·m⁻¹. Šie skaičiai artimi dabartinės erozijos greičiui, taigi apie apytikrą erozijos intensyvumą baseinuose būtų galima spręsti pagal ežerinės sedimentacijos greitį.

Tiriant paleoaplinkos sąlygų kaitą iš Rytų Lietuvos ežerų nuosėdų, nustatyta, kad holocene, formuojantis atskiroms chronozonoms, šioje Lietuvos dalyje nuosėdų sedimentacijos greitis svyravo nuo 0,5–0,6 mm·m⁻¹ iki 1,0–1,2 mm·m⁻¹ (Šeirienė ir kt., 2009). Kaip matyti, šie skaičiai gerai koreliuoja su nuosėdų dabartiniu sedimentacijos greičiu ežeruose, kurių baseinai yra miškingi ir čia eroziniai procesai yra silpni.

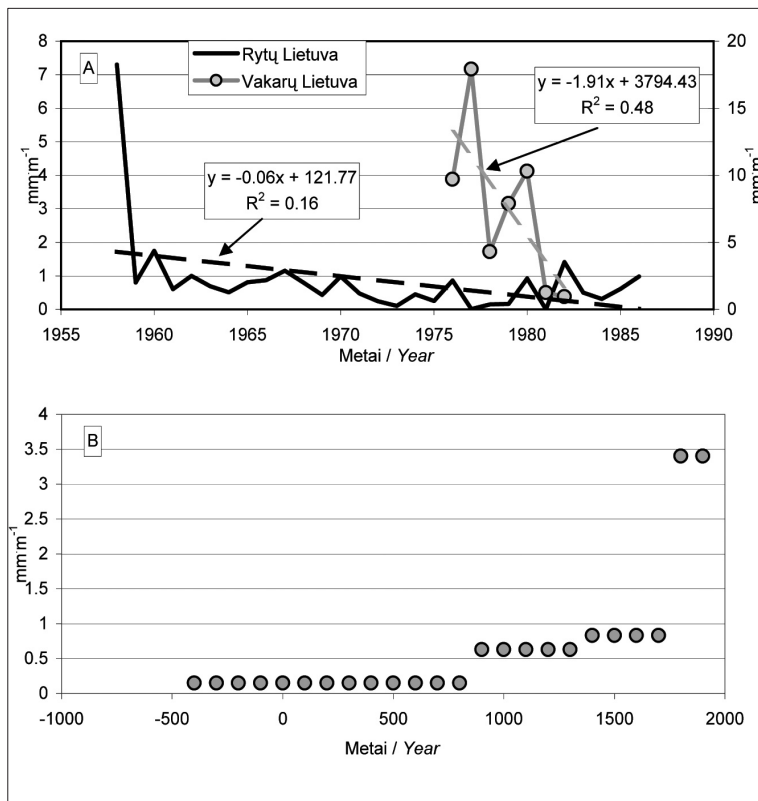
Pastaraisiais metais, tiriant erozinius procesus tiek baseinuose, tiek aukštesnio rango teritorijose, dažnai remiamasi upinių skendinčiųjų nešmenų nuotėkio analize (Бобровицкая, 1995; Гусаров, 2001, 2004). Šiuo metu Lietuvos upėmis transportuojami nešmenys matuojami tik Neryje ir Nemune. Nemunu išplukdomas nešmenų kiekis per metus iš dalies atspindėtų ir šalies metinę erozijos apimtį. Pateikiami įvairūs duomenys apie nešmenų kiekį, kurį į marias atplukdo Nemunas. Naujausi duomenys skelbia, kad per potvynį (p = 10%) kietasis nuotėkis sudaro 3,1·10⁶ t (Rimkus, 2001). Iš šių duomenų gauname, kad Lietuvoje, Nemuno baseino ribose, vidutinis erozijos greitis yra 0,02 mm·m⁻¹. Vertinant erozijos greitį pagal skendinčiųjų nešmenų modulį (Rimkus, Grigaitienė, 2005), kasmetinis nuplautomos dirvožemio sluoksnis sudarytų tik 0,007 mm. Pastarieji erozijos greičio duomenys labai maži ir dydžiu artimi realiai išmatuotajai dirvožemio nuoplovai iš daugiamečių kultūrų užimamo ploto. Panašius duomenis pateikia ir Lenkijos tyrėjai. Jų skaičiavimais, Lenkijos lyguminėje dalyje pagal fluvia-

linių nešmenų nuotėkio modulį erozijos greitis siekia tik $0,003 \text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$ (Branski, Banasik, 1996). Taigi kietasis nuotėkis tik iš dalies atspindi erozinių procesų aktyvumą baseine. Yra duomenų, kad upės nešmenų modulis sudaro tik 5–10% visų baseino erozinių nešmenų (Добровольская ir kt., 2001).

3. Erozijos greičio tendencijos

Dirvožemių erozija – geodinaminis procesas. Tai rodo ir santykiškai neilgo laikotarpio tyrimų duomenys, publikuoti A. Račinsko darbe (Račinskas, 1990). Iš šių duomenų matyti, kad erozijos greitis kasmet svyruoja, tačiau išvelgiamas ir proceso kryptingumas, t. y. silpnėjimo tendencija. Tiesa, rytinėje Lietuvos dalyje šis trendas ne toks ryškus lyginant su vakarine (pav., a). Vakarų Lietuvoje atliktų natūrinių erozijos stebėjimų duomenys (Jankauskas, Jankauskienė, 2005) taip pat rodo erozijos silpnėjimą: 1983–1991 metais erozijos greitis kito $1,4\text{--}4,6 \text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$ ribose, o 1992–2000 metais sumažėjo iki $0,03\text{--}0,3 \text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$. Panašios tendencijos matyti ir kitose Europos šalyse. Erozijoms tempų mažėjimas paskutiniiais XX amžiaus dešimtmečiais nustatytas kaimyninėse valstybėse: Latvijoje, Estijoje bei europinėje Rusijos dalyje (Бобровицкая, 1995). Tačiau kitų tyrėjų duomenimis, Lietuva priskiriama regionui, kuriame eroziniai procesai neturi aiškios kitimo tendencijos, t. y. nustatytas pastovus erozijos greitis (Гысаров, 2001). Tai lyg ir prieštarauja mūsų šalies tyrėjų duomenims, kurie rodo proceso silpnėjimo tendenciją dėl priešerozinių priemonių įgyvendinimo ir galbūt dėl gamtinės aplinkos pokyčių. Panaši situacija yra ir Lenkijoje, kurioje taip pat konstatuojamas pastovios erozijos trendas (Гысаров, 2001), nors J. Bransko ir kitų autorių atlikti tyrimai rodo slopančios erozijos tendenciją (Branski, Banasik, 1996).

Analizuojant erozinius procesus platesnėje laiko skalėje ir ilgesniais laiko intervalais, kaitos tendencijos keičiasi. Tai gerai iliustruoja Vištyčio aukštumose atlikti deliuvio tyrimai kalvų papėdėse. Jais remiantis įvertintas reljefo denudacijos ir akumuliacijos greitis per paskutinius 2350 metų (Švarcaitė, 1982). Per šį laikotarpį, priklausomai nuo kraštovaizdžio tipo, kalvų viršus kasmet pažemėdavo $0,03\text{--}0,20 \text{ mm}$, vidutiniškai $0,11 \text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$. Reljefo erozijos intensyvumas kito ir turėjo ryškų didėjimo trendą: nuo $0,15 \text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$ prieš daugiau kaip 2000 metų iki $3,4 \text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$ per pastaruosius 150 metų (pav., b).



Pav. Erozijos greičio kaitos tendencija: A – Rytų ir Vakarų Lietuvoje A. Račinsko duomenimis (Račinskas, 1990), B – Vištyčio aukštumose I. Švarcaitės duomenimis (Švarcaitė, 1982)

Fig. Trend of variation of erosion rates in: A – East and West Lithuania according to A. Račinskas' data (Račinskas, 1990), B – Vyštytis Uplands according to I. Švarcaitė data (Švarcaitė, 1982)

Didėjantis erozijos tempas siejamas su miškų plotų mažėjimu bei žmogaus ūkinės veiklos plėtra, dėl ko daugiau kaip per du tūkstančius metų Vištyčio aukštumos kalvos pažemėjo nuo 0,46–0,56 m iki 1,68–1,81 m (Švarcaitė, 1982). Panašūs dėšningumai nustatyti ir šiaurrytinėje Lenkijoje, kurioje per paskutinį tūkstantmetį deliuvio akumuliacijos vidutinis intensyvumas kalvų papėdėse siekė 0,4–0,8 mm·m⁻¹, o per paskutinius 150–300 metų – padidėjo iki 2,0–2,5 mm·m⁻¹ (Smolska, 2002).

Lietuvos erozijos stebėjimų duomenys rodo proceso silpnėjimo tendenciją. Panaši tendencija ryškėja ir platesnėje erdvėje – vidutinėse platumose Europos sektoriuje, kurias lemia priešerozinių priemonių įgyvendinimas, socialiniai ir ekonominiai procesai (tai labiau būdinga Rytų Europai) bei hidroklimatinis veiksnys (Гысаров, 2004).

Apibendrinimas

Skelbtose publikacijose erozijos greitis (intensyvumas) pateikiamas įvairiomis (svorio, tūrio ar linijinėmis) dimensijomis per laiko vienetą. Tiriant erozinių procesų greitį tikslinga jį išreikšti viena linijine dimensija mm·m⁻¹.

Publikuoti duomenys apie dirvožemių erozijos realų ir potencialų greitį Lietuvoje (imant mažiausias ir didžiausias reikšmes) kinta plačiai – nuo 0,001 mm·m⁻¹ iki 19,5 mm·m⁻¹, t. y. skiriasi net trimis eilėmis. Eliminuojuant ekstremalius erozijos greičius, proceso greičio svyravimo amplitudė sumažėja: natūrinių matavimų duomenimis – iki 0,1–5,7 mm·m⁻¹, modeliavimo duomenimis – iki 0,1–3,6 mm·m⁻¹.

Realius erozijos greičius matyt atspindi duomenys, gauti atliekant proceso matavimus natūralioje aplinkoje. Taigi matematinis turimų duomenų vidurkis ir būtų tas vidutinis erozijos greitis, būdingas visai Lietuvos teritorijai. Natūrinių matavimų duomenimis, prie esamos žemėnaudų struktūros ir žemdirbystės technologijų, dirvožemių erozijos greitis visai šalies teritorijai būtų 2,2±0,44 mm·m⁻¹.

Modeliavimo duomenimis, erozijos greitis, įvertinus ir jos apimamus plotus, svyruoja 0,45–0,78 mm·m⁻¹ ribose. Paskutiniai modeliavimo duomenys beveik tapatūs, todėl šiai dienai matematinis metodas nustatytas naujausias vidutinis erozijos greitis 0,78 mm·m⁻¹ tiktų visai Lietuvos teritorijai. Jis yra beveik 3 kartus mažesnis lyginant su natūrinių matavimų rezultatais. Iš A. Povilaitis (Povilaitis, 1997) atliktų tyrimų matyti, kad matematinio modeliavimo ir natūrinių stebėjimų duomenys sutampa tik esant plokštuminei nuoplovei. Intensyvių liūčių (linijinė erozija) metu dirvožemio nuplaunama žymiai daugiau nei rodo matematiniai skaičiavimai.

Lietuvos ir aplinkinių šalių erozijos greičio duomenys yra panašūs ir jiems būdingi tie patys dėšningumai; tiesioginiais matavimais nustatomas didesnis proceso greitis lyginant su matematiškai apskaičiuotuju ar nustatytu pagal upių nešmenų nuotėkį ir kitus parametrus.

Erozijos greičio pokyčiai ir bendrieji proceso kaitos dėšningumai ilgalaikėje skalėje identifikuojami pagal ežerinių nuosėdų akumuliacijos ypatumus, fluvialinių nešmenų nuotėkio modulius bei deliuvio nuogulas. Pastarųjų dešimtmečių tyrimų duomenys rodo dirvožemio erozijos greičio mažėjimo tendenciją Lietuvoje ir aplinkinėse šalyse.

Literatūra

- Basalykas A.** 1982. Elementarieji egzodinaminiai procesai Lietuvos TSR teritorijoje (geosisteminis aspektas). *Geografijos metraštis* Nr. 20, p. 65–73.
- Branski J., Banasik K.** 1996. Sediment yields and denudation rates in Poland. *IAHS Publication* Vol. 236, p. 133–138.
- Bundinienė O., Paukštė V.** 2002. Lietuvos žemdirbystės instituto Dūkšto bandymų stoties veikla 1960–2000 m. *Žemės ūkio mokslai* Nr. 4, p. 45–53.
- Česnulevičius A.** 1998. Geodinaminių procesų intensyvumo prognozė Lietuvoje. *Litosfera* Nr. 2, p. 157–163.
- Dėnas Ž., Kumetaitis A., Šliaupa S., Zakarevičius A., Šliaupienė R.** 2006. Lietuvos žemės paviršiaus erozijos modeliavimas ir kartografavimas taikant GIS technologijas. *Geodezija ir kartografija* Nr. 32(3), p. 57–61.
- Fischer A. G.** 1969. Geologic time-distance rates: the Bubnoff unit. *Geological Society of America Bulletin* Vol. 80, p. 549–552.

- 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 transport and sediment yield*, p. 13–30.
- Jankauskas B., Jankauskienė G.** 2004. Water erosion rates on slopes under different land use systems. *Žemės ūkio mokslai* Nr. 3, p. 3–19.
- Jankauskas B., Jankauskienė G.** 2005. Priešerozinės agropriemonės ir ūkių specializacijos bei alternatyvios gyventojų veiklos prie jų derinimas. *Zemdirbystės mokslo darbai* Nr. 3(91), p. 27–39.
- Kiburys B.** 1989. Dirvožemio mechaninė erozija. Vilnius: Mokslas, 173 p.
- Povilaitis A.** 1997. Application of the WEPP profile model to simulate storm runoff and erosion. *Vandens ūkio inžinerija* Nr. 2(24), p. 72–79.
- Račinskas A.** 1982. Lietuvos TSR žemių erozinio pavojingumo įvertinimas. *Geografijos metraštis* Nr. 20, p. 74–81.
- Račinskas A.** 1990. Dirvožemio erozija. Vilnius: Mokslas, 134 p.
- Rimkus Z.** 2001. Lietuvos upių kietojo nuotėkio tyrimų analizė. *Lietuvos žemės ūkio instituto mokslo darbai* Nr. 16(38), p. 85–93.
- Rimkus Z., Grigaitienė L.** 2005. Lietuvos upių skandinavių nešmenų nuotėkis globaliniame kontekste. Respublikinės mokslinės konferencijos „Meteorologija ir hidrologija Lietuvoje: raida ir perspektyvos“ pranešimai. Vilnius, p. 69–70.
- Smolska E.** 2002. The intensity of soil erosion in agricultural areas in North-Eastern Poland. *Landform Analysis* Vol. 3, p. 25–33.
- Šeirienė V., Kabailienė M., Kasperovičienė J., Mažeika J., Petrošius R., Paškauskas R.** 2009. Reconstruction of postglacial paleoenvironmental changes in eastern Lithuania: Evidence from lacustrine sediment data. *Quaternary International* Vol. 207(1-2), p. 58–68.
- Švarcaitė I.** 1982. Antropogeninės denudacijos – akumuliacijos greitis kalvotame – moreniniame Vištyčio – Gražiškių aukštumos landsaifte. *Geografijos metraštis* Nr. 20, p. 178–187.
- Tamošaitis J., Martinkėnienė F.** 1991. Dabartiniai sedimentaciniai procesai Ilgų ežere. *Geografijos metraštis* Nr. 27, p. 50–56.
- Zachar D.** 1982. Soil Erosion. Amsterdam–Oxford–New York: Elsevier Scientific Publishing Company, 547 p.
- Žemės kadastras.** 1989. Vilnius: Mokslas, 728 p.
- Белоцерковский М. Ю., Жаркова Ю. Г., Кирюхина З. П., Ларионов Г. А., Литвин Л. Ф., Пацукевич З. В.** 1990. Эрозионноопасные земли Европейской части СССР. *Земельные и водные ресурсы: противоэрозионная защита и регулирование русел*, с. 3–20.
- Бобровицкая Н. Н.** 1995. Водная эрозия на склонах и сток наносов: *Автореф. дис. докт. геогр. н.*, С-Пб., 59 с.
- Гусаров А. В.** 2001. Тренды эрозии в Европе во второй половине XX столетия. *Геоморфология* No. 3, с. 17–33.
- Гусаров А. В.** 2004. Тенденции изменения эрозии и стока взвешенных наносов на земле во второй половине XX столетия. *Геоморфология* No. 2, с. 11–22.
- Добровольская Н. Г., Зорина Е. Ф., Кирюхина З. П., Литвин Л. Ф., Никольская И. И., Прохорова С. Д.** 2001. Бассейновая эрозия и флювиальная денудация центра Русской равнины. *Геоморфология* No.2, с. 55–61.
- Кайрюкшгис Л. А., Басаликас А. Б., Микалаускас А. П., Милюс И. В., Чеснулявичюс А. А.** 1983. Оценка расчлененности рельефа Литвы для целей моделирования регионального развития (1. Вычисление и генерализация морфометрических показателей). *Lietuvos TSR mokslų akademijos darbai, serija B* Nr. 5(138), p. 85–94.
- Рачинскас А.** 1976. Интенсивность эрозии почв в Литовской ССР. *Geographia Lituanica*, p. 71–74.
- Рейнек Г. Э., Сингх И. Б.** 1981. Обстановки терригенного осадко-накопления. Москва: Недра, 439 с.
- Современная динамика рельефа Белоруссии.** 1991. Минск: Навука і тэхніка, 102 с.
- Тамошайтис Ю., Мартинкенене Ф.** 1984. Современная седиментация в озерах Литовской ССР. *Geografijos metraštis* Nr. 21, p. 130–138.
- Экологическая роль лесных насаждений на приозерных склонах.** 1981. (Отв. ред. Г. Паулюкявичюс). Вильнюс, 192 с.
- Яцухно В. М., Качков Ю. П., Башкинцева О. Ф.** 1998. Ландшафтно-эрозионное районирование территории Беларуси. *Вестн. Бел. гос. ун-та* No. 2(3), с. 63–68.

Stasys Paškauskas, Irena Vekeriotienė

Institute of Geology & Geography, Vilnius

E. mail: paskauskas@geo.lt, vekeriotiene@geo.lt

Problems of Evaluation of Erosion Rates

Summary

Soil erosion is one of the most widespread geomorphological processes in the world. Lithuania does not make an exception. It has been reported in different sources that this process includes almost half of the country's territory. The rate of the process is one of the most important characteristics without which soil losses, rates of relief modification, and the ratio of surface denudation and accumulation cannot be evaluated correctly.

The present work discusses the values of the rates of erosion presented in different sources and determined by different methods. For the sake of data correctness and suitability for comparison, the values of the rate of erosion determined by different methods have been recalculated into one dimension ($\text{mm}\cdot\text{m}^{-1}$). The long-term field observations of soil erosion represent the widest spectrum of the conditions under which the process takes place. This is reflected in the variation amplitude of erosion rates $0.001\text{--}19.5 \text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$.

The actual rates of erosion in the country are best represented by the data obtained by instrumental measurements in situ. The mathematical mean of the available data represents the average erosion rate characteristic of the whole Lithuanian territory. Under the existing land use structure and agricultural technologies, the rate of erosion across Lithuanian territory is $2.2\pm 0.44 \text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$.

According to the data of mathematical modelling, the rate of erosion (taking into consideration the territory embraced) ranges within $0.45\text{--}0.78 \text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$. The data of the last two modelling patterns are almost identical. Thus the latest average value of the rate of erosion determined by mathematical method $0.78 \text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$ is representative of the whole Lithuanian territory. This value is almost thrice as low as the values obtained by measuring in situ. The processes of erosion are more precisely simulated by the WEPP model. In this case the error of the measured and calculated rates of erosion does not exceed 3%. Yet the results of model testing showed that it satisfies only the simulation of planar erosion. Estimation of linear erosion requires correction of the model (Povilaitis, 1997).

Rates of soil erosion and sedimentation of lake sediments are comparable therefore lake sediments may serve as one of the indicators in evaluation of the intensity of erosion processes and their temporal variations. The volume of the runoff of fluvial sediments implies a very low erosion rate – $0.007\text{--}0.02 \text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$ – which is close to the value of soil denudation from the areas occupied by perennial agrophytocoenoses. Thus the solid fluvial runoff is suitable only for evaluation of the variation patterns of erosion in basins because it does not reflect the actual erosion rates. Taking into account the discrepancies and introducing appropriate correction coefficients or dependences, the solid fluvial runoff could be taken as one of the best indicators of erosion processes.

Soil erosion is a dynamic process. In the course of time, the rates of erosion have increased. An especially strong intensification of erosion took place in the new ages 150–300 years ago when the rate of erosion reached $2.5\text{--}3.4 \text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$. Yet the data of field measurements of the last decades show a tendency of weakening of the process: from $1.4\text{--}4.6 \text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$ to $0.03\text{--}0.3 \text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$. The newest data show that soil erosion has stabilised and tends to weaken not only in Lithuania but in the neighbouring countries as well.