

<https://doi.org/10.15388/vu.thesis.330>

<https://orcid.org/0000-0003-4661-3569>

VILNIAUS UNIVERSITETAS
GAMTOS TYRIMŲ CENTRAS
KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS

Dovilė Karlonienė

Galimai pavojingų cheminių elementų kaita Lietuvos pajūrio paplūdimių sąnašose

DAKTARO DISERTACIJA

Gamtos mokslai
Fizinė geografija (N 006)

VILNIUS 2022

Disertacija rengta 2017–2022 metais Vilniaus universitete.

Mokslinius tyrimus rėmė Lietuvos mokslo taryba.

Mokslinis vadovas – doc. dr. Donatas Pupienis (Vilniaus universitetas, gamtos mokslai, fizinė geografija, N 006).

Mokslinė konsultantė – dr. Virgilija Gregorauskienė (Lietuvos geologijos tarnyba prie Aplinkos ministerijos, gamtos mokslai, fizinė geografija, N 006).

Gynimo taryba:

Pirmininkas – prof. dr. Egidijus Rimkus (Vilniaus universitetas, gamtos mokslai, fizinė geografija, N 006).

Nariai:

doc. dr. Justas Kažys (Vilniaus universitetas, gamtos mokslai, fizinė geografija, N 006),

prof. dr. Paulo Pereira (Mykolo Romerio universitetas, gamtos mokslai, fizinė geografija, N 006),

doc. dr. Julius Taminskas (Gamtos tyrimų centras, gamtos mokslai, fizinė geografija, N 006),

dr. Rimantė Zinkutė (Gamtos tyrimų centras, gamtos mokslai, geologija, N 005).

Disertacija ginama viešame Gynimo tarybos posėdyje 2022 m. birželio 23 d. 13.00 val. Chemijos ir geomokslų fakulteto Geomokslų instituto 313 auditorijoje. Adresas: M. K. Čiurlionio g. 21, 313 a., Vilnius, Lietuva, tel. +370 (8 5) 2398292

Disertaciją galima peržiūrėti Gamtos tyrimų centro, Klaipėdos universiteto ir Vilniaus universiteto bibliotekose ir VU interneto svetainėje adresu:

<https://www.vu.lt/naujienos/ivykiu-kalendorius>

<https://doi.org/10.15388/vu.thesis.330>

<https://orcid.org/0000-0003-4661-3569>

VILNIUS UNIVERSITY
NATURE RESEARCH CENTRE
KLAIPĖDA UNIVERSITY

Dovilė Karlonienė

Change in Potentially Harmful Elements in the Beach Sediments of a Seacoast

DOCTORAL DISSERTATION

Nature Sciences

Physical Geography (N 006)

VILNIUS 2022

The dissertation was prepared between 2017 and 2022 at Vilnius University. The research was supported by the Research Council of Lithuania.

Academic supervisor – Assoc. Prof. Dr. Donatas Pupienis (Vilnius University, Nature Science, Physical Geography, N 006).

Academic consultant – Dr. Virgilija Gregorauskienė (Lithuanian Geological Survey under Ministry of Environment, Nature Science, Physical Geography, N 006).

This doctoral dissertation will be defended in a public meeting of the Dissertation Defence Panel:

Chairman – Prof. Dr. Egidijus Rimkus (Vilnius University, Nature Science, Physical Geography, N006).

Members:

Assoc. Prof. Dr. Justas Kažys (Vilnius University, Nature Science, Physical Geography, N 006),

Prof. Dr. Paulo Pereira (Mykolas Romeris University, Physical Geography, N 006),

Assoc. Prof. Dr. Julius Taminskas (Nature Research Centre, Nature Science, Physical Geography, N 006),

Dr. Rimantė Zinkutė (Nature Research Centre, Nature Science, Geology, N 005).

The dissertation shall be defended at a public meeting of the Dissertation Defence Panel at 13:00 on 23rd of June 2022 in Room 313 of Vilnius University's Faculty of Chemistry and Geosciences, Institute of Geosciences.

Address: 21 M. K. Čiurlionis Str., Vilnius, Lithuania.

Phone No.: +370(5) 2398292.

The text of this dissertation can be accessed through the libraries of Vilnius University, Klaipėda University, and the Nature Research Centre, as well as on the website of Vilnius University:

www.vu.lt/lt/naujienos/ivykiu-kalendorius

SANTRUMPOS

Trumpinys	Reikšmė
Amp	amfibolai (angl. <i>Amphiboles</i>)
An	andalūzitas (angl. <i>Andalusite</i>)
Ap	apatitas (angl. <i>Apatite</i>)
CV	variacijos koeficientas (angl. <i>Variation coefficient</i>)
d	dalelių skersmuo (mm) (angl. <i>Particle diameter</i>)
Ep	epidotai (angl. <i>Epidotes</i>)
GPE (PHEs)	galimai pavojingi elementai (angl. <i>Potentially harmful elements</i>)
Grt	granatai (angl. <i>Garnets</i>)
HELCOM	Baltijos jūros aplinkos apsaugos komisija (angl. <i>Baltic Marine Environment Protection Commission</i>)
Ilm_Mag	ilmenitas ir magnetitas (angl. <i>Ilmenite and magnetite</i>)
IPC MS/ES	induktyviai susietos plazmos masių ir emisijos spektrometras (angl. <i>Inductively coupled plasma mass/emission spectrometer</i>)
K_k	koncentracijos koeficientas (angl. <i>Concentration coefficient</i>)
K_d	suminis koncentracijos koeficientas (angl. <i>Total concentration coefficient</i>)
M	mediana (angl. <i>Median</i>)
MI (MS)	magnetinis imlumas (angl. <i>Magnetic susceptibility</i>)
PLI	taršos apkrovos indeksas (angl. <i>Pollution loading index</i>)
PKA (PCA)	pagrindinių komponentų analizė (angl. <i>Principal component analysis</i>)
Px	piroksenai (angl. <i>Pyroxenes</i>)
Tur	turmalinai (angl. <i>Tourmalines</i>)
Ttn	titanitas (angl. <i>Titanite</i>)
Q	palūdimio sąnašų biudžetas (angl. <i>Beach sediment budget</i>)
Rt	rutilas (angl. <i>Rutile</i>)
S_o	dalelių rūšiuotumas (angl. <i>Sediment sorting coefficient</i>)
Zrn	cirkonas (angl. <i>Zircon</i>)

TURINYS

ĮVADAS.....	8
1. LITERATŪROS APŽVALGA.....	16
1.1. Pietryčių Baltijos jūros kranto geologiniai tyrimai Lietuvoje.....	16
1.2. Galimai pavojingų cheminių elementų šaltiniai ir migracijos keliai..	18
1.3. Galimai pavojingų cheminių elementų tyrimai pasaulyje	21
1.4. Galimai pavojingų cheminių elementų, sunkiųjų mineralų ir magnetinio imlumo tyrimai	27
2. TYRIMO VIETA.....	30
3. TYRIMŲ METODIKA	33
3.1. Ėminių ėmimas.....	34
3.2. Magnetinio imlumo matavimai	34
3.3 Granuliometriniai tyrimai.....	35
3.4 Geocheminiai tyrimai.....	35
3.5 Mineralinės sudėties tyrimai	36
3.6 Paplūdimio sąnašų biudžetos apskaita	37
3.7 Elementų koncentracijos koeficientų skaičiavimai	37
3.8 Statistiniai tyrimų metodai	39
4. REZULTATAI	40
4.1 Paplūdimių sąnašų savybės ir biudžetas.....	40
4.1.1 Granuliometrija.....	40
4.1.2 Magnetinio imlumo reikšmės	44
4.1.3 Sunkiųjų mineralų sudėtis ir kiekis	48
4.1.4 Paplūdimio sąnašų biudžetas.....	55
4.2 Paplūdimių smėlio sąnašų geocheminė sudėtis.....	56
4.2.1 Elementų išskirtys ir jų pasiskirstymas	56
4.2.2 Elementų grupės ir asociacijos.....	63
4.2.3 Galimai pavojingų elementų koncentracijos koeficientai	69

4.3 Galimai pavojingų elementų, litologinių, geomorfologinių ir magnetinio imlumo veiksnių sąveika	78
5. REZULTATŲ APTARIMAS.....	83
5.1 Žemyno ir Kuršių nerijos jūros kranto sąnašų elementinės sudėties palyginimas	83
5.2 Galimai pavojingų cheminių elementų paplūdimio sąnašose kaitą lemiančių veiksnių analizė	86
IŠVADOS.....	90
PRIEDAI	91
SUMMARY	100
LITERATŪROS SĄRAŠAS / REFERENCES.....	122
CURRICULUM VITAE	141
PADĖKA.....	142
PUBLIKACIJŲ SĄRAŠAS	143

ĮVADAS

Jūros krantų paplūdimio smėlio sąnašų granuliometrinė, mineralinė ir geocheminė sudėtis priklauso nuo vyraujančių hidrometeorologinių sąlygų, būdingų litologinių ir morfologinių savybių bei sąnašų kilmės šaltinių (Gudelis, 1998). Apie 50 proc. viso pasaulio paplūdimių yra susidarę iš smėlio ir žvirgždo sąnašų, kurios iš sausumos buvo plukdomos upėmis arba į kranto zoną pateko vykstant klifų abrazijai (Bird, 2000).

Smėlėtų paplūdimių sąnašų mineralinė, geocheminė sudėtis, dalelių dydis ir t. t. (Careda ir kt., 1999; Jarmalavičius ir kt., 2015; Yalcin ir kt., 2016; Pupienis ir kt., 2017) labiausiai priklauso nuo vietos geografinių (Ohta, 2004; Lee, 2009; Weltje, 2006) ir geologinių (Cox ir kt., 1995; Armstrong-Altrin ir kt., 2012; Abdel-Karim ir kt., 2016; Jarmalavičius ir kt., 2017a) sąlygų; tektoninių procesų (Chavadi, Hegde, 1989; Carranza-Edwards ir kt., 2009; Barnard ir kt., 2013; Armstrong-Altrin ir kt., 2014); pirminių nuosėdų kilmės šaltinių (Basu ir kt., 1986; Dickinson, Suczek, 1979; Kairyte ir kt., 2005; Kasper-Zubillaga, Dickinson, 2001; Saha ir kt., 2010) bei meteorologinių ir hidrodinaminių (bangų, potvynių, srovių) sąlygų (Chavadi, Hegde, 1989; Jarmalavičius ir kt., 2015; Pupienis ir kt., 2017; Vidinha ir kt., 2009; Yalcin ir kt., 2016).

Smėlėti jūros krantai yra jautrūs žmogaus veiklos keliamoms grėsmėms. Tradiciškai krantotyra orientuota į krantų erozijos grėsmę (Nordstrom ir kt., 2000) ir rekreacijos poreikius (Ariza ir kt., 2012), o paplūdimių tarša galimai pavojingais cheminiais elementais (GPE), tokiais kaip metalai (Cu, Pb, Zn, Ni, Cu, Mn, As, Cr), daugiau tyrėjų dėmesio nesulaukia (Defeo ir kt., 2009). Šie elementai dėl savo kilmės šaltinių (iškastinio kuro, žaliavų ir kt.) yra bene vieni iš labiausiai paplitusių teršalų aplinkoje, kurie linkę migruoti ir kauptis, jei tam susidaro palankios sąlygos. Natūralūs procesai, tokie kaip atmosferos poveikis, erozija ir vandenyje tirpių druskų tirpimas, suformuoja foninę metalų koncentraciją, o antropogeninė veikla gali ją gerokai padidinti (Bełdowska, 2015; Bełdowska ir kt., 2016; 2014; Antonowicz ir kt., 2017; Kwasigroch ir kt., 2018). Galimai pavojingi cheminiai elementai į Baltijos jūros kranto zoną patenka su upių nešmenimis iš viso Baltijos jūros baseino, kuris yra keturis kartus didesnis nei jūros plotas, taip pat su krituliais, pernešami vėjo ar kitais būdais. Pagrindiniai GPE (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Zn, Pb ir kt.) šaltiniai yra iškastinio kuro deginimas (transportas ir energijos gamyba), komunalinių ir pramoninių nuotekų tvarkymas, žemės ūkis (trašų priemaišos, pesticidų sudedamoji dalis), gamybos procesai (popierius, metalurgija ir kt.), turizmas ar karinė veikla (cheminiai ginklai, palaidoti po Antrojo pasaulinio karo, ar veikę kariniai poligonai) (Bełdowska ir kt., 2016a;

Bigus ir kt., 2016; Díaz Rizo ir kt., 2015; Guedes ir kt., 2011; Kriauciūnienė ir kt., 2013; Vidinha ir kt., 2009).

Paplūdimiai gali būti laikomi natūraliais teršalų barjeriais, esančiais jūros ir sausumos poveikio zonoje (Trojanowski, Bigus, 2011; Harris ir kt., 2015). Tačiau vykdant galimai pavojingų cheminių elementų taršos tyrimus, dažnai nepaisoma stambesnių nuosėdų frakcijų (0,1–2,0 mm), kurios dominuoja smėlėtuose paplūdimiuose, todėl paplūdimių sąnašos nebuvo plačiai tiriamos. Didesnių dalelių savitasis paviršiaus plotas yra mažesnis, o jų potencialas pernešti adsorbuotus teršalus ir paveikti jų ciklą yra menkas. Anksčiau mokslininkai mikroelementus tirdavo tik smulkiose (< 0,063 mm) frakcijose (Ackermann ir kt., 1983). Tokia tyrimų metodika išliko net tada, kai didelė šių elementų koncentracija buvo nustatoma ir stambesnėse frakcijose, nepaisant atvirkštinio ryšio tarp dalelių dydžio ir teršalų koncentracijos. Tyrimais buvo įrodyta, kad stambesnių smėlio dalelių paviršiaus plotą padidina oksidų ir hidrokسيدų intarpai, dėl to stambi frakcija, kaip ir smulkioji, gali sėkmingai adsorbuoti mikroelementus. Atsižvelgiant į mokslininkų atliktus tyrimus, buvo pasiūlyta neignoruoti ir stambesnių smėlio frakcijų tiriant galimai pavojingus cheminius elementus (Hannides ir kt., 2019).

Žinios apie galimai pavojingų cheminių medžiagų pasiskirstymą ir tendencijas paplūdimiuose atveria galimybę nustatyti neigiamą antropogeninį poveikį, kuris atsiliepia paplūdimių kokybei ir ilgainiui gali apriboti turizmą (Roca ir kt., 2009). Paplūdimių užterštumas galimai pavojingais cheminiais elementais leidžia įvertinti vietinių taršos šaltinių, naudingųjų iškasenų gavybos, urbanizuotų teritorijų, pramonės kompleksų (Ra ir kt., 2013; Vidinha ir kt., 2009; Yalcin, 2009; Caredda ir kt., 1999) arba turizmo (Nagarajan ir kt., 2017; Vetrinurugan ir kt., 2017; 2016) įtaką paplūdimių sąnašų kokybei. Taip pat buvo atlikta nemažai tyrimų, siekiant nustatyti paplūdimio sąnašų elementų pirminį šaltinį bei priežastis, lemiančias jų erdvinį pasiskirstymą: skersiniame kranto pjūvyje nuo dinaminės kranto linijos iki prieškopės (Díaz Rizo ir kt. 2015), išilgai kranto (Bramha ir kt., 2014; Retama ir kt., 2016; Nour, El-Sorogy, 2017; Vetrinurugan ir kt., 2017; Krek ir kt., 2018a) ar analizuojant sezoninį elementų pasiskirstymą vertikaliame paplūdimio sąnašų pjūvyje (Bigus ir kt., 2016).

Pietryčių Baltijos jūros smėlėtų paplūdimių sąnašų geocheminė sudėtis buvo tirta Lenkijoje (Bigus ir kt., 2016), Sembos pusiasalyje ir Kuršių nerijos pietinėje dalyje – Rusijoje (Krek ir kt., 2018a), taip pat priekrantės nuosėdų tyrimai vykdyti Latvijoje (Seisuma, Kulikova, 2012). Lietuvos mokslininkai daugiausia sunkiųjų metalų koncentraciją tyrė dirvožemiuose, urbanizuotų teritorijų gruntuose (Adomaitis ir kt., 2003; Marcinkonis ir kt., 2005; Gregorauskienė, 2006; Taraškevičius, Zinkutė, 2008; Kumpiene ir kt., 2011),

Baltijos jūros, Kuršių marių (Pustelnikovas, 1998; Radzevicius, 2002; Remeikaite-Nikiene ir kt., 2012), ežerų ir upių nuosėdose (Ignatavičius ir kt., 2022; Kadūnas ir kt., 1999; Kruopiene, 2007), tačiau išsamių paplūdimio sąnašų tyrimų nebuvo atlikta. Vienkartinius tyrimus Kuršių nerijos jūros krante vykdė A. Galkus ir K. Jokšas (1997) bei O. Pustelnikovas (1998). Iki šiol trūksta žinių apie Lietuvos paplūdimių sąnašų būklę, nėra informacijos apie foninę galimai pavojingų cheminių elementų koncentraciją paplūdimio sąnašose ir jų pasiskirstymą išilgai kranto. Be to, vis dar nėra aišku, kaip skiriasi Kuršių nerijos ir žemyno jūros kranto paplūdimių sąnašų geocheminė sudėtis ir jų šaltiniai. Tokių duomenų trūkumas neleidžia patikimai įvertinti Lietuvos ir gretimų šalių antropogeninės veiklos poveikio smėlėtiems paplūdimiams.

Darbo objektas

Galimai pavojingi ir kiti cheminiai elementai Lietuvos pajūrio paplūdimių sąnašose.

Tyrimo tikslas

Įvertinti galimai pavojingų cheminių elementų kaitą Lietuvos pajūrio paplūdimio sąnašose.

Uždaviniai:

1. Nustatyti makro- ir mikroelementų koncentraciją paplūdimių sąnašose ir įvertinti skirtumus tarp žemyno ir Kuršių nerijos jūros kranto paplūdimių sąnašų.
2. Nustatyti makro- ir mikroelementus bei jų santykius, leidžiančius įvertinti sąnašų pernašą išilgai Pietryčių Baltijos jūros kranto.
3. Apskaičiuoti galimai pavojingų cheminių elementų (As, Cu, Cr, Co, Ni, Pb, Zn) koncentracijos koeficientus (K_k) įvertinant jų kaitą išilgai Pietryčių Baltijos jūros kranto, siekiant nustatyti sankaupas ir jų kilmę.
4. Įvertinti paplūdimio sąnašų litologinių (granulometrijos, mineralinės sudėties, magnetinio imlumo) savybių ir paplūdimio sąnašų biudžeto pokyčių įtaką galimai pavojingų cheminių elementų kaitai paplūdimiuose.
5. Įvertinti magnetinio imlumo metodo taikymo galimybę identifikuojant galimai pavojingų cheminių elementų sankaupas paplūdimiuose.

Ginamieji teiginiai

1. Pirminiai nuosėdų šaltiniai lemia Kuršių nerijos jūros ir žemyno kranto smėlio sąnašų granulimetrinę, mineralinę ir geocheminę sudėtį.

2. Paplūdimių geocheminė sudėtis ir aptinkamos sankaupos priklauso nuo litodinaminių ir morfodinaminių procesų.
3. Makro- ir mikroelementų kiekio ir jų santykio kaita gali būti pasitelkiama išilginės nešmenų pernašos tyrimuose.
4. Magnetinio imlumo metodas gali būti taikomas nustatant sąnašų mineralinės sudėties ir geocheminės išskirtis smėlietuose paplūdimiuose.

Darbo naujumas

Baltijos jūros Lietuvos teritorinių vandenų mineraloginė ir geocheminė dugno nuosėdų sudėtis ir jų pasiskirstymas yra neblogai išanalizuoti (Radzevičius, 2002; Kairyte ir kt., 2005; Remeikaitė-Nikienė ir kt., 2018), tačiau išsami geocheminė paplūdimio sąnašų sudėtis, atsižvelgiant į aktyvius krante vykstančius procesus, iki šiol nebuvo ištirta. Atlikti pavieniai tyrimai (Galkus, Jokšas, 1997; Pustelnikovas, 1998) neleidžia nustatyti bendrų elementų pasiskirstymo dėsningumų. Šiuo kompleksiniu tyrimu siekiama įvertinti elementų koncentracijos kaitą dinamiškoje kranto zonoje – smėlio paplūdimių sąnašose. Taip pat nustatyti pagrindinius krante vykstančius procesus, kurie turi įtakos elementų sancaupų formavimuisi paplūdimyje.

Šiuo tyrimu taip pat siekiama kiekybiškai įvertinti magnetinio imlumo metodo taikymą vykdant ilgalaikius geocheminius tyrimus smėlietuose paplūdimiuose. Pasaulyje nuolat ieškoma būdų, kaip greitai ir paprastai įvertinti taršą galimai pavojingais cheminiais elementais įvairiose aplinkose. Vienas iš metodų, leidžiančių įvertinti elementų sancaupas paplūdimio sąnašose, yra magnetinio imlumo matavimai, tačiau šio metodo taikymas kranto sąnašų tyrimuose yra naujas ir neišplėtotas (Chaparro ir kt., 2017). Magnetinio imlumo ar sunkiųjų mineralų koncentracijos sąnašose matavimai daugiausia sietini su dalelių, turinčių geležies oksidų, nustatymu aplinkoje. Žinoma, kad dalis tokių dalelių gali būti išmetamos vykstant pramoniniams procesams (deginant iškastinį kurą), o galimai pavojingi cheminiai elementai gali būti adsorbuoti arba gali įsiterpti į šių mineralų atomines gardeles (Petrovský ir kt., 2001; Zhang ir kt., 2012; Lourenço ir kt., 2014; Rachwał ir kt., 2017; Wang ir kt., 2017). Taigi, nustačius ryšius tarp magnetinio imlumo reikšmių ir elementų, galima būtų optimizuoti sąnašų ėmimo vietų parinkimą atliekant vietos geocheminius tyrimus (Hunt ir kt., 1995; Zhang ir kt., 2012; Lourenço ir kt., 2014).

Darbo aktualumas

Jūros krante susiduria įvairūs interesai, todėl svarbu išlaikyti pusiausvyrą tarp vystomų veiklų. Vykdoma intensyvi rekreacinė veikla, turizmas, laivininkystė gali pažeisti ir nuskurdinti gamtinę aplinką. 2021 m. buvo

patvirtintas Baltijos jūros veiksmų planas, kurio vienas iš keturių pagrindinių tikslų – Baltijos jūra nepaveikta pavojingų medžiagų ir šiukšlių, o vienas iš uždavinių yra siekti, kad pavojingų medžiagų koncentracijos būtų artimos natūraliam lygiui (Helcom, 2021). Tačiau, remiantis naujausiais HELCOM vertinimais, vis dar yra sunku susidaryti išsamų vaizdą apie Baltijos jūros užterštumo mastą dėl duomenų trūkumo. Taigi, turėdami neišsamią informaciją, pavyzdžiui, apie paplūdimius ir jų kokybę, negalime patikimai įvertinti, ar minėta pusiausvyra tarp veiklų yra išlaikoma, o tai ypač aktualu pajūrio gyventojams ir turistams, taip pat šio regiono tolesniam strateginiam vystymuisi. Duomenys apie elementų foninių verčių pasiskirstymą paplūdimių sąnašose Lietuvos Baltijos jūros krante galėtų padėti objektyviau vertinti antropogeninį poveikį paplūdimiams.

Ne mažiau svarbios yra gilesnės įžvalgos apie paplūdimio morfologijos ir kokybės pokyčius, nes tai taip pat gali turėti reikšmingą ekonominį ir socialinį poveikį, ypač Lietuvoje, kur kranto ilgis tesiekia 90,6 km (Žilinskas, 1997; Kairyte, Stevens, 2009). Manoma, kad elementų, kaip ir sunkiųjų mineralų, koncentracija gali kisti, ir tai priklauso nuo pajūryje vyraujančių hidrometeorologinių sąlygų, kurios turi įtakos paplūdimių litologijai ir morfologijai (Kurian ir kt., 2001; Bigus ir kt., 2016; Hanamgond ir kt., 2017). Iki šiol nebuvo analizuota, kaip dėl krante vykstančių litologinių bei morfologinių dinaminų procesų kinta paplūdimio sąnašų geocheminė sudėtis. Taigi šio tyrimo metu atlikti kompleksiniai tyrimai, padedantys geriau suprasti, kaip sąnašų elementinę sudėtį keičia krante vykstantys procesai. Šie rezultatai galėtų padėti spręsti įvairius praktinius pakrančių tvarkymo klausimus, susijusius su paplūdimių būklės gerinimu.

Darbo pritaikomumas

Granulimetrinė, mineraloginė ir geocheminė paplūdimio smėlio sąnašų analizė gali suteikti vertingos informacijos apie nešmenų pernašą, jų pasiskirstymą krante, kilmę ir būklę (Hanamgond ir kt., 2017). Siekiant užtikrinti saugią aplinką ir vykdyti efektyvų krantų tvarkymą yra svarbu įvertinti sąnašų kilmę ir jų pernašos kelius, nustatyti šaltinius, kurie turi didžiausią įtaką krantų pasipildymui sąnašomis (Saitoh ir kt., 2017). Geocheminiai tyrimai leidžia išsamiau analizuoti galimus nešmenų šaltinius, nustatyti sąnašų kilmę. Gauti tyrimų rezultatai suteikia naujų žinių visuomenei ir savivaldai apie paplūdimio sąnašas, o tai gali padėti vertinant galimas grėsmes visuomenės sveikatai ir parenkant švarias paplūdimių vietas, atitinkančias Mėlynosios vėliavos kokybės standartus, taip pat optimizuojant krantų valdymo strategiją.

Darbo struktūra

Šis darbas yra sudarytas iš šių pagrindinių dalių:

1. Pirma, buvo įvertinta paplūdimio sąnašų granulometrijos statistiniai rodikliai ir magnetinio imlumo reikšmės 2011, 2014 ir 2018 m. Įvertinta sunkiųjų mineralų paplūdimio sąnašų sudėtis. Apžvelgiama anlizuojamo laikotarpio paplūdimio sąnašų biudžeto kaita.

2. Antra, identifikuotos elementų išskirtys ir jų pasiskirstymo tendencija išilgai kranto. Atliktas elementų grupavimas, siekiant įvertinti ryšį tarp skirtingų elementų. Be to, atlikus pagrindinių komponentų analizę, nustatytos elementų asociacijos. Galiausiai, apskaičiuoti pasirinktų galimai pavojingų cheminių elementų (As, Cu, Cr, Co, Mn, Ni, Pb, Zn) koncentracijos koeficientai ir nustatytos elementų sankauptų vietos.

3. Tyrimo rezultatai apibendrinti rezultatų aptarimo dalyje, kurioje analizuojami žemyno ir Kuršių nerijos jūros kranto paplūdimio sąnašų skirtumai. Įvertintas krante vykstančių procesų poveikis galimai pavojingų cheminių elementų pasiskirstymui išilgai kranto ir jų sankauptų susidarymui.

Rezultatų aprobavimas

Tyrimų rezultatai pristatyti 4-iose tarptautinėse ir 3-ose nacionalinėse mokslinėse konferencijose.

Tarptautinės konferencijos:

1. **Karlonienė, D.**, Pupienis, D., Dubikaltienė, A., Žilinskas, G., Jarmalavičius, D. Beach nourishment impact on coastal zone sediments and morphological changes in protected areas, Southeastern Baltic Sea (Lithuania). ECSA 58 and EMECS 13 Estuaries and coastal seas in th Anthropocene, 6–9 September, 2021, Hull, United Kingdom (online).
2. **Karlonienė, D.**, Pupienis, D., Žilinskas, G., Jarmalavičius, D., Dubikaltienė, A., Viršilaitė, K. Lithological and geochemical anomalies on the Baltic Sea coast (Curonian Spit, Lithuania) // 12th Baltic Sea Science Congress, 19–23 August 2019, Stockholm, Sweden.
3. **Karloniene, D.**, Pupienis, D., Tautkus, S., Zarkov, A. Assessment of heavy metals content in beach sediments along the south-eastern Baltic Sea coast (Lithuania). International conference Ecobalt 2018, October 25–27, Vilnius, Lithuania. 96 p.
4. **Karlonienė, D.**, Vilčinska, V., Pupienis, D. 2018. Magnetic susceptibility a proxy for heavy metal pollution detection the Southeastern Baltic Sea coast. 61st International Conference for Students of Physics and Natural Sciences „Open Readings 2018“, March 20–23, 2018, Vilnius, Lithuania. 99 p.

Nacionalinės konferencijos:

1. **Karlonienė, D.**, Pupienis, D., Dubikaltienė, A., Jarmalavičius, D., Žilinskas, G. Sunkiųjų metalų kaita Lietuvos Baltijos jūros paplūdimiuose 2014–2018 metais. Jūros ir krantų tyrimai 2020: 13-oji mokslinė konferencija „Jūros ir krantų tyrimai 2020“, 2020 m. spalio 7–9 d., Klaipėda.
2. **Karlonienė, D.**, Pupienis, D., Dubikaltienė, A., Žilinskas, G., Jarmalavičius, D. Morfolitologinių ir geocheminių anomalijų pasiskirstymo analizė Kuršių nerijos jūros kranto paplūdimyje. Jūros ir krantų tyrimai 2019: 12-oji nacionalinė jūros mokslų ir technologijų konferencija, 2019 m. gegužės 9–10 d., Klaipėda.
3. **Karlonienė, D.**, Jarmalavičius, D., Žilinskas, G., Vilčinska, V., Pupienis, D. 2018. Sunkiųjų mineralų erdvinis pasiskirstymas antropogeniškai paveiktuose Baltijos jūros kranto ruožuose. Jūros ir krantų tyrimai 2018: 11-oji „Jūros ir krantų tyrimai“ konferencija, 2018 m. gegužės 24–25 d., Klaipėda.

Publikacijos

Publikacijos *Clarivate Analytics Web of Science* duomenų bazėje

1. **Karlonienė, D.**, Pupienis, D., Jarmalavičius, D., Dubikaltienė, A., Žilinskas, G. 2021a. The impact of coastal geodynamic processes on the distribution of trace metal content in sandy beach sediments, South-Eastern Baltic Sea coast (Lithuania). *Appl. Sci.* 11, no. 3: 1106. <https://doi.org/10.3390/app11031106>
2. **Karlonienė, D.**, Pupienis, D., Jarmalavičius, D., Dubikaltienė, A., Žilinskas, G. 2021b. Lithological and geochemical analyses of sandy beach sediments of different geological frameworks: The south-eastern Baltic Sea (Lithuania). *Arab J Geosci* 14, 279. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06468-x>
3. Karaliūnas, V., Jarmalavičius, D., Pupienis, D., Janušaitė, R., Žilinskas, G., and **Karlonienė, D.** 2020. Shore nourishment impact on coastal landscape transformation. On example of Lithuanian Baltic Sea coast. In: Malvárez, G. and Navas, F. (eds.), *Proceedings from the International Coastal Symposium (ICS) 2020* (Seville, Spain). *Journal of Coastal Research, Special Issue No. 95*, pp. 11–15. Coconut Creek (Florida), ISSN 0749-0208.

Publikacijos recenzuojamoje Lietuvos ir užsienio konferencijų medžiagoje

1. **Karlonienė, D.**, Pupienis, D., Jarmalavičius, D., Dubikaltienė, A., Žilinskas, G. 2022. Lithological and Geochemical Analysis of Mainland and Spit Sandy Beach Sediments: SE Baltic Sea (Lithuania). In Eds. Çiner A. ir kt. *Recent Research on Geomorphology, Sedimentology, Marine Geosciences and*

- Geochemistry. CAJG 2019. Advances in Science, Technology & Innovation (IEREK Interdisciplinary Series for Sustainable Development). Springer, Cham. pp. 85–88. https://doi.org/10.1007/978-3-030-72547-1_19
2. **Karlonienė D.**, Pupienis D., Dubikaltienė A., Jarmalavičius D., Žilinskas G. 2020. Sunkiųjų metalų kaita Lietuvos Baltijos jūros paplūdimiuose 2014–2018 metais. 13-oji mokslinė konferencija „Jūros ir krantų tyrimai 2020“. Klaipėda: konferencijos medžiaga. – Klaipėda: Klaipėdos universitetas, 2020, p. 50–53.
 3. Pupienis, D., Dubikaltienė, A., Jarmalavičius, D., Žilinskas, G., **Karlonienė, D.** 2020. Ar tektonika ir neotektoniniai procesai gali paveikti jūros kranto litologiją. Jūros ir krantų tyrimai, 2020: 13-oji nacionalinė jūros mokslų ir technologijų konferencija. Klaipėda: konferencijos medžiaga. – Klaipėda: Klaipėdos universitetas, 2020, p. 184–186.
 4. Dubikaltienė, A., Pupienis, D., Jarmalavičius, D., Žilinskas, G., **Karlonienė, D.** 2020. Pietryčių Baltijos jūros žemyno kranto paplūdimio sąnašų smėlio dalelių kaita 1993–2018 m. 13-oji mokslinė konferencija „Jūros ir krantų tyrimai 2020“. Klaipėda: konferencijos medžiaga. – Klaipėda: Klaipėdos universitetas, 2020, p. 50-53.
 5. **Karlonienė, D.**, Pupienis, D., Dubikaltienė, A., Žilinskas, G., Jarmalavičius, D. 2019. Morfolitologinių ir geocheminių anomalijų pasiskirstymo analizė Kuršių nerijos jūros kranto paplūdimyje. Jūros ir krantų tyrimai 2019: 12-oji nacionalinė jūros mokslų ir technologijų konferencija, 2019 m. gegužės 9–10 d., Klaipėda: konferencijos medžiaga. – Klaipėda: Klaipėdos universitetas, 2018, p. 100–103.
 6. Dubikaltienė, A., Pupienis, D., **Karlonienė, D.**, Karaliūnas, V., Vilčinska, V. 2019. Pietryčių Baltijos jūros nešmenų pernašos vertinimas remiantis dugno nuosėdų grūdelių dydžio pasiskirstymo rodiklių analize. Jūros ir krantų tyrimai 2019: 12-oji nacionalinė jūros mokslų ir technologijų konferencija, 2019 m. gegužės 9–10 d., Klaipėda: konferencijos medžiaga. – Klaipėda: Klaipėdos universitetas, 2018, p. 53–57.
 7. **Karlonienė, D.**, Jarmalavičius, D., Žilinskas, G., Vilčinska, V., Pupienis, D. 2018. Sunkiųjų mineralų erdvinis pasiskirstymas antropogeniškai paveiktuose Baltijos jūros kranto ruožuose. // Jūros ir krantų tyrimai 2018: 11-oji nacionalinė jūros mokslų ir technologijų konferencija, 2018 m. gegužės 24–25 d., Klaipėda: konferencijos medžiaga. – Klaipėda: Klaipėdos universitetas, 2018, p. 61–64.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

Literatūros apžvalga sudaryta iš keturių poskyrių, kuriuose aprašomi Pietryčių Baltijos jūros kranto tyrimai Lietuvoje ir aptariami galimai pavojingų cheminių elementų paplūdimių sąnašose šaltiniai, išsamiai apžvelgiami įvairiose šalyse atlikti elementų tyrimai, pabrėžiami taikyti metodai ir interpretuojami rezultatai. Galiausiai apžvelgiami magnetinio imlumo tyrimai, įvertinamas šio metodo pritaikomumas elementų sancaupų nustatymui.

1.1. Pietryčių Baltijos jūros kranto geologiniai tyrimai Lietuvoje

Jūros krantas yra pastovios sąveikos tarp jūros ir sausumos zona. Nešmenų pernaša ir diferenciacija kranto zonoje vyksta dėl bangų ir srovių, o sausumoje – vėjo (eolinių procesų) veiklos. Tiriant kranto zonos vystymosi dėsningumus, analizuojami kranto zonos reljefo pokyčiai, kuriuos lemia nešmenų išplovimas, pernaša ir akumuliacija. Latvių mokslininkas hidrotechnikas R. Knaps (nuo 1955 m.) Pietryčių Baltijos jūros regione svariai prisidėjo prie priekrantės srovių tyrimų, analizavo dugno reljefo formavimosi dėsningumus ir nešmenų srautus.

Pietryčių Baltijos jūros kranto sąnašų kaita priklauso nuo hidrometeorologinių sąlygų kaitos ir pirminių smėlio šaltinių. Pirmuosius šio regiono kranto zonos geologinius tyrimus atlikto vokiečių mokslininkai. XIX a. šių mokslininkų atlikti pajūrio ir Kuršių marių geologiniai tyrimai buvo apibendrinti G. Berendt (1869), o vėliau – Hess von Wichdorff (1919) ir kt. darbuose. O. Pratje (1931) yra išsamiai ištyręs Sembos pusiasalio nuosėdas. Jis išskyrė pagrindinius indikatorinius mineralus: glaukonitą, magnetitą ir fosforitą, pagal kurių paplitimą būtų galima spręsti apie priekrantėje vykstančius procesus.

Lietuvoje Baltijos jūros kranto zonos morfodinaminius ir geologinius tyrimus 1954 m. pradėjo vykdyti Lietuvos mokslų akademijos Geologijos ir geografijos instituto mokslininkų grupė, vadovaujama V. Gudelio. Šios grupės mokslininkė R. Stauskaitė (1962; 1964) tyrė nešmenų litologinę sudėtį ir kaupė duomenis apie nešmenų litodinamiką. R. Stauskaitė (1962) viena pirmųjų ištyrė mineralinę smėlio paplūdimių sudėtį dominuojančioje (0,25–0,10 mm) frakcijoje. Tyrimų rezultatai parodė, kad akumuliacinėse atkarpose padidėja amfibolų, sumažėja granatų bei rūdinių mineralų, o abrazinėse ir dinaminės pusiausvyros atkarpose būna priešingai. Mokslininkė nustatė, kad sunkiųjų mineralų paplitimo rajonai, nepaisant pasitaikančių ekstremalių audrų, išlieka beveik pastovūs. R. Stauskaitės (1964) atliktas tyrimas ties Nida atskleidė, kad sunkesni rūdiniai mineralai ir glaukonitas linkę kauptis

mažesniuose gyliuose, o didesniuose kaupiasi mažesnio lyginamojo svorio mineralai (amfibolai). Epidotų grupės mineralai ir granatai aptinkami sėklių viršūnėse, kur vyrauja smulkesni smėliai.

Septintajame XX a. dešimtmetyje kranto sąnašos tirtos kaip potencialus sunkiųjų mineralų sąrašynų šaltinis (Linčius, Uginčius, 1970). A. Linčiaus (1966) tyrime buvo vertinamas sunkiųjų mineralų pasiskirstymas dviejose žemyno ir viso Kuršių nerijos kranto frakcijose: 0,315–0,2 ir 0,2–0,1 mm. Rezultatai parodė, kad rūdiniai mineralai (ilmenitas, magnetitas) vyrauja smulkesnėje frakcijoje (vid. 51,4 %), o granatai – stambesnėje (vid. 44,8 %). Mokslininkas išskyrė, kad amfibolų, epidotų, glaukonito, geležies oksidų ir hidroksidų (be magnetito), staurolito, disteno yra gerokai daugiau stambesnėje frakcijoje, o dūlėjimui atsparių cirkono ir rutilo – smulkesnėje.

A. Linčius ir A. Uginčius (1970) atliko Kuršių nerijos ruožo nuo Kopgalio iki Juodkrantės 0,400–0,063 mm smėlio frakcijos mineralinę analizę ir nustatė, kad sunkiųjų mineralų kiekio vidurkis paplūdimyje pasiskirsto pagal tokį dėsnį: ilmenitas > amfibolai > granatai > epidotai > geležies oksidai ir hidroksidai ir kt. Tirtame ruože visų sunkiųjų mineralų kiekis didėjo šiaurės kryptimi.

M. Kairytė (2005), išanalizavusi priekrantės nuosėdų smulkiadispersės frakcijos mineralinę sudėtį ties žemyno ir šiaurinės Kuršių nerijos dalies krantu, nustatė, kad priekrantėje vyrauja šios mineralų grupės: kvarcas, lauko špatai, karbonatai ir molio mineralai (ilitas) bei glaukonitas. Baltijos jūros krantų geologiniame atlase (Bitinas ir kt., 2005a) galima rasti nemažai duomenų apie mineralinę žemyno kranto ir šiaurinės Kuršių nerijos dalies paplūdimių sąnašų sudėtį.

O. Pustelnikovas (1994; 1998; 2002) vienas iš pirmųjų Lietuvoje tyrė Kuršių marių nuosėdų geochemiją ir analizavo antropogeninės kilmės medžiagų sedimentacijos procesus Kuršių mariose ir Baltijos jūroje. Jūros dugno nuosėdų taršą sunkiaisiais metalais uostų akvatorijose tyrė A. Galkus, K. Jokšas ir R. Stakėnienė (2003; 2009; 2012). Įvertinę Klaipėdos uosto akvatorijos dugno nuosėdas, jie nustatė, kad labiausiai užterštose zonose metalų taršos koeficientai (PLI) pasiskirstė tokia seka: Cd > Pb > Zn > Cu > Cr > Hg > Ni ir identifیکavo dvi pagrindines elementų grupes: Cu-Pb-Zn-Ni ir Cd-Hg. Tyrimai Šventosios uosto akvatorijoje ir Šventosios upės žiotyse parodė, kad didžiausios metalų (Pb, Cu, Zn, Ni) sankaupos yra ties upės žiotimis. Šie mokslininkai nustatė, kad metalų akumuliacija priklausė nuo smulkiosios frakcijos ir organinės medžiagos procento nuosėdose. Išsamūs mikroelementų Baltijos jūros dugno nuosėdose tyrimai buvo paskelbti R. Radzevičiaus (2002) darbe, vėliau šiuos tyrimus papildė N. Remeikaitė-Nikienė ir kt. (2017). Atlikti tyrimai parodė, kad Kuršių marių ir atviros jūros

dugno nuosėdos labiausiai užterštos Cd, Pb, Zn ir Cu, o Ni ir Cr tarša buvo nereikšminga.

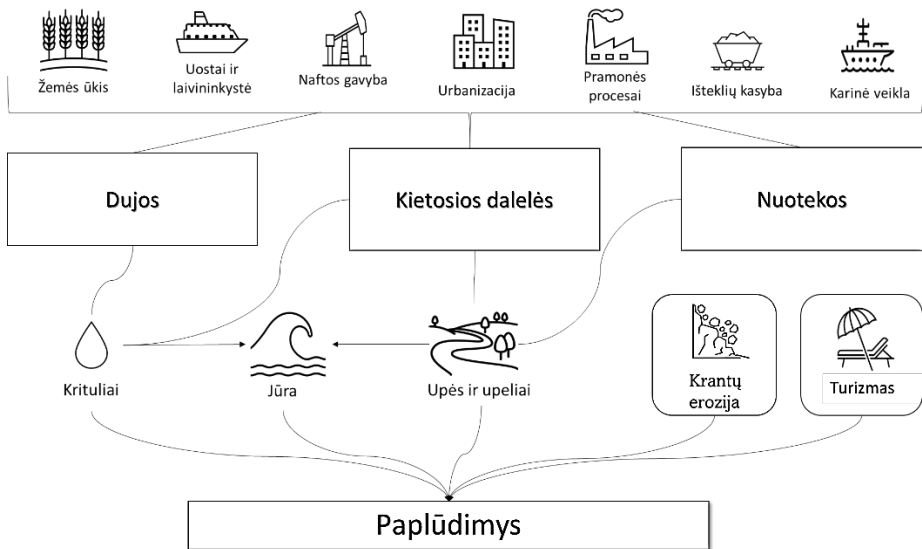
1.2. Galimai pavojingų cheminių elementų šaltiniai ir migracijos keliai

Galimai pavojingi cheminiai elementai (GPE) gali būti apibrėžiami kaip elementai, kurie, susidarius tam tikrai jų koncentracijai, yra toksiški vienai ar kelioms rūšims (Hg, Pb, Cd ir kt.), tačiau dalis jų, esant mažesnei koncentracijai, yra būtini gyviesiems organizmams (pvz., Zn, Cu) (Pourret, Hursthouse, 2019). Paprastai manoma, kad GPE yra linę kauptis įvairioje jūros nuosėdinėje aplinkoje, kurioje vyrauja smulkiagrūdė medžiaga (aleuritas, molis), o smėlio nuosėdos ilgą laiką buvo ignoruojamos dėl didelio dalelių dydžio ir mažesnės akumuliacinės gebos (De Lacerda, 1985). Paplūdimių užterštumas šiais elementais mokslininkams kelia didelį susirūpinimą, nes paplūdimiuose plėtojama rekreacinė veikla, o GPE kelia ilgalaikį pavojų visuomenės sveikatai (Foteinis ir kt., 2013; Jayasiri ir kt., 2014; Vidinha ir kt., 2009). Dėl šios priežasties praėjusio amžiaus dešimtajame dešimtmetyje taršos tyrimai paplūdimiuose suintensyvėjo.

Galimai pavojingi cheminiai elementai yra vieni iš dažniausiai tiriamų aplinkos teršalų, kurių maža koncentracija (pvz., gyvsidabrio, švino, kadmio) gali būti toksiška. Šie elementai yra linę kauptis ir taip gali sutrikdyti normalų ekosistemų funkcionavimą (Järup, 2003). Mokslininkai pabrėžia, kad visa Baltijos jūros vandens masė atsinaujina maždaug per 30 metų, nes tai yra pusiau uždara sistema, dėl to gali padidėti teršalų kaupimosi imlumas paviršinėse dugno nuosėdose (Belzunce Segarra ir kt., 2007; Helcom, 2018). Apskritai manoma, kad daugiau nei 99 % suspenduotų GPE kaupiasi nuosėdose, ir tik 1 % lieka ištirpęs vandenyje (Filgueiras ir kt., 2004). Galimai pavojingi cheminiai elementai į Baltijos jūros kranto zoną patenka iš viso Baltijos jūros baseino, kuris yra keturis kartus didesnis už jūros plotą.

Atsižvelgiant į antropogeninę įtaką paplūdimiams, buvo nustatyta, kad pagrindiniai GPE šaltiniai (1.1 pav.) yra sietini su urbanizacija, žaliavų gavyba, laivybos veikla, dažymu (laivų dažymas vandeniui atspariais dažais), žemės ūkio veikla (trašos ir pesticidai), buitinėmis bei pramoninėmis nuotekomis (Careda ir kt., 1999; Santhiya ir kt., 2011; Nagarajan ir kt., 2013; Krek ir kt., 2018b). Pavyzdžiui, varis ir cinkas yra žalvario lydinių komponentai, dažnai naudojami laivuose ir šoviniams gaminti (Antonowicz ir kt., 2017), o jūros kranto zona, esanti arčiau urbanizuotų teritorijų, yra labiau teršiama dėl vyraujančios didesnio masto antropogeninės veiklos, pavyzdžiui, transporto keliamų dulkių (Choi ir kt., 2020).

Galimai pavojingi cheminiai elementai į kranto zoną gali patekti skirtingais keliais. GPE į paplūdimius patenka su upių ir upelių gabenamais įvairios (organinės ir neorganinės) kilmės nešmenimis (Kwasigroch ir kt., 2018). Lenkų mokslininkai nustatė, kad Gdansko įlankos nuosėdose susikaupusi didžioji dalis gyvsidabrio kiekio susijusi su upių nešmenų pernaša (Bełdowska ir kt., 2014). Į upes gali būti išleidžiami neišvalyti vandenys: buitinės, pramoninės ar miestų gatvių paviršinės nuotekos ir kt. (Choi ir kt., 2020; Islam ir kt., 2015; Miller ir kt., 2003). Elementus iš žemės ūkio laukų gali išplauti intensyvūs krituliai ir taip šie elementai gali patekti į artimiausius upelius bei upes ar būti pernešti į jūros kranto zoną (Conrad ir kt., 2020). Gyvsidabrio patekimui iš miestų ir dirbamų žemės laukų į upes didžiulę įtaką turi potvyniai ir tirpstantis sniegas (Saniewska ir kt., 2018).



1.1 pav. Apibendrinta schema, vaizduojanti pagrindinius galimai pavojingų cheminių elementų šaltinius Pietryčių Baltijos jūros regione.

Mokslininkų teigimu, ateityje dėl klimato krizės intensyvės ekstremalūs meteorologiniai reiškiniai (audros), todėl gali sustiprėti krantų erozijos procesai, kurie paskatins elementinės sudėties pokyčius kranto zonos sąnašose (Bełdowska, 2015; Saniewska ir kt., 2018). Tyrimai, atlikti Pietryčių Baltijos jūros pakrantėje (Lenkija), parodė, kad, suintensyvėjus jūros kranto erozijai, gyvsidabrio (Hg) koncentracija gerokai padidėjo suspensinėje medžiagoje bei fitoplanktone. Mokslininkai sako, kad ateityje klifų arda gali būti svarbus Hg šaltinis (Bełdowska ir kt., 2016b; Kwasigroch ir kt., 2018).

Galimai pavojingi cheminiai elementai ir kiti teršalai į jūros kranto zoną gali patekti iš atmosferos būdami dujinės, skystosios ir kietosios fazės.

Pavyzdžiui, švino (Pb) ir kadmio (Cd) į Baltijos jūrą daugiausia yra atnešama su upių nešmenimis (64 ir 79 %), o Hg (70 %) daugiausia patenka iš atmosferos (Sonesten ir kt., 2018). Kietosios dalelės dažnai yra terigeninės kilmės, susidarancios dėl uolienu erozijos ir ugnikalnių išsiveržimų, taip pat deginant kietąjį kurą, pavyzdžiui, anglį ar biomasę (Bacardit, Camarero, 2009). Baltijos jūros regione vyrauja vakarų oro masių pernaša, todėl metalai iš Vakarų Europos sudaro apie 25 % viso nusėdusių metalų kiekio Baltijos jūroje regione (Krüger, 1996). Visgi šis metalų pernešimo būdas nėra laikomas vienu iš pagrindinių, daugiausia nešmenų yra pernešama upėmis (Bełdowska ir kt., 2014; Kwasigroch ir kt., 2018).

Sezono metu padidėjęs žmonių skaičius pajūryje gali turėti didelę įtaką teršalų kiekio padidėjimui paplūdimiuose. K. Bigus ir kt. (2016) teigė, kad Ustkoje (Lenkijos pakrantėje) nuolatinis gyventojų skaičius yra 16,3 tūkstančių, o sezono metu jis padidėja iki 120 tūkstančių. Pavyzdžiui, Palangoje nuolatinių gyventojų skaičius 2020 m. siekė 18,2 tūkstančio, o poilsiautojų skaičius buvo apie 306 tūkstančius. Manoma, kad padidėjusi apkrova turistinio sezono metu, kai pajūrio teritorijoje suintensyvėja tiek vandens, tiek sausumos sporto veiklos ir pramogos, gatvės transporto srautai ir kitos veiklos gali pabloginti paplūdimio būklę, o tai gali paveikti natūralios sistemos funkcionavimą (Fernández-Severini ir kt., 2019; Jonathan ir kt., 2011). Mokslininkai sutaria, kad, nors transporto kuro kokybė pagerėjo, tačiau tai yra vienas iš potencialių taršos švinu šaltinių. H. B. Jayasiri ir kt. (2014) nustatė, kad Mumbajaus (Indija) paplūdimiai yra užteršti švinu, kuris sietinas su automobilių kuru (benzinu).

Baltijos jūros Lietuvos krantų antropogeninės apkrovos žemėlapiai rodo, kad Kuršių nerijos antropogeninė apkrova yra kur kas mažesnė nei žemyno kranto (Bitinas ir kt., 2005a). Žemyno krante įrengti Klaipėdos ir Šventosios uostai, buvusios karinės teritorijos (Nemirsetos, Girulių apylinkėse), Būtingės naftos terminalas ir buitinių nuotekų valymo bazė. Klaipėdos uosto teritorijoje vykdoma intensyvi ir tarši veikla: laivų remontas, naftos ir kitų pavojingų krovinių krova, balastinių vandenų šalinimas ir kt. Žemyno krante per paplūdimius į jūrą teka upės ir upeliai, kurie yra laikomi vienais iš pagrindinių GPE patekimo į kranto zoną šaltinių (Miller ir kt., 2003).

Lietuvai priklausančiame Kuršių nerijos krante didžiausia antropogeninė apkrova yra ties Smiltyne ir keturiomis Neringos miesto gyvenvietėmis (kurortų infrastruktūra). Kranto aplinka dažnai yra užteršiama įvykus laivų avarijoms. Nors avarijų padariniai paprastai gana greitai likviduojami, tačiau pasekmės gali išlikti ilgam. Pavyzdžiui, 1981 m. tanklaivis „Globe Asimi“, užplaukęs ant seklumos prie Klaipėdos uosto vartų, lūžo perpus. Į jūrą išsiliejo 16 493 tonos mazuto ir 0,13 km² spinduliu jūros paviršius pasidengė iki 30,5

cm storio mazuto plėvele. Iš viso buvo užteršta 80 km pajūrio ruožo (Pustelnikov, Nesterova, 1984). Kitas pavyzdys: 1924 m. nuskendus Klaipėdos uosto įplaukos kanale motoriniam burlaiviui „Grislan“, iš šio laivo iškelti ir Kopgalyje suguldyti statinaičių formos cementinio akmens luitai, kurie audrų metu vis atidengiami. Šių statinaičių cemento sudėtis pasižymi maždaug 20–50 kartų didesne šešiavalenčio chromo koncentracija (Štuopys, Adomavičius, 2009). Paminėti tik keli galimi GPE šaltiniai krante, nes daugiau išsamesnių tyrimų atlikta nebuvo.

Daugelis mokslininkų sutaria, kad dažniausiai GPE šaltiniai yra susiję su krante žmogaus vykdomomis veiklomis. Žinoma, galimi ir kiti taršos šaltiniai, kurie gali būti lokalizuoti jūroje. Pavyzdžiui, visai netoli Lietuvos kranto esantis naftos krovos plūduras ties Būtinge. Taip pat Rusijai priklausančiuose teritoriniuose vandenyse, už 22,5 km nuo Kuršių nerijos kranto, esanti D-6 naftos platforma, kuri pradėta eksploatuoti 2004 m. Naftos platformose įvyksta avarijų ir nafta išsilieja į jūrą, o su srovėmis šie teršalai gali būti atnešti į priekrantę ir išmesti į krantą (Pupienis ir kt., 2007). Lietuvos krantams, ypač Kuršių nerijai, ypač pavojinga yra D-6 naftos platforma, nes, pučiant vyraujantiems vakarų kryptį vėjams, išsiliejusi nafta gali pasiekti krantą.

1.3. Galimai pavojingų cheminių elementų tyrimai pasaulyje

Geocheminiai jūros krantų sąnašų tyrimai pradėti vykdyti visai neseniai. Iki šiol daugiau dėmesio susilaukė priekrantės nuosėdų tyrimai, tikriausiai dėl to, kad tai yra galutinė GPE akumuliacijos vieta. Moksliniai tyrimai atskleidė, kad vertikali dugno nuosėdų sluoksnių analizė parodo taršos kaitą per tam tikrą laiką (Liaghati ir kt., 2004; Bełdowska ir kt., 2011; Galkus ir kt., 2012). Be to, dugno nuosėdose besikaupiantys GPE tiesiogiai veikia gyvus organizmus, naudojamus maistui (vėžiagyviai, žuvis ir kt.). Atliktas tyrimas ties Ustkos žvejybos uostu, Lenkijoje, parodė, kad vidutinis Mn kiekis uosto nuosėdose buvo 31,6 karto didesnis nei gretimo paplūdimio sąnašose, Ni – 7,3, Cu – 30,6, Zn – 32,9, Cd – 28,0 kartus, Pb – 73,4 ir As – 14,8 karto (Antonowicz ir kt., 2017). Tyrimo metu buvo nustatytas skirtingas elementų koncentracijos pasiskirstymas jūrų uosto dugno nuosėdose – $Cd < As < Ni < Zn < Cu < Pb < Mn$ ir paplūdimio sąnašose $Cd < As < Zn < Ni < Pb < Cu < Mn$.

Vieni pavojingiausių ir labiausiai tiriamų GPE yra švinas (Pb), kadmis (Cd), chromas (Cr), varis (Cu), cinkas (Zn), gyvsidabris (Hg), arsenas (As), taip pat nikelis (Ni) ir vanadis (V), kurie analizuojami vertinant užterštumą, išsiliejus naftos produktams (Garnaga, 2012; Eko Bessa ir kt., 2021; Buzzi ir kt., 2021). Siekiant įvertinti GPE poveikį aplinkai, neretai analizuojamos

potencialiai judrios metalų formos, t. y. metalai, neįsiterpę į kristalų gardeles (Salomons, Förstner, 1984). Geocheminiai kranto sąnašų tyrimai dažnai vykdomi siekiant įvertinti užterštumo mastą, taip pat jie gali padėti nustatyti sąnašų kilmę paplūdimiuose (Saitoh ir kt., 2017).

Apibendrinti paplūdimio sąnašų geocheminių tyrimų, vykdytų visame pasaulyje, rezultatai pateikti 1.1 lentelėje. Joje pateikiama apibendrinta informacija apie nustatytą elementų koncentraciją skirtingose šalyse, tačiau šiuos rezultatus yra nekorektiška lyginti tarpusavyje dėl taikomų skirtingų analizės metodų (Remeikaitė-Nikienė ir kt., 2018). Be to, pasaulyje paplūdimių sąnašų metalų tyrimai buvo daugiausia daryti vandenynų ir išorinių jūrų krantuose, o Baltijos jūra yra vidinė, kurios paplūdimių sąnašų elementų sudėčiai daugiausia įtakos turi vietinių krantų abrazinė ir upių sąnašinė medžiaga. Todėl, apibendrinant atliktus tyrimus, daugiausia dėmesio buvo skirta duomenų analizės metodų vertinimui ir analizuojama, kaip interpretuojamos elementų asociacijos.

Žinios apie paplūdimių sąnašų kilmę yra labai svarbios, tiriant galimus teršalų šaltinius arba siekiant apriboti taršą iš tokių šaltinių. Mokslininkai pažymi, kad sunkiųjų ar karbonatinių mineralų kiekio, Na ir Mg silikatų bei Fe, P, As, Ba, Co, Cs, Ni, Zn kiekių padidėjimas jūros kranto sąnašose gali būti susijęs su paplūdimių ar priekrantės rekultivacija (Foteinis ir kt., 2013; Pit ir kt., 2017). Y. Saitoh su bendraautoriais (2017) Al, Na, K, Ca, Mg, Fe, Rb, Sr, Ba, Pb kiekių bei išmatuotas Sr izotopų santykis leido nustatyti sąnašų pernašos kelius ir jų kilmę.

Galimai pavojingų cheminių elementų tyrimai dažniausiai yra susiję su antropogeninės taršos įvertinimu, analizuojant tarpusavio koreliacinius ryšius tarp atskirų elementų ar jų asociacijas. Tačiau mokslininkai pabrėžia, kad trūksta holistinių tyrimų, kurie leistų atsakyti į klausimus, kaip ši taršos sklaida paveikia žmones ir kranto zonos ekosistemas. G. Santhiya ir kt. (2011) atliktas antropogeninės taršos vertinimas, remiantis sunkiųjų metalų pasiskirstymu Indijos paplūdimiuose, leido išskirti industrinę ir gamtinę zonas. Indijos mokslininkai nustatė, kad sunkieji metalai, tokie kaip Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, koreliuoja su Fe-Mn. Be to, mokslininkai aptiko, kad sunkiuosius metalus adsorbuoja organinės medžiagos ir kad jie yra mažai susiję su smėlio ar smulkesnės frakcijos dalelėmis. Autoriai pabrėžė, kad sunkieji metalai nėra natūralios kilmės ir yra neseniai sunešti, todėl gali būti antropogeninės kilmės (Santhiya ir kt., 2011).

Panašų tyrimą atlikę Malaizijos mokslininkai (Nagarajan ir kt., 2013) teritorijoje, kurioje dominuoja karbonatinės uolienos, nustatė tokias koreliacijas: stipri tarp Fe ir Mn, taip pat tarp Fe ir Ni, Mn ir Ni, o silpnesnė –

tarp Sr ir Fe. Jeigu minėti metalai yra susiję su Fe ir Mn hidroksidais, tai rodo jų technogeninę kilmę.

Paplūdimio sąnašų geocheminiai tyrimai, nenustatant jų šaltinio, buvo atliekami siekiant išsiaiškinti priežastis, lemiančias elementų erdvinį pasiskirstymą ir pagrindinius veiksnius. Pavyzdžiui, vertinant elementų pasiskirstymą skersai kranto (Vidinha ir kt., 2009; Días Rizo ir kt., 2015; Bigus ir kt., 2016), išilgai kranto (Bramha ir kt., 2014; Retama ir kt., 2016; Nour ir El-Sorogy, 2017; Vetrimurugan ir kt., 2017; Krek ir kt., 2018a) ir analizuojant sezoninį pasiskirstymą (Bigus ir kt., 2016; Wang ir kt., 2017).

J. M. Vidinha ir kt. (2009), vertindami paplūdimių ir kopų aplinkosauginę būklę ir antropogeninę apkrovą, nustatė, kad didesnė Pb, Co, Cr, Ni ir Zn koncentracija vyrauja kopose. Tai sietina su eolinių procesų metu pernešama smulkiagrūde frakcija, kurioje gali būti didesnė sunkiųjų metalų koncentracija. Tačiau O. Diaz Rizo ir kt. (2015) atlikti tyrimai nepatvirtino Vidinha ir kt. (2009) gautų tyrimo išvadų, nes reikšmingų skirtumų tarp tiriamų sunkiųjų metalų koncentracijos paplūdimyje ir kopose nenustatė.

Y. Wang ir kt. (2017) teigė, kad sezoninė hidrodinamikos kaita ir nešmenų pernaša turi įtakos sunkiųjų metalų kiekio pasiskirstymui. Atlikti tyrimai patvirtino sezoninę Fe, Mn, Cr, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Sb ir Pb kaitą paplūdimio paviršinėse sąnašose. Mokslininkai nustatė, kad sunkiųjų metalų koncentracija padidėja žiemos sezonu, o vasarą fiksuojama mažesnė koncentracija. Sezoninė sunkiųjų metalų koncentracijos kaita sietina su Pietryčių Azijos musonine veikla (Wang ir kt., 2017).

Lenkijos mokslininkų kolektyvas (Bigus ir kt., 2016) tyrė sezoninę paplūdimių sąnašų geocheminės sudėties kaitą ir suskirstė Baltijos jūros paplūdimius pagal antropogeninę apkrovą. Tyrimas išsiskyrė taikyta metodika, nes buvo vertinamas mikro- ir makroelementų pasiskirstymas išilgai ir skersai kranto zonos. Kartu buvo įvertinta vertikali elementų sklaida ir jų pokytis atskirais sezonais. K. Bigus ir kt. (2016) mano, kad stiprus teigiamas ryšys tarp Na ir K sietinas su sąnašų jūrine kilme ir jose esančiomis druskomis. Išskirtinis tokių sąnašų bruožas – mažas švino kiekis, kuris kinta sezoniškai. Autoriai nustatė, kad makro- ir mikroelementų koncentracija sąnašose mažėja, artėjant prieškopės link (Bigus ir kt., 2016).

Rusijos mokslininkai (Krek ir kt., 2018a), norėdami nustatyti užterštumo lygį ir sunkiųjų metalų bei organinių teršalų šaltinius ir siekdami atsekti taršos šaltinius bei jų migracijos kelius, tyrė Hg, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn ir organinių teršalų kiekį Sembos pusiasalio kranto ir Kuršių nerijos klastinėse nuosėdose. Tyrimo rezultatai atskleidė, kad vidutinis GPE kiekis paplūdimių sąnašose buvo mažesnis nei priekrantės dugno nuosėdose.

1.1 lentelė. Galimai pavojingų elementų kiekių (pateikiamos vidutinės arba minimalios-maksimalios vertės) palyginimas skirtingų šalių paplūdimiuose.

Vietovė	Pasirinkti galimai pavojingi cheminiai elementai (GPE), mg kg ⁻¹							Ekstrakcija kitos pastabos	Šaltinis
	Mn	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn		
Baltijos jūros regione									
Lenkija (Puck)	9,13	0,99	0,23	1,45	–	56,17	21,19	2 mol HCl	Bigus ir kt., 2016
Lenkija (Ustka uostas)	–	–	–	2,45	1,77	1,79	–	10 ml 65 % HNO ₃	Antonowich ir kt., 2017
Rusija (Sembos pus.)	–	1,38	–	95,59	26,47	7,04	95,89	HNO ₃ :HCl:HF	Krek ir kt., 2018
Lietuva	19,88	0,10	1,20	0,60	0,40	0,70	5,40	HNO ₃ :HCl	<i>Esama studija</i>
<i>Latvija</i>	–	0,01–0,13	–	0,03–1,60	0,20–1,50	0,30–2,10	0,30–8,80	Priekrantės dugno nuosėdos	Seisuma, Kulikova, 2012
Europa									
Italija	90–2943	0,21–13,45	–	2,77–51,34	1,47–74,53	74–772	198–3239	HNO ₃ :HCl:HF	Caredda ir kt., 1999
Ispanija	–	0,01–0,14	1,0–27,0	0,3–13,8	0,5–21,2	1,4–73,7	4–491	HNO ₃ :HCl:HF	Sanz-Prada ir kt., 2020
Graikija	–	–	–	80–130	–	20–30	15–25	XRF	Foteinis ir kt., 2013
Nyderlandai	–	0,09	56,6	1,00	4,80	13,7	21,8	HNO ₃ :HCl	Pit ir kt., 2017

Portugalija	200–4632	–	18–133	117–848	17–89	36–437	38–349	HNO ₃ :HCl:HF	Vidinha ir kt. 2009
Azija									
Turkija	334	4,3	428	12,8	145,5	5,5	17,8	XRF	Yalcin, 2009
Pakistanas	8,06	0,18	20,88	17,89	26,45	16,10	46,20	HNO ₃ :HCl:HF	Siddique ir kt., 2009
Pietvakarių Indija	158–2203	–	37–1720	22–432	13,9–487	10–209	33–2197	HNO ₃ :HCl:HF	Suresh, Gandhi ir Raja, 2014
Pietryčių Indija (turistinis paplūdimys)	46,8	0,3	14,1	4,1	9,2	19,8	9,9	HCl:HNO ₃	Santhiya ir kt., 2011
Malaizija	12,6–52,9	–	82,8–253,7	28,8–71,31	14,7–40,6	10,5–19,7	17,9–28,3	HCl:HNO ₃	Nagarajan ir kt., 2013
Kinija (Shilaoren)	929,4/1264,8	0,1/0,2	68,7/116,5	15,0/17,1	14,7/21,3	33,7/42,7	40,9/63,8	ICP-MS, HNO ₃ (vasaros vid./žiemos vid.)	Wang ir kt., 2017
Kinija (Quanzhou)	825	–	19,8	34,0	–	39,6	76,2	HCl: HNO ₃	Hu ir kt., 2011
Afrika									
Raudonoji jūra, Egiptas	–	0,18	–	5,20	16,1	10,3	29,0	HCl:HClO ₄	El-Kammar ir kt., 2007
Viduržemio jūra, Egiptas	553	28,88	0,18	24,57	480,86	384,68	183,23	HNO ₃ :HCl:HF	El-Sorogy ir kt., 2016
Pietų Afrika (Sodwana Bay)	72,16	0,40	426	4,53	15,16	1,27	2,8	HCl: HNO ₃	Vetrimurugan ir kt., 2018
Kamerūnas	303,8	0,53	59,3	106,7	216,7	–	102,6	5 % HNO ₃	Ekoa Bessa ir kt., 2021

Amerika ir Australija									
Amazonės paplūdimiai (Brazilija)	20,8–24,6	0,2–0,4	1,3–1,7	0,7–1,0	1,2–1,4	6,7–7,9	5,8–6,7	TXRF	Vilhena ir kt., 2021
Kolumbija	416,82	–	269,17	53,93	–	409,67	125,8	HCl: HNO ₃	Gutiérrez-Mosquera ir kt., 2018
Meksika	69,2	0,5	89,3	3,3	7,3	4,5	7,0	HCl:HNO ₃ :H ₂ O ₂	Retama ir kt., 2016
Meksika (turistiniai paplūdimiai)	90,5	–	17,9	6,3	3,4	3,73	19,0	HCl: HNO ₃	Jonathan ir kt., 2011
Meksika (saugoma teritorija)	639	0,52	34,0	27,0	18,0	5,00	54,0	HClO ₄ :HNO ₃ :HCl:HF	Jonathan ir kt., 2019
Kuba	–	–	–	35	28	6,0	31	XRF	Díaz Rizo ir kt., 2015
Australija	25	< 0,13	8,00	< 2,20	< 3,80	< 2,40	–	–	Haynes ir kt., 1995

A. Krek ir kt. (2018a) mano, kad tarša yra susijusi su antropogenine apkrova ir iš gyvenviečių patenkančiomis nevalytomis vandens nuotekomis. Apskritai Sembos pusiasalio paplūdimiai buvo labiau užteršti nei Kuršių nerijos. Be to, tyrimo autoriai teigia, kad paplūdimiai gali atspindėti laikiną taršą, vėliau dėl vyraujančių hidrodinaminių sąlygų ir išilginės bei skersinės nešmenų pernašos ji gali išsisklaidyti.

A. Galkus ir K. Jokšas (1997) bene pirmieji Lietuvoje bandė atlikti sunkiųjų metalų tyrimus paplūdimio sąnašose tarp Girulių ir Alksnynės. Mokslininkai nustatė, kad didžiausia smulkiadisversės nuosėdinės medžiagos koncentracija vyrauja ties Koppaliu, kur yra didžiausia galimybė kauptis iš jūros ir sausumos patenkantiems teršalams. Autorių nuomone, šioje vietoje didesnę smulkiadisversės nuosėdinės medžiagos koncentraciją lemia jų patekimas iš Kuršių marių. Pasak mokslininkų (Galkus, Jokšas, 1997), norint įvertinti iš jūros į paplūdimį patenkančios technogeniškai paveiktos smulkiadisversės nuosėdinės medžiagos įtaką paplūdimio geocheminiam fonui, reikėtų atlikti detalius analitinius paplūdimio smulkiadisversės medžiagos tyrimus.

1.4. Galimai pavojingų cheminių elementų, sunkiųjų mineralų ir magnetinio imlumo tyrimai

Mokslininkai mano, kad, siekiant užtikrinti saugią aplinką ir vykdyti efektyvią krantotvarką, svarbu žinoti sąnašų kilmę, nešmenų srautų pernašos kryptis ir nustatyti pirminius šaltinius (Saitoh ir kt., 2017). Metodai, leidžiantys įvertinti smėlio sąnašų kilmę (Linčius, 1965), nustatyti jų pernašą kranto zonoje (Gallaway ir kt., 2012; Guedes ir kt., 2011; Hamill, Ballance, 1985; Kurian ir kt., 2001; Nallusamy ir kt., 2013) ir įvertinti vyraujančius dinامينius procesus (Da Silva, 1979; Van Andel, 1959; Weltje, von Eynatten, 2004), yra skirtingi. Tai gali būti atskirų sunkiųjų mineralų tyrimai, bendro sunkiųjų mineralų kiekio ar magnetinio imlumo matavimai. Lietuvoje septintajame dešimtmetyje kranto nuogulos nagrinėtos kaip potencialus sunkiųjų mineralų sąnašynų šaltinis, todėl išsamiai buvo analizuoti atskiri sunkieji mineralai ir jų sankaupos. A. Linčius (1965) tyrimas parodė, kad atskirų mineralų pasiskirstymas šiaurės link ypač ryškus Kuršių nerijoje. Tai galima sieti su smėlio dalelių mineralogine diferenciacija, kurią lemia vyraujantis pietvakarių–šiaurės rytų krypties bangavimas ir tos pačios krypties priekrantės nešmenų srautas. Kitas metodas, leidžiantis įvertinti sąnašų pernašą, pasiskirstymą ir krante vykstančius hidrodinامينius procesus, yra bendra sunkiųjų mineralų kiekio ar jų indekso analizė (Guedes ir kt., 2011). Pavyzdžiui, magnetinio imlumo (MI) matavimai gali padėti apibūdinti

mėginiuose esančių sunkiųjų (magnetinių) mineralų koncentraciją be ypatingo mėginio paruošimo. Lietuvoje MI matavimo metodas buvo taikytas kranto zonos ir didžiųjų Kuršių nerijos kopų tyrimuose, siekiant nustatyti vyravusias paleoklimatines (Bitinas ir kt., 2018; Kaminskas ir kt., 2019; Pupienis ir kt., 2013) ir paleodinamines sąlygas (Pupienis ir kt., 2011; 2013; 2017).

Magnetinio imlumo matavimai sietini su dalelių, turinčių geležies oksidų, kurios gali būti antropogeninės arba natūralios kilmės, nustatymu aplinkoje. Šie matavimai yra pakankamai jautrūs, todėl aptinka net nedidelę (mažesnę nei 1 %) feromagnetinių medžiagų koncentraciją (Chaparro ir kt., 2017). Magnetiniai nešikliai linkę sugerti ir (arba) įtraukti sunkiuosius metalus į savo kristalinę gardelę. Manoma, kad dėl šios priežasties, matuojant MI, galima vertinti potencialią taršą sunkiaisiais metalais (Lourenço ir kt., 2014; Petrovský ir kt., 2001; Rachwał ir kt., 2017; Wang ir kt., 2017; Zhang ir kt., 2012).

Atlikti dirvožemio taršos tyrimai patvirtina stiprią koreliaciją tarp sunkiųjų metalų kiekio ir magnetinio imlumo. Todėl kiekybinis sunkiųjų metalų užterštumo lygis gali būti apskaičiuotas, taikant magnetinio matavimo tyrimus (Liu ir kt., 2016), o tai leidžia įvertinti tiriamų teritorijų taršą ir taip sumažinti cheminių tyrimų skaičių (Chaparro ir kt., 2017; Harikrishnan ir kt., 2018; Wang ir kt., 2017). Lenkijos mokslininkų M. Szuszkiewicz ir kt. (2015) atlikti tyrimai rodo, kad pramoninės dulkės iš įvairių emisijos šaltinių turi skirtingų savitų magnetinių savybių, o magnetiniai matavimai gali suteikti naudingos informacijos. Atliekant taršos iš geležies gavybos ir gamybos pramonės tyrimus buvo nustatyta, kad Zn, Pb, Ni, Cu ir Cr buvo išmesti į aplinką kartu su makroskopinėmis dalelėmis, kurias buvo lengva išmatuoti upių nuosėdose, atliekant magnetinius matavimus (cituojama Schmidt ir kt., 2005).

Vis dėlto MI taikymo sunkiųjų metalų sankaupoms nustatyti rezultatai skiriasi. Pavyzdžiui, Indijos mokslininkai nustatė, kad didesnės *in situ* MI vertės teigiamai koreliavo su paplūdimio sąnašose nustatyta didesne Cu, Cr, Zn ir Ni koncentracija (Bandaru ir kt., 2016). Kiti autoriai nurodo, kad paplūdimio smėlio MI vertės teigiamai koreliavo su Fe, Mn, Cr, Ni, As ir Pb koncentracijomis (Wang ir kt., 2017). Slovakijos mokslininkų atliktas tyrimas parodė MI koreliaciją tik su bendra elementų koncentracija, bet ne su atskirais elementais (Đurža, 1999). Atlikus taršos apkrovos indekso (PLI) analizę Saksonijoje, buvo nustatytas geras ryšys tarp magnetinio imlumo ir organinio dirvožemio horizonto (Rachwał ir kt., 2017). N. Ramasamy ir kt. (2021) tyrimų rezultatai taip pat parodė, kad PLI reikšmės paplūdimio sąnašose teigiamai koreliavo su MI reikšmėmis (metalai, turintys didžiausią įtaką PLI dydžiui – Cd, Ni, Pb ir Zn). Kiti tyrimų rezultatai parodė nereikšmingą PLI ir

MI tarpusavio koreliaciją, tačiau MI reikšmės koreliavo su Cu, Cd ir Pb (Canbay ir kt., 2010).

M. Suresh Gandhi ir M. Raja (2014), įvertinę sunkiųjų mineralų pernašą ir akumuliaciją smėlio paplūdimiuose pietryčių Indijoje, nustatė, kad sunkieji mineralai linkę kauptis smulkesnėje frakcijoje. M. Chaparro ir kt. (2017) tyrime didžiausios magnetinio imlumo reikšmės (κ) nustatytos smulkiojo aleurito frakcijoje (0,001–0,005 mm skersmens), kurioje dominuoja didesnis hematito ir magnetito kiekis. Ši frakcija taip pat išsiskyrė didelėmis tirtų elementų koncentracijomis bei PLI reikšmėmis (PLI siekė 6,7). Užterštumas GPE buvo nustatytas, kai κ vertė viršijo $600 \times 10^{-5} \mu\text{SI}$ sausose ir $150 \times 10^{-5} \mu\text{SI}$ drėgnose nuosėdose (Chaparro ir kt., 2017). Kiti mokslininkai pažymi, kad tarša identifikuojama tada, kai konkrečių mėginių κ reikšmės yra maždaug penkis kartus didesnės negu kitų mėginių κ reikšmės. Daugiausia GPE kaupiasi sąnašose ties plūsmo srauto ir potvynio bei atoslūgio viršutine riba (Ramasamy ir kt., 2021; Wang ir kt., 2017).

Vis dėlto geocheminiai ir MI metodai nėra pakankamai ištobulinti ir vis dar reikalauja verifikacijos. Ankstesniuose tyrimuose buvo įvardyta, kad MI matavimai gali būti taikomi, parenkant mėginių ėmimo vietas geocheminiams tyrimams (Defeo ir kt., 2009). Kiti mokslininkai sako, kad iki šiol yra nelengva nustatyti sunkiųjų metalų taršos kilmę (gamtinė ar antropogeninė) taikant vien šį metodą (Carranza-Edwards ir kt., 2009).

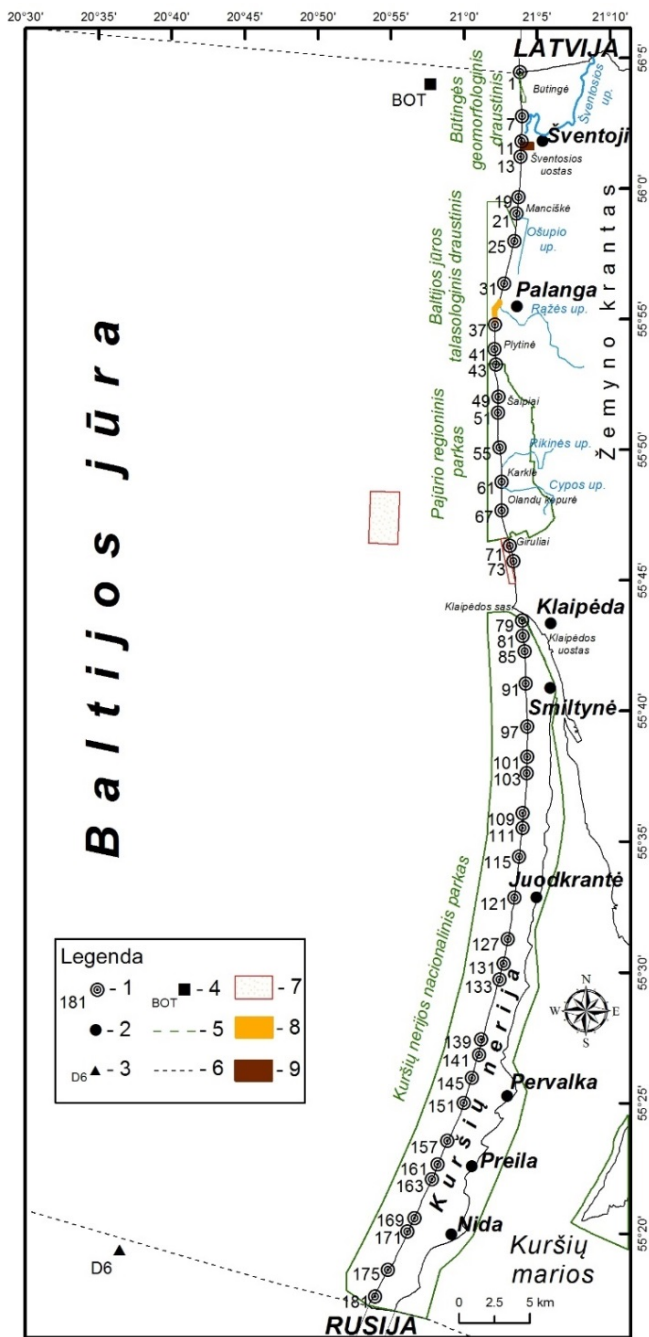
2. TYRIMO VIETA

Lietuvos Baltijos jūros krantas yra padalytas 1,1 km pločio Klaipėdos sąsiaurio į dvi dalis (2.1 pav.): Kuršių nerijos jūros krantą, kurio ilgis siekia 51,0 km, ir žemyno krantą – 38,5 km (Žilinskas, 1997).

Lietuvos jūros kranto vystymasis priklauso nuo kranto geologinės sandaros, hidrodinaminio režimo ir jo intensyvumo, eolinių procesų, nešmenų tipo ir sąnašų kiekio (Bitinas ir kt., 2005a; Jarmalavičius ir kt., 2017a). Manoma, kad pajūrio reljefas labiausiai buvo performuotas maksimalios Litorinos jūros transgresijos metu, t. y. prieš 7500–7000 metų, tada susidarė ir didžiausias jūrinių nuosėdų sluoksnis (Damušytė, 2011).

Žemyno krantas nuo Kuršių nerijos jūros kranto skiriasi geologine sandara ir geomorfologija (Bitinas ir kt., 2005b). Pajūryje kvartero nuosėdų storis svyruoja nuo 40 iki 60 m, bet gali siekti ir iki 150 m (Gudelis, 1998). Žemyno kranto smėlingos nuosėdos susidarė Litorinos ir Postlitorinos laikotarpiu (7500–4000 m. pr. dabartį), o ruože nuo Latvijos sienos su Lietuva iki Kunigiškių aptiktas sapropelis susidarė 6000–5900 metų pr. dabartį (Bitinas, Damušytė, 2004). Šiaurinėje žemyno kranto dalyje taip pat aptinkamas durpių sluoksnis, kuris susidaręs apie 4000–3700 metų pr. dabartį (Bitinas et al., 2005a). Šiuo metu Litorinos terasos paviršiuje susikaupusias nuosėdas dengia eolinės, smulkios rudai geltonos kvarco ir lauko špatų smėlio nuogulos. Jų storis gali siekti iki 10 m (Stauskaitė, 1962). Žemyno kranto ruože tarp 25–31 km nuo Latvijos ir Lietuvos sienos aptinkamos ledyninės (moreninės) kilmės nuosėdos, susidariusios vėlyvojo pleistoceno laikotarpiu ir atsidengiančios abraziename klifų ruože. Šaiپیų moreninio klifo ilgis siekia 2,1 km, o aukštis kinta nuo 5 iki 8 m. Olando Kepurės moreninis klifas (maždaug 30–31 km ruože nuo Latvijos ir Lietuvos sienos) yra trumpesnis nei Šaiپیų klifas, šio klifo ilgis siekia apie 950 m, o aukštis – apie 24 m (Jarmalavičius ir kt., 2017b).

Kuršių nerijos kranto kvartero nuosėdos pradėjo formuotis Baltijos ledyninio ežero (12 600–10 300 m. pr. dabartį) laikotarpiu (Bitinas ir kt. 2005 a). Pasak A. Damušytės (2011), galima daryti prielaidas, kad pirmosios Kuršių nerijos užuomazgos atsirado Anciliaus ežero maksimalios transgresijos metu. Tai patvirtina ir vėliau atlikti tyrimai (Badyukova ir kt., 2018). Sutariama, kad Kuršių nerija, kokia yra šiuo metu, t. y. vientisa, susiformavo maždaug prieš 6 000 metų, Litorinos antrosios ir trečiosios transgresijos fazės metu (Bitinas, Damušytė, 2004; Badyukova ir kt., 2007).



2.1 pav. Tyrimo vieta ir ėminių ėmimo vietos (0–38 km žemyno krantas ir 39–88 km Kuršių nerija) 1 – ėminių ėmimo vietos; 2 – gyvenvietės; 3 – D6 naftos gavybos platforma; 4 – Būtingės naftos gavybos platforma; 5 ir 6 – valstybinės sienos; 7 – smėlio dampungo vietos; 8 – paplūdimio maitinimo vieta; 9 – nuotekų vamzdis (Būtingė). Modifikuotas autorės pagal Karlonienė ir kt., 2021a.

Ilgalaikiai morfolitologiniai tyrimai atskleidė, kad Kuršių nerijos paplūdimių litologija yra nevienarūšė ir išsiskiria ties Juodkrante aptinkamu stambiagrūdžiu smėliu (Jarmalavičius ir kt., 2015).

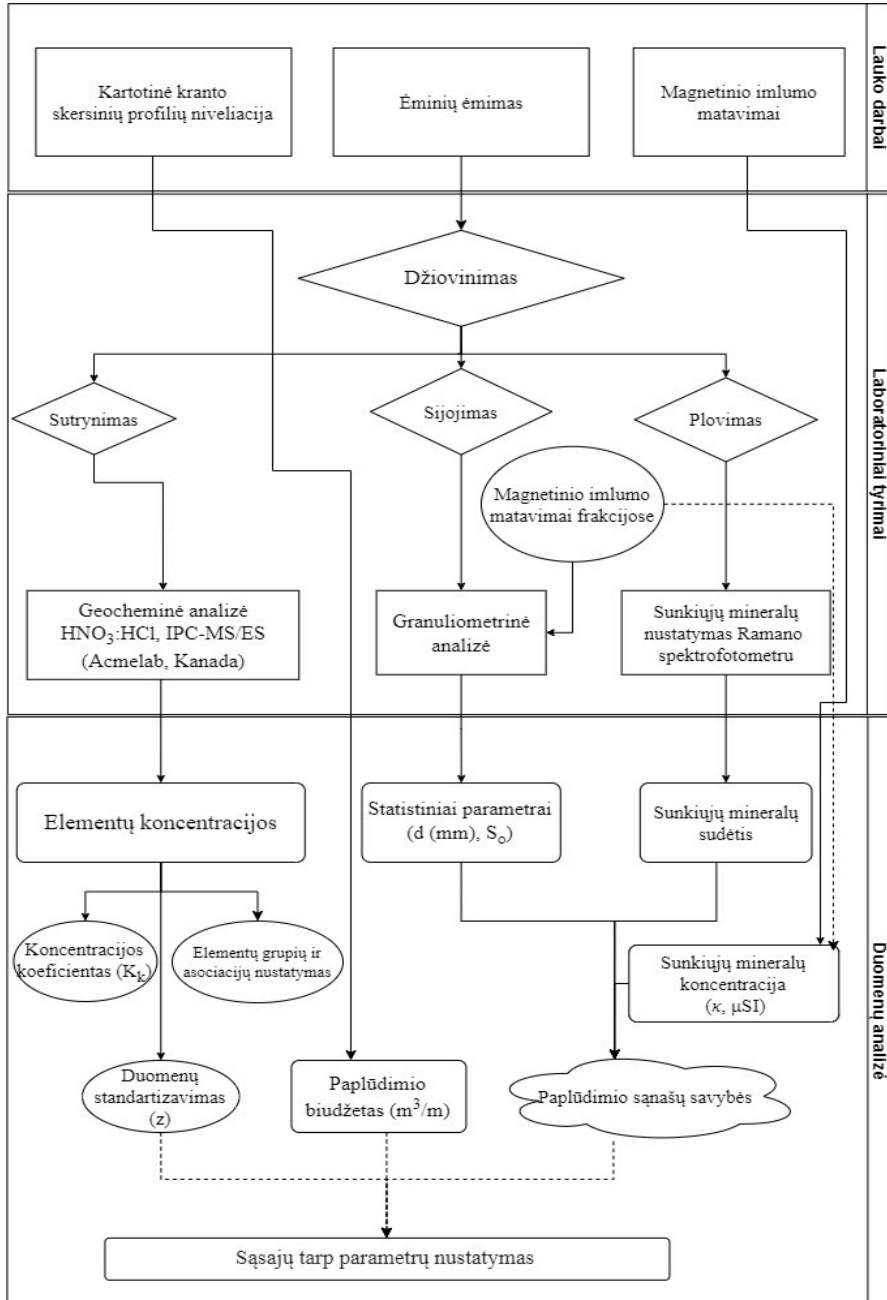
Lietuvos šiaurinėje ir pietinėje Kuršių nerijos dalyse aptiktas ryškiai žalia spalva nudažytų nuosėdų kompleksas, kurį nulėmė jų smulkiadispersė sudedamoji – filosilikatinis mineralas, kuriame yra kalio, magnio, geležies ir aliuminio – biotitas (Bitinas ir kt., 2005a). Kuršių nerijos jūros kranto paplūdimiuose taip pat yra nuosėdinės kilmės mineralo glaukonito (žaliojo smėlio), kilusio iš neogeno-paleogeno nuosėdų, susiklosčiusių Sembos pusiasalyje (Pupienis ir kt., 2017; Krek ir kt., 2018b).

Baltijos jūroje potvynių ir atoslūgių amplitudė neviršija 3,5–4,0 cm, todėl ji laikoma nepotvynine jūra (Hupfer, 2010; Medvedev ir kt., 2013), o krante vykstantys procesai daugiausia priklauso nuo vėjo ir bangų režimo (Jarmalavičius ir kt. 2020). Šaltuoju (rudens ir pavasario) laikotarpiu fiksuojama daugiau stipraus vėjo dienų. Lietuvos pajūryje dominuoja vakarinių krypčių vėjas, kuris lemia išilginį nešmenų srautą, nukreiptą į šiaurę, todėl nešmenys iš Sembos pusiasalio pernešami išilgai visos Kuršių nerijos iki Kopgalio (Kovaleva ir kt., 2016; Krek ir kt., 2016; Pupienis ir kt., 2017; Žilinskas ir kt., 2018). Vidutinis metinis vakarinių krypčių (PV, V, ŠV) vėjo greitis yra $4,7 \text{ m/s}^{-1}$. Kranto zonoje vyrauja bangos, kurių aukštis siekia 0,65 m, o stipriausių audrų metu pasiekia 5–6 m (Pupienis ir kt., 2013). Lietuvos paplūdimių plotis vidutiniškai siekia 40–45 m, tačiau jo kaita išilgai jūros kranto nėra nuosekli (Jarmalavičius ir kt., 2012; Žilinskas ir kt., 2020). Plačiausi paplūdimiai yra prie Šventosios ir Alksnynės (70–90 m), taip pat Palangos, kur hidrotechniniai įrenginiai lemia sąnašų kaupimąsi. Siauriausi žemyno kranto paplūdimiai dėl sąnašų trūkumo ir stambiagrūdžio smėlio yra ties Olando Kepure (5–15 m) ir Karkle (10–15 m), o Kuršių nerijos jūros krante – ties Juodkrante (30–40 m). Vidutinis paplūdimio aukštis ties kopagūbrio papėde žemyno krante siekia 2,9 m. Į šiaurę nuo Palangos ir ties Nemirseta nuožulnūs paplūdimiai yra maždaug 1 m aukščio. Tokius paplūdimius dažniausiai formuoja smulkiagrūdis ir vidutingrūdis smėlis. Ties Karkle paplūdimio aukštis siekia 2,5 m, o ties I Melnrage – 3,5 m. Vidutinis Kuršių nerijos paplūdimių aukštis yra 3,5 m. Kuršių nerijoje lėkšti (1,0–1,5 m) paplūdimiai aptinkami Smiltynės–Alksnynės kranto ruože, o statūs, kurių aukštis siekia apie 4,0 m, – ties Juodkrante.

Tokius reikšmingus paplūdimio morfometrinių rodiklių skirtumus lemia vyraujanti sąnašų sudėtis. Statesniuose paplūdimiuose daugiausia dominuoja stambiagrūdės, o lėkštuose paplūdimiuose – smulkiagrūdės smėlio sąnašos (Jarmalavičius ir kt., 2012; Pupienis ir kt., 2017).

3. TYRIMŲ METODIKA

Šioje darbo dalyje pristatoma atliktų tyrimų metodika ir gautų duomenų analizės principai. Tyrimo etapai gali būti suskirstyti į lauko darbus ar matavimus, laboratorinius tyrimus ir duomenų analizę (3.1 pav.).



3.1 pav. Darbo tyrimų metodiką apibendrinanti schema.

3.1. Ėminių ėmimas

Geocheminiams ir kitiems tyrimams išilgai Baltijos jūros kranto Lietuvos paplūdimiuose buvo paimti 43 sudėtiniai paviršinio smėlio (iš paviršinio 0–5 cm sąnašų sluoksnio) ėminiai (2.1 pav.). Ėminiai buvo paimti iš paplūdimio vidurio 1 m² plote (voko principu; 5 submėginiai), išilgai kranto kas 3 ir 5 kilometrai 2011, 2014 ir 2018 m. 2018 m. papildomai po ėminių buvo paimta iš Šaipių (ties 49-a ėminių ėmimo vieta) ir Olando Kepurės (ties 61-a ėminių ėmimo vieta) moreninio klifo.

Tyrimų metu imant ėminius, vyravo santykinai pastovios hidrologinės ir meteorologinės sąlygos, būdingos pavasariui (Jarmalavičius ir kt., 2012; Pupienis ir kt., 2013; Pupienis ir kt., 2017). Ėminiai buvo imami ir magnetinio imlumo matavimai atliekami pavasario viduryje arba pabaigoje, siekiant išvengti (kiek tai apskritai įmanoma) trumpalaikių sezoninių pokyčių (žiemos metu vykstančios krantų ardys, o vasaros metu – akumuliacijos). Kadangi krante aktyviausi procesai vyksta gožos ir plūsmo srauto zonoje, ėminiai buvo imti iš paplūdimio vidurio (Pupienis ir kt., 2011). Smėlio ėminiai buvo dedami į plastikinius maišelius ir išdžiovinti laboratorijoje.

3.2. Magnetinio imlumo matavimai

Magnetinis imlumas (MI) buvo matuojamas ėminių ėmimo vietoje prieš paimant ėminius „Bartington MS2/MS3“ skenavimo prietaisu (sudaro „Bartington MS3“ matuoklis ir „Bartington MS2“ jutiklis). Sistema matuoja uolienos tūrio (κ , μSI) magnetinį imlumą (Pupienis ir kt., 2011). Matavimo vietos buvo fiksuojamos rankiniu GPS „Garmin SC60“ prietaisu.

2018 m. mėginių MI laboratorijoje buvo išmatuotas atskirose smėlio frakcijose: 1,60–1,00, 1,00–0,63, 0,63–0,40, 0,40–0,315, 0,315–0,20, 0,20–0,16, 0,16–0,10, 0,10–0,063 mm.

Traktuojama, kad Baltijos jūros krante mažos, $\kappa < 50 \mu\text{SI}$, magnetinio imlumo reikšmės parodo, jog dominuoja kvarcinis smėlis, o didesnės nei $150 \mu\text{SI}$ yra susijusios su sunkiųjų mineralų akumuliacija (Pupienis ir kt., 2017). Mokslininkų (Sandgren, Snowball, 2001) nuomone, magnetinis imlumas yra geras alochtoninių mineralų ežerų sąnašose nustatymo rodiklis. MI matavimas padeda nustatyti grynąjį feromagnetinių ir paramagnetinių mineralų santykį sąnašose. Nuosėdos, kuriose daug sunkiųjų mineralų ($\rho > 2,90 \text{ g/cm}^3$), turi feromagnetinių ir paramagnetinių savybių ir jų didelės magnetinio imlumo reikšmės, atsižvelgiant į vyraujančią geležies kiekį. Sąnašos, kuriose gausu kvarco ($\rho < 2,65 \text{ g/cm}^3$), pasižymi diamagnetinėmis savybėmis. Smėlis, kuriame gausu kvarco (smėlyje dominuoja kvarcas, lauko

špatai, karbonatai ir žėručių grupės mineralai), turi silpnas teigiamas magnetinio imlumo vertes, $\kappa < 3,0 \mu\text{SI}$. Sunkiųjų mineralų turinčio smėlio (juose esantys elementai, tokie kaip Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni ir Cu, kartais gali padidinti magnetizmą) κ vertės svyruoja nuo 30 iki 150 μSI , o didesnės vertės, $\kappa > 150 \mu\text{SI}$, būdingos sunkiesiems mineralams, turintiems Fe, Ni ir Co (Dearing, 1999; Hunt ir kt., 1995; Pupienis ir kt., 2017). Paplūdimio sąnašų magnetinis imlumas ir dalelių dydis dažnai priklauso nuo kilmės, geologinės struktūros, sąnašų pernešimo kranto zonoje, nusėdimo, krante vykstančių procesų (erozijos ir (ar) akumuliacijos) ir kt. Dalelių dydžio pasiskirstymas taip pat gali turėti įtakos feromagnetinių, paramagnetinių ir diamagnetinių mineralų pasiskirstymui sąnašose (Hatfield, 2014). Magnetiniai mineralai yra žinomi kaip svarbūs mikroelementų šaltiniai sąnašose ir nuosėdose.

3.3 Granuliometriniai tyrimai

Laboratorijoje kiekvieno išdžiovinto ore mėginio buvo atsverta po 100 g. Mėginiai buvo mechaniškai sijojami 15 min. vibraciniu kratytuvu „Fritsch Analysette 3 Spartan Pulverisette 0“, naudojant 1,60–1,00; 1,00–0,63; 0,63–0,40; 0,40–0,315; 0,315–0,20; 0,20–0,16; 0,16–0,10; 0,10–0,063; 0,063–0,05 ir $< 0,05$ mm sietų rinkinį. Išsijojus kiekvienos frakcijos mėginys buvo pasvertas elektroninėmis svarstyklėmis $\pm 0,001$ g tikslumu. Kiekvienos frakcijos svoris buvo perskaičiuotas procentais. Granuliometrinės analizės statistiniai rodikliai – vidurkis (d , mm) ir rūšiuotumas (S_o) – apskaičiuoti, naudojant GRADISTAT 8.0 programinę įrangą Falko ir Wardo momentų metodu (Blott, Pye, 2001).

3.4 Geocheminiai tyrimai

Laboratorijoje visi paplūdimio sąnašų ($n = 129$) ir moreninių klifų nuogulų ėminiai buvo išdžiovinti ir sutrinti grūstuve porcelianinėje piestelėje. Prieš kiekvieno mėginio homogenizavimą piestelė ir grūstuvė buvo po du kartus nuplaunamos dejonizuotu vandeniu ir gerai nusausinamos. Geocheminė mėginių analizė atlikta *Bureau Veritas Commodities Canada Ltd.* laboratorijoje. Bendro pulverizuoto mėginio 0,5–2,0 g buvo ištirpinama rūgščių tirpale (1:1 $\text{HNO}_3:\text{HCl}$), siekiant nustatyti potencialiai judrias elementų koncentracijas. Gautas tirpalas analizuotas indukuotos plazmos masės / emisijos spektrometru (ICP – MS/ES). Iš viso atliekant analizę galima nustatyti 37 elementus, tačiau į tolesnę analizę buvo įtraukti 24 elementai (Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mn, Fe, As, U, Th, Sr, V, Ca, P, La, Cr, Mg, Ba, Ti, Al, Na, K, Ga, Sc), kurie aptikti visose smėlio sąnašų tyrimo vietose. Likusių elementų

kiekiai mažesni, nei leidžia analitinio metodo jautrumo riba. Rezultatai pateikti mg/kg^{-1} ir procentais. Analizės kokybei užtikrinti buvo naudojamos dvi standartinės etaloninės medžiagos (SRM) (OREAS45EA ir DS11) ir dublikatai bei tuštieji mėginiai.

Šiame darbe buvo išsamiau tirti mikroelementai, kurie siejasi su vykdoma antropogenine veikla (pramonės oro teršalų išmetimas, nuotekų išleidimas, laivų remontui naudojami metalai ir kt.) kranto zonoje, kartu ir tie, kurie yra stebimi įgyvendinant nacionalinę stebėsenos programą (Garnaga, 2012). Darbe taip pat išsamiau aptariami makroelementai, kurie galėtų padėti nustatyti sąnašų kilmę.

Elementai, kurie kildinami iš antropogeninių šaltinių, paprastai yra judresni nei iš pedogeninių ar litogeninių šaltinių (Ekoa Bessa ir kt., 2021; Liaghati ir kt., 2004). Todėl bandinių ardymui pasirinktas rūgčių mišinys, naudojamas būtent potencialiai judriems elementams nustatyti. Tokiu atveju ištirpsta sulfidų / oksidų tipo mineralai, o elementai, esantys kristalinės gardelės struktūroje, bandinyje išlieka nemineralizuoti.

3.5 Mineralinės sudėties tyrimai

Sunkiųjų mineralų sudėtis nustatyta tuose pačiuose ėminiuose, kurie naudoti geocheminiuose tyrimuose. Buvo atrinktas 21-as paplūdimio sąnašų mėginys (1, 7, 11, 13, 19, 31, 37, 49, 51, 55, 61, 67, 73, 79, 85, 91, 101, 103, 127, 133, 175) iš 2014 metų ėminių, keturi ėminiai (1, 31, 79 ir 127) iš 2018 metų ėminių ir du paimti iš Šaipių (ties 49-a vieta) ir Olando Kepurės (šiauriau 61-osios vietos) moreninių klifų nuogulų. Iš pradžių, siekiant išplauti visas molio daleles, laboratorijoje visi ėminiai buvo perplauti distiliuotu vandeniu naudojant 0,03 mm sietą, ir išdžiovinti. Paruošti ėminiai toliau buvo analizuoti Erlangeno-Niurnbergo universiteto laboratorijoje, Vokietijoje. Sunkieji mineralai atskirti sunkiu skysčiu, kurio tankis $2,92 \text{ g/cm}^3$, iš dalies užšaldant skystu azotu, kaip nurodyta (Andò, 2020) metodikoje. Mineralinė visų ėminių sudėtis buvo nustatoma frakcijoje **0,125–0,25 mm** Ramano sklaidos spektrometru.

Ramano spektroskopijos matavimai buvo atlikti naudojant *Witec Alpha 300R* spektrometrą su *Witec* mikroskopu, 532 nm diodiniu lazeriu ir x-y-z motorizuotu padėties nustatymo etapu. Spektrai buvo įvertinti Ramano integruota *TrueMatch* programine įranga, o atitinkami mineralai buvo nustatyti, naudojant integruotą Ramano spektro, rentgeno spindulių difrakcijos (XRD) ir mineralų chemijos (RRUFF) duomenų bazę.

3.6 Paplūdimio sąnašų biudžetos apskaita

Geriausiai kranto daugiamečių geodinamines tendencijas atspindintis indikatorius – paviršinių kranto sąnašų kiekis (m^3/m), išreiškiamas kaip išplautos ar išpustytos arba akumuliuotos krantą sudarančios medžiagos, apskaičiuotos iki vidutinio daugiamečio jūros lygio, pokyčių laike ir erdvėje suma. Paplūdimio sąnašų tūris (Q , m^3/m) buvo apskaičiuotas kiekvienam profiliui (43 profiliai), remiantis kranto niveliavimo rezultatais. Sąnašų tūrio pokyčiai apima paplūdimio profilio tūrio pokyčius nuo prieškopės papėdės iki susikirtimo ties vidutiniu jūros lygiu (Jarmalavičius ir kt., 2017a).

Bendras paplūdimio sąnašų tūris buvo apskaičiuotas pagal formulę:

$$Q = \frac{(Q_i + Q_n)}{2} \quad (3.1),$$

čia Q – sąnašų tūris (m^3/m) paplūdimyje; Q_i , Q_n – sąnašų tūris paplūdimio skerspjūvio profilyje (m^3/m) atskirais matavimo metais.

3.7 Elementų koncentracijos koeficientų skaičiavimai

Elementų koncentracija, nustatyta atskirose vietose, buvo lyginama su mediana, kuri kiekvienam elementui apskaičiuota imant visus atitinkamų metų ėminius (3.1 lentelė):

$$K_k = \frac{K_i}{M_i} \quad (3.2),$$

čia K_i – elemento i koncentracija; M_i – elemento i koncentracijos mediana; K_k – elemento i koncentracijos koeficientas.

Mediana parodo centrinę arba tipišką vertę duomenų rinkinyje ir yra mažai priklausoma nuo minimalių, maksimalių ar išskirtinių verčių, todėl elementų koncentracijos santykis su ja naudingas tyrimuose (Radzevicius, 2002; Krek ir kt., 2019; 2018a). Koncentracijos koeficientų analizė padeda palyginti analizuojamų elementų pasiskirstymą tarp vietų; apatinė jų padidėjusių reikšmių riba laikoma 1,5 (Radzevicius, 2002).

Kelių elementų indeksas buvo vertinamas, siekiant integruoti ir apibendrinti duomenis:

$$K_d = \sum \frac{K_k}{n} \quad (3.3),$$

čia K_k – koncentracijos elemento n koncentracijos koeficientas; n – elementų skaičius. Daroma prielaida, kad K_d reikšmės, didesnės nei 2, išsiskiria iš visos imties (Kadūnas, 1998).

Mokslininkai tyrimuose dažnai naudoja įvairius koncentracijos rodiklius ar koeficientus, siekdami nustatyti mikroelementų kaupimąsi nuosėdose ar norėdami įvertinti antropogeninę taršą (Abraham and Parker, 2008; Bramha ir kt., 2014; Hakanson, 1980; Krek ir kt., 2018b; Remeikaitė-Nikienė ir kt.,

2018). Tokių tyrimų atveju, foninės koncentracijos nustatymas yra labai svarbus (Abraham, Parker, 2008). Pagrindinė antropogeninio poveikio nustatymo koncepcija yra palyginti elementų koncentracijas tiriamoje vietovėje su foninėmis koncentracijomis, kurias reikia žinoti. Geriausiai jas išmatuoti gretimose neužterštose vietose ir įvertinti kiekvieno elemento vietinę foninę reikšmę. Nors kai kuriuose tyrimuose nuosėdų elementų koncentracijos yra lyginamos su ikipramoninio laikotarpio lygiu, su nustatyta vidutine koncentracija skalūnuose (ASV) (Turekian, Wedephol, 1961) arba žemės plutoje (Taylor, 1964), tai daroma, kai šalis neturi jokių geocheminių duomenų – nei nacionalinių, nei vietinių. Pastaruoju metu ASV faktiškai nevertinama.

3.1. lentelė. Galimai pavojingų cheminių elementų ribinės vertės, eolinių sąnašų medianos ir šiame tyrime įvertintos elementų medianos ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$).

Šaltinis	As	Mn	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Ribinės vertės (HN 60:2015)	20	1500	40	80	75	75	80	300
Lietuvos eolinių sąnašų medianos (Putys, 1999)	–	38,00	–	6,00	2,00	1,70	7,00	8,00
Elementų koncentracijos mediana (2011/2014/2018)	0,70/ /0,70	19/ /21	0,40/ /0,4	2,05/ /1,70	0,30/ /0,28	0,60/ /0,60	1,18/ /0,96	3,20/ /2,95

Naudojant ASV ar žemės plutos koncentraciją, kaip foninę, vietos geocheminė sudėtis yra ignoruojama, o tai gali turėti įtakos korektiškai nustatant išskirtinių elementų kiekius analizuojamame regione. Antra, ASV koncentracija labiausiai apibūdina smulkiagrūdės nuosėdas, koncentracija žemės plutoje – stambianuolaužinės nuosėdas, o foninė koncentracija – panašios mineralinės ir granulimetrinės aplinkos vietas (Abraham, Parker, 2008). Šiame tyrime buvo analizuojamas paplūdimio smėlis ir dinamiška aplinka, todėl ASV arba žemės plutos koncentracijos naudojimas kaip foninės negalėtų visiškai atspindėti pagrindinių mikroelementų pasiskirstymo tendencijų. Dėl šios priežasties nuspręsta naudoti tyrime gautas medianų vertes.

Taip pat svarstyta naudoti eolinių sąnašų elementų vidutines koncentracijas, nustatytas Šilutės rajone (Putys, 1999) (3.1 lentelė), tačiau šiame tyrime sąnašos yra veikiamos ne tik vėjo, bet ir jūros vandens, taip pat skiriasi sąnašų kilmė, todėl nuspręsta nenaudoti šių duomenų kaip foninių.

3.8 Statistiniai tyrimų metodai

Rezultatams analizuoti buvo taikomi aprašomieji ir daugiamačiai statistiniai metodai. Siekiant nustatyti elementų išskirtis, duomenys buvo standartizuoti, naudojant formulę:

$$z = \frac{(M_i - M)}{\sigma} \quad (3.4),$$

čia M_i – išmatuotos reikšmės; M – vidurkis; σ – standartinis nuokrypis. Elementų vidurkis ir standartinis nuokrypis buvo apskaičiuojami 2011, 2014 ir 2018 m. atskirai.

Anomaliomis elementų koncentracijomis laikomos tos koncentracijos, kurios nepatenka į intervalą tarp $M - 2\sigma$ ir $M + 2\sigma$. Koncentracijos, didesnės nei $M + 2\sigma$, yra vadinamos teigiamomis anomalijomis arba išskirtimis (Kadūnas, 1998).

Siekiant palyginti žemyno ir Kuršių nerijos paplūdimiuose paimtų smėlio sąnašų elementų koncentracijas, taikytas neparаметrinis Kruskalo ir Voliso (K-H) kriterijus (Bigus ir kt., 2016).

Ryšiai tarp makro- ir mikroelementų bei paplūdimių ir jų sąnašų parametrų buvo nustatomi skaičiuojant Pirono koreliacijos koeficientą (tiesinis ryšys, silpna koreliacija, kai $p < 0,05$ ir reikšminga, kai $p < 0,01$). Siekiant išskirti elementų grupes, visoje elementų aibėje buvo atliekama klasterinė analizė. Elementai šiuo atveju grupuojami hierarchinės klasterinės analizės metodu, taikant artimiausio kaimyno klasterių jungimo principą, o naudotas panašumo matas – Pirono koreliacijos koeficientas.

Elementų asociacijos buvo identifikuojamos naudojant pagrindinių komponenčių analizę (PKA). Atliekant PKA analizę, buvo taikytas *varimax* sukimo metodas. Informacija apie svarbiausius kintamuosius, susijusius su faktoriais, gauta atsižvelgiant į didesnes nei 0,5 apkrovas. Į analizę buvo įtraukti 23 elementai. Neįtrauktas Na, nes jis neturėjo jokių koreliacinių ryšių su kitais elementais ir mažino PKA metodo patikimumą. Duomenų tinkamumas faktorinei analizei įvertintas taikant Kaizerio, Mejerio ir Olkino (KMO) matą. Laikoma, kad KMO turėtų būti ne mažesnis kaip 0,7, ribiniu atveju – ne mažesnis kaip 0,6 (Čekanavičius, Murauskas, 2002).

Statistinė duomenų analizė atlikta „IBM SPSS Statistics 22.0“ ir „PAST 4.08“ statistikos programomis.

4. REZULTATAI

4.1 Paplūdimių sąnašų savybės ir biudžetas

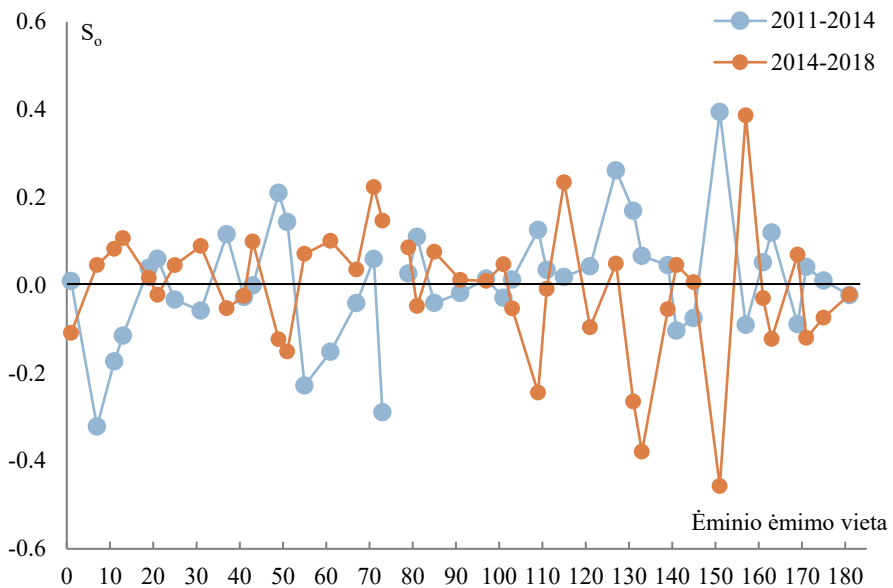
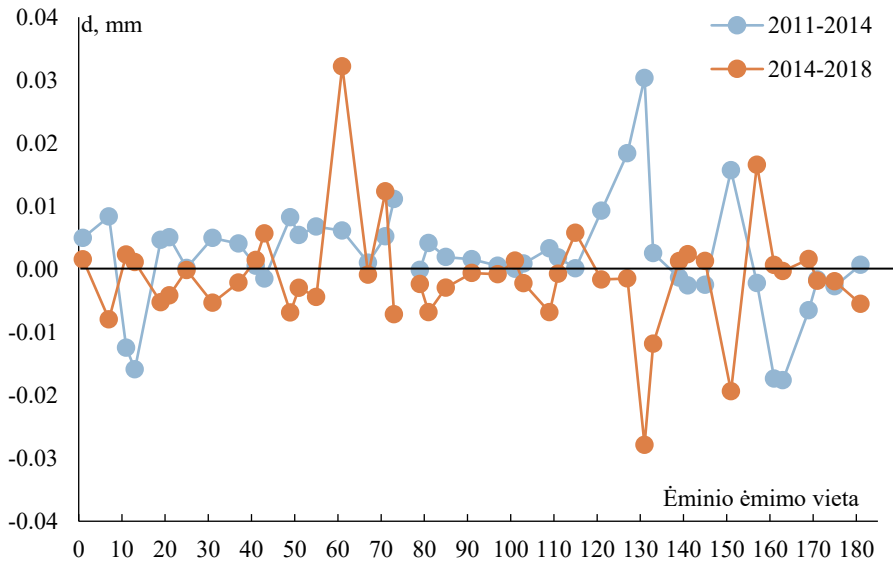
4.1.1 Granulometrija

Lietuvos paplūdimiuose dominuoja smėlio sąnašos, kurios atskiruose kranto ruožuose būna padengtos žvirgždu ar gargždu (Žilinskas et al., 2001). 2011–2018 m. laikotarpiu tirtuose paplūdimiuose dominavo vidutینگrūdis smėlis. Vidutinis dalelių dydis (d) atskirais metais didele kaita nepasižymėjo (4.1 pav.). 2011 m. vidutinis dalelių dydis siekė 0,27 mm ($\sigma = 0,07$), 2014 m. $d = 0,29$ mm ($\sigma = 0,09$), o 2018 m. $d = 0,29$ mm, ($\sigma = 0,11$). Viso kranto paplūdimių vidurkinis dalelių dydis per septynerius metus pakito nedaug. Tačiau vidurkinis dalelių dydis neatskleidžia tikros paplūdimių sąnašų įvairovės. Pavyzdžiui, paplūdimiuose vyravo smulkus (0,200–0,160 mm) ir vidutinis smėlis (0,400–0,350 mm), tačiau I Melnragėje, Juodkrantėje dominavo stambiagrūdis (1,000–0,630 mm) smėlis. Apskritai visą tyrimų laikotarpį stambesnis smėlis dominavo Kuršių nerijos paplūdimiuose.

2011–2014 m. laikotarpiu žemyno krante fiksuotas vidutinio smėlio dalelių dydžio didėjimas (apie 0,0051 mm, išskyrus trijose vietose) (4.1 pav.). Labiausiai dydis mažėjo piečiau Šventosios (–0,0125 ir 0,0159 mm; 11-oji ir 13-oji ėminių ėmimo vietos), o didėjo – šiauriau Šventosios (0,0084 mm; 7-oji vieta), ties Šaipių klifu (0,0082 mm; 49-oji vieta) ir ties šiauriniu Klaipėdos molu (0,0111 mm). Tuo pačiu laikotarpiu Kuršių nerijoje vidutinis smėlio dalelių dydis didėjo apie 0,0024 mm kranto ruože tarp Juodkrantės ir Smiltynės I (nuo 81-osios iki 133-iosios), o mažėjo ruože, esančiame piečiau Juodkrantės ir Nidos (vidutiniškai 0,0061 mm, išskyrus 151-ąją tyrimų vietą). Labiausiai dalelių dydis padidėjo ties Juodkrante trijose vietose (0,0093, 0,0184 ir 0,0303 mm; 121-a, 127-a ir 131-a vietos) ir ties Pervalka (0,0157 mm; 151-oji tyrimo vieta), o sumažėjo – piečiau Preilos (–0,0174 ir –0,0176 mm; 161-a ir 163-ia vietos).

Nuo 2014 iki 2018 m. žemyno krante vidutinis dalelių dydis daugumoje vietų mažėjo (vidutiniškai –0,0022 mm) – labiausiai šiauriau Šventosios (–0,0080 mm, 7-a vieta) ir ties šiauriniu Klaipėdos molu (–0,0071 mm, 73-ia tyrimo vieta) (4.1 pav.). Vidutinis dalelių dydis labiausiai didėjo ties Olando Kepurės klifu (0,0322 mm, 61-a vieta) ir ties Giruliais (0,0124 mm, 71-vieta). Tuo pačiu laikotarpiu dalelių dydis nerijos krante, kaip ir žemyno, mažėjo (apie –0,0010 mm, atmetus išskirtis). Labiausiai dalelių dydis sumažėjo piečiau Juodkrantės (–0,0237 mm ir –0,0118 mm; 131-a ir 133-ia tyrimo vietos) ir ties Pervalka (–0,0194 mm; 151-a vieta). Labiausiai vidutinis dalelių

dydis padidėjo ties Preila (0,0166 mm; 157-a vieta) ir šiauriau Juodkrantės (0,0058 mm, 115-a vieta).



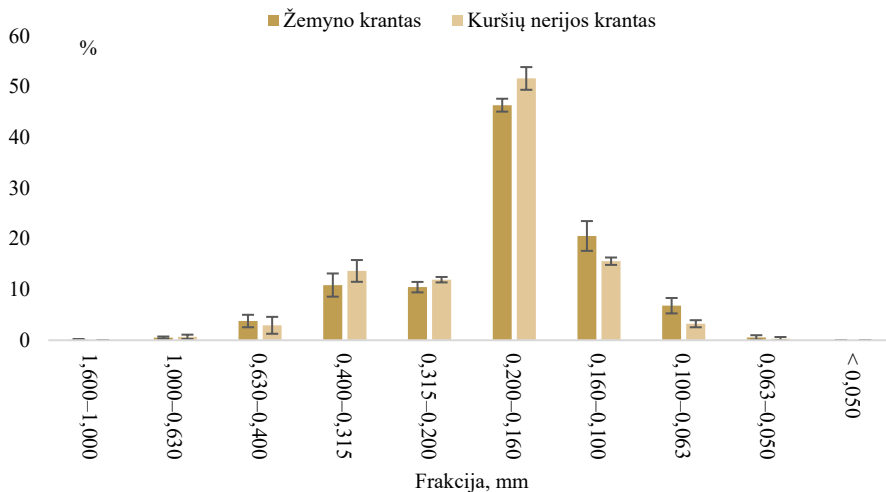
4.1 pav. Paplūdimio sąnašų smėlio dalelių vidutinio dydžio (d , mm) ir rūšiuotumo (S_0) pokytis 2011–2014 m. ir 2014–2018 m. išilgai pietryčių Baltijos jūros kranto.

Visais tirtais metais paplūdimio paviršinio smėlio sąnašos buvo dažniausiai labai gerai išrūšiuotos ($S_0 < 0,35$) ar gerai išrūšiuotos ($0,35 < S_0 < 0,50$). 2011–2014 m. laikotarpiu dalelių rūšiuotumas labiausiai sumažėjo ties

Šventąja (–0,32, –0,17 ir –0,11; 7-a, 11-a ir 13-a vietos), klifų ruože (–0,23 ir –0,15; 55-a ir 61-a vietos) bei šiauriau Klaipėdos vartų (–0,29, 73-ia vieta). Kuršių nerijoje šiuo laikotarpiu rūšiuotumas labiau mažėjo ties Pervalka (–0,10 ir –0,08, 141-a ir 145-a vietos), o padidėjo piečiau Pervalkos (0,39, 151-a vieta) ir piečiau Juodkrantės (0,26, 127-a vieta), kitose vietose pokytis nebuvo toks didelis.

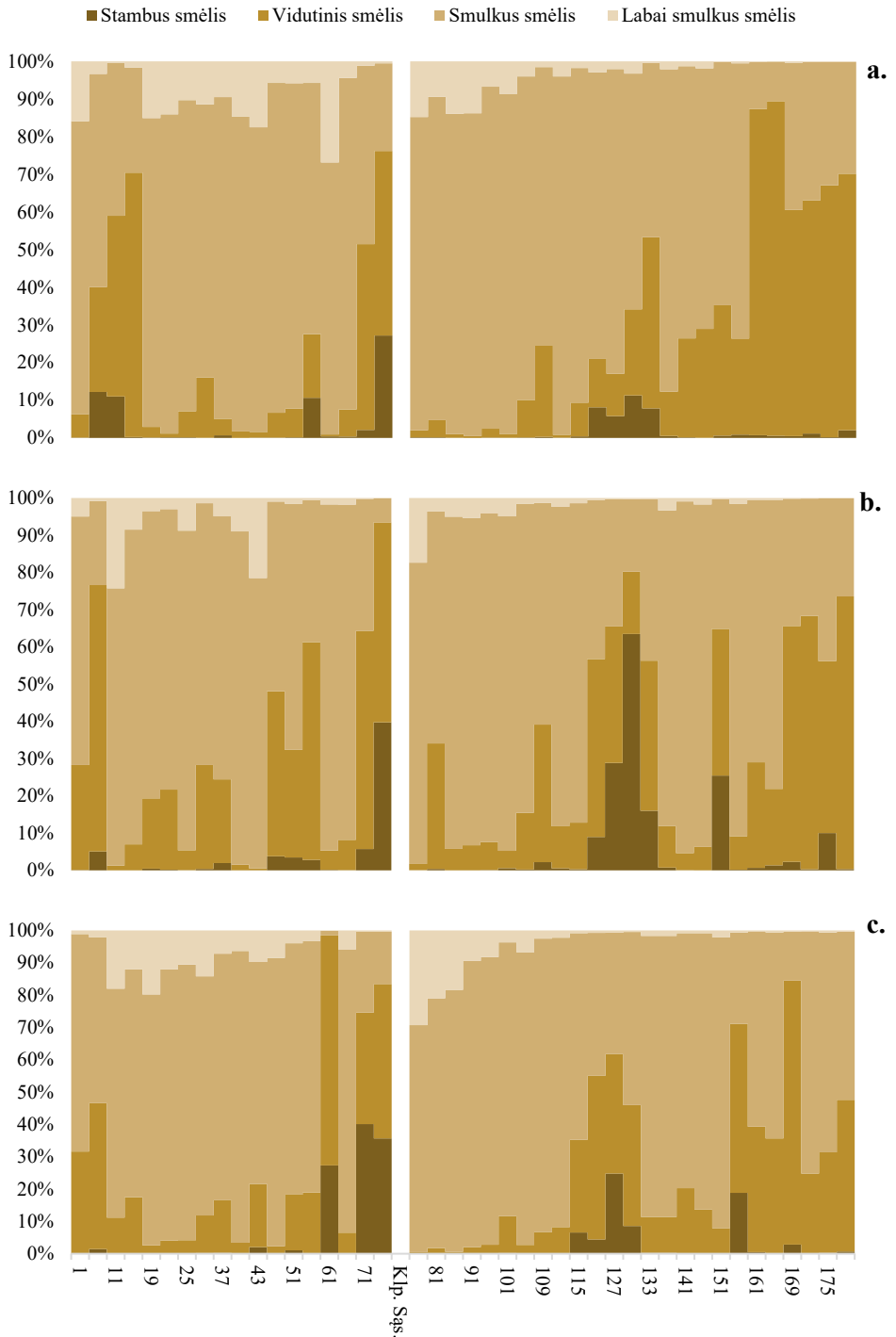
2014–2018 m. žemyno krante dalelių rūšiuotumas labiausiai didėjo ties Giruliais ir šiauriau Klaipėdos molo (0,22, 0,15; 71-a ir 73-ia vietos), o mažėjo ties Būtinge ir Šaipiais (–0,11, –0,12 ir –0,15; 1-a, 49-a ir 51-a vietos). Kuršių nerijoje šiuo laikotarpiu rūšiuotumas labiausiai didėjo šiauriau Juodkrantės ir šiauriau Preilos (0,23, 0,39; 115-a ir 157-a vietos), o mažėjo – trijose vietose tarp Juodkrantės ir piečiau Pervalkos (–0,26, –0,38 ir –0,46; 131-a, 133-ia ir 151-a vietos).

Ištyrus žemyno ir Kuršių nerijos paplūdimių smėlio granulimetrinę sudėtį, buvo nustatyta, kad visais tiriamais metais dominavo smulkaus smėlio (0,200–0,160 mm) frakcija, kurios vidutinė procentinė dalis siekia apie 50 % (46,34 ± 1,27 % žemyno ir 51,61 ± 2,24 % nerijos krante) (4.2 pav.).



4.2 pav. Paplūdimio sąnašų vidutinės smėlio granulimetrinės sudėties (%), nustatytos 2011, 2014 ir 2018 m., palyginimas tarp žemyno ir Kuršių nerijos kranto.

2011 m. žemyno krante didžiausias stambaus (> 1,600–0,630 mm frakcija) smėlio procentas (27 %) buvo nustatytas ties šiauriniu Klaipėdos uosto molu (4.3 pav.). Didžiausias vidutinio smėlio (0,400–0,200 mm frakcija) kiekis nustatytas piečiau Šventosios uosto vartų ir siekė apie 70 % (13-as ėminys) bei ties Šventosios upės žiotimis (apie 49 %).



4.3 pav. Paplūdimio skirtingo stambumo smėlio šaunų pasiskirstymas (%) išilgai pietryčių Baltijos jūros kranto a) 2011, b) 2014 ir c) 2018 m.

Mažesnė vidutinio smėlio dalis nustatyta tarp Girulių ir I Melnragės, šiauriau Klaipėdos uosto vartų (71-a ir 73-ia ėminių ėmimo vietos). Šiauriau Šventosios gyvenvietės (7-as ėminys) sudarė apie 28 %. Tarp pietinės Šventosios ir Šaipių klifų kranto ruožų paplūdimio sąnašose dominavo smulkus smėlis (0,200–0,100 mm), kuris atskirose vietose sudarė net 82–88 % (tarp 19-o ir 51-o ėminių ėmimo vietų). Didžiausias labai smulkaus (0,100–0,063 mm) smėlio kiekis (26 %) nustatytas ties Olando Kepure (61-ame ėminyje), mažesnis kiekis (9–17 %) buvo ruože tarp Monciškių ir Nemirsetos (tarp 19-o ir 43-io ėminių ėmimo vietos).

Kuršių nerijoje didžiausias labai stambaus smėlio procentas (nuo 6 iki 11 %) nustatytas ruože tarp Juodkrantės ir Pervalkos (121-o–133-io ėminių ėmimo vietos). Vidutinio stambumo smėlis dominavo Kuršių nerijos pietinėje dalyje, kranto ruože nuo Preilos iki Rusijos–Lietuvos sienos (tarp 161-os ir 181-os ėminių ėmimo vietų) ir kito nuo 60 iki 89 %, o ties Juodkrante (133-ias ėminys) siekė 45 %. Smulkus smėlis vyravo (80–95 %) Kuršių nerijos šiaurinėje dalyje, ruože tarp Kopgalio ir Alksnynės (tarp 79-o ir 115-o ėminių ėmimo vietų). Didžiausias labai smulkaus smėlio kiekis (7–15 %) nustatytas Kuršių nerijos distalinėje dalyje, Kopgalyje (tarp 79-os ir 101-os ėminių ėmimo vietų).

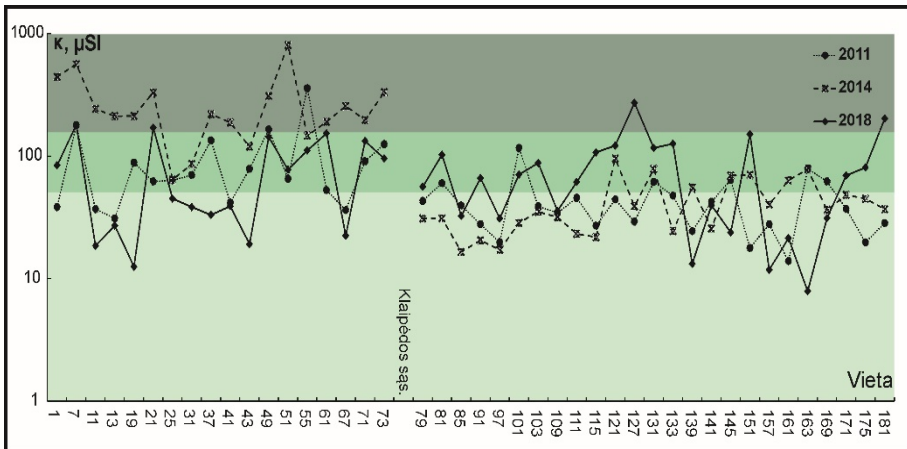
Kuršių nerijoje 2018 m. granulimetrinė smėlio sudėtis pasiskirstė panašiai kaip ir ankstesniais tyrimų metais. Stambiagrūdžio smėlio frakcija gausiausia buvo Juodkrantės–Pervalkos ruože (127-as ir 157-as ėminiai), kur jos kiekis atitinkamai siekė 25 ir 19 %. Vidutingrūdis smėlis vyravo Kuršių nerijos pietinėje dalyje tarp Preilos ir Lietuvos sienos su Rusija (157-as–181-as ėminiai), kur jo kiekis kito nuo 29 iki 37 %. Be to, dideliu vidutingrūdžio smėlio kiekiu išsiskyrė Kuršių nerijos centrinės dalies kranto ruožas piečiau Juodkrantės (tarp 115-o ir 131-o ėminių ėmimo vietų), kur jo kiekis siekė 25–82 %.

Smulkaus smėlio frakcija, kaip ir žemyno krante, dominavo akumuliaciniuose paplūdimiuose, esančiuose šiaurinėje Kuršių nerijos dalyje tarp Smiltynės ir Juodkrantės (85-a ir 111-a ėminių ėmimo vietos) (nuo 81 iki 91 %) ir centrinėje Kuršių nerijos dalyje piečiau Juodkrantės ir Pervalkos (tarp 133-io ir 151-o ėminių ėmimo vietų) (79–90 %). Didelis labai smulkaus smėlio kiekis (18–29 %) paplūdimio sąnašose nustatytas ties Kopgaliu (tarp 79-os ir 85-os ėminių ėmimo vietų).

4.1.2 Magnetinio imlumo reikšmės

Magnetinis imlumas parodo santykinę sunkiųjų mineralų koncentraciją. Šis geoindikatorius leidžia įvertinti dinامينius procesus, vyraujančius krante, ir

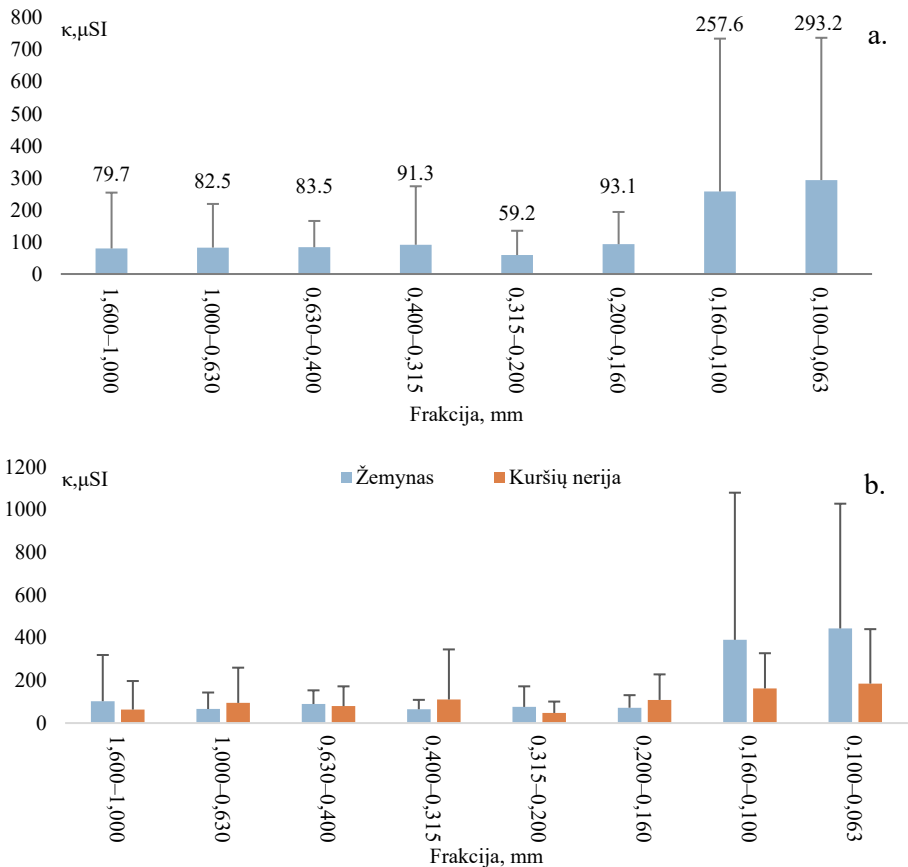
nustatyti vyraujančią išilginę nešmenų pernašą. Atlikus magnetinio imlumo matavimus nustatyta, kad 2011 m. reikšmės kito nuo 13,9 iki 357,7 μSI , o kaitos amplitudė siekė 343,8 μSI . Vidutinė magnetinio imlumo reikšmė buvo $64,4 \pm 58,7 \mu\text{SI}$. 2014 m. paplūdimio sąnašų vidutinė magnetinio imlumo reikšmė siekė $139,1 \pm 161,6 \mu\text{SI}$. Palyginus 2014 m. matavimų duomenis su 2011 m., nustatyta, kad magnetinio imlumo reikšmių intervalas padidėjo (nuo 16,5 iki 804,8 μSI).



4.4 pav. Paplūdimio sąnašų magnetinio imlumo verčių pasiskirstymas (κ , μSI) pietrytinės Baltijos jūros krante (Lietuva) 2011, 2014 ir 2018 m. (tamsiai žalios spalvos laukas rodo vietas, kur itin gausiai kaupiasi sunkieji mineralai; žalia – kur smėlyje yra daug sunkiųjų mineralų; šviesiai žalia – kvarco turtingas smėlis). Modifikuota autorės pagal Karlonienė ir kt., 2021a.

Ypač mažos magnetinio imlumo reikšmės buvo 2018 m. Minimali reikšmė siekė 7,9, o maksimali – 271,8 μSI (vidurkis $\kappa = 77,7$, $\sigma = 60,2$). 2018 m. magnetinio imlumo amplitudė ($\kappa = 263,9$) atitinkamai sumažėjo 1,3 ir apie 3,0 kartus, palyginti su 2011 ir 2014 m. Palyginus žemyno ir Kuršių nerijos jūros krante skirtingais metais išmatuotas magnetinio imlumo reikšmes, nustatyti reikšmingi skirtumai. 2011 m. žemyno krante vidutinė MI reikšmė siekė $95,3 \pm 76,7 \mu\text{SI}$, o Kuršių nerijos jūros krante – $42,1 \pm 22,2 \mu\text{SI}$. 2014 m. žemyno kranto paplūdimio smėlio sąnašų vidutinė MI reikšmė buvo daugiau nei du kartus didesnė nei 2011 m. ir siekė $273,2 \pm 175,5 \mu\text{SI}$, o Kuršių nerijos jūros kranto sąnašų vidutinė MI reikšmė išliko beveik nepakitusi – $42,5 \pm 21,4 \mu\text{SI}$. O štai 2018 m. tiek žemyno, tiek Kuršių nerijos paplūdimio smėlio sąnašų vidutinės MI reikšmės buvo panašios ir atitinkamai siekė $77,9 \pm 55,9 \mu\text{SI}$ ir $77,6 \pm 61,9 \mu\text{SI}$.

2011 m. didžiausia MI reikšmė ($\kappa = 357,7 \mu\text{SI}$) buvo moreninių klifų kranto ruože (55-oje vietoje), o 2014 m. išskirtinės MI reikšmės ($> \text{vid.} + 2\sigma$) buvo išmatuotos ties šiaurine Šventaja – 7-oje ($\kappa = 564,1 \mu\text{SI}$) ir Šaipiais – 51-oje ($\kappa = 804,8 \mu\text{SI}$) ėminio ėmimo vietoje. 2018 m. išskirtinės MI reikšmės buvo išmatuotos Kuršių nerijos paplūdimio smėlio sąnašose: ties Juodkrante 127-oje ($\kappa = 271,8 \mu\text{SI}$) ir piečiau Nidos 181-oje ($\kappa = 202,3 \mu\text{SI}$) ėminių ėmimo vietose.



4.5 pav. Magnetinio imlumo vidutinės reikšmės skirtingose paplūdimio sąnašų frakcijose: a) visame kranto ruože, b) žemyno ir Kuršių nerijos krante.

2018 m. ėminiuose atlikta išsamesnė MI analizė skirtingose paplūdimio sąnašų frakcijose ($> 1,600$; 1,600–1,000; 1,000–0,630; 0,630–0,400; 0,400–0,315; 0,315–0,200; 0,200–0,160; 0,160–0,100; 0,100–0,063 mm). Didžiausios vidutinės MI reikšmės visame tiriamame kranto ruože buvo nustatytos smulčiausiose paplūdimio sąnašų frakcijose – 0,160–0,100 mm ($\kappa = 257,6 \mu\text{SI}$, $\sigma = 477,1$) ir 0,100–0,063 mm ($\kappa = 293,2 \mu\text{SI}$, $\sigma = 444,2$), o

mažiausios – stambiausioje frakcijoje – $> 1,600$ mm ($\kappa = 34,3$ μ SI, $\sigma = 120,6$) ir $0,315$ – $0,200$ mm ($\kappa = 59,2$ μ SI, $\sigma = 75,8$) frakcijoje (4.5 pav.).

Kitose frakcijose vidutinės MI reikšmės pasiskirstė tarp $79,0$ ir $93,0$ μ SI. Vidutinė magnetinio imlumo vertė $1,600$ – $1,000$ mm frakcijoje buvo lygi $79,7 \pm 174,4$ μ SI, $1,000$ – $0,630$ ir $0,630$ – $0,400$ mm frakcijose – $82,5 \pm 136,2$ ir $83,5 \pm 82,06$ μ SI, o $0,400$ – $0,315$ ir $0,200$ – $0,160$ mm frakcijose MI vidutinės reikšmės buvo lygios $91,3 \pm 182,6$ ir $93,1 \pm 100,6$ μ SI. MI reikšmių, išmatuotų skirtingose frakcijose žemyno ir Kuršių nerijos krante, pasiskirstymas buvo nevienodas. Didesnės MI reikšmės žemyno krante buvo nustatytos $1,600$ – $1,000$, $0,630$ – $0,400$, $0,315$ – $0,200$, $0,160$ – $0,100$ ir $0,100$ – $0,063$ mm frakcijose, o Kuršių nerijoje išsiskyrė $1,000$ – $0,630$, $0,400$ – $0,315$ ir $0,200$ – $0,160$ mm frakcijos (4.5 pav., 4.1 lentelė).

Žemyno ir Kuršių nerijos jūros kranto paplūdimių sąnašose mažiausios vidutinės MI reikšmės buvo nustatytos stambiausioje ($> 1,600$ mm) frakcijoje ir siekė atitinkamai $37,4 \pm 151,3$ ir $32,1 \pm 92,4$ μ SI, o didžiausios reikšmės, apskaičiuotos frakcijose, $0,160$ – $0,100$ ir $0,100$ – $0,063$ mm.

4.1 lentelė. Magnetinio imlumo vidutinės (vid., μ SI), standartinio nuokrypio (σ), mėginių skaičiaus (N) ir variacijos koeficiento (CV , %) reikšmės skirtingose paplūdimio sąnašų frakcijose žemyno ir Kuršių nerijos krantuose.

Frakcija, mm	Žemynas				Kuršių nerija			
	vid.	σ	N	CV (%)	vid.	σ	N	CV (%)
$> 1,600$	37,4	151,3	3	404,6	32,06	92,40	6	288,18
$1,600$ – $1,000$	102,5	216,6	8	211,3	63,29	133,72	15	211,28
$1,00$ – $0,630$	65,9	77,3	16	117,3	94,47	165,16	20	174,83
$0,630$ – $0,400$	89,3	64,0	18	71,7	79,41	92,67	25	116,71
$0,400$ – $0,315$	64,6	44,1	18	68,2	110,50	234,67	25	212,36
$0,315$ – $0,200$	75,7	96,5	18	127,5	47,31	53,43	25	112,93
$0,200$ – $0,160$	71,8	58,9	18	82,0	108,46	119,71	25	110,37
$0,160$ – $0,100$	390,1	689,7	18	176,8	162,24	165,09	25	101,75
$0,100$ – $0,063$	443,5	584,7	17	131,8	184,91	255,29	25	138,06

Žemyno kranto paplūdimių sąnašų MI reikšmės smulkiausiose ($0,160$ – $0,100$ ir $0,100$ – $0,063$ mm) frakcijose buvo statistiškai reikšmingai ($p < 0,05$) didesnės nei nerijos krante ($0,160$ – $0,100$ mm atitinkamai $390,05 \pm 689,74$ ir $162,24 \pm 165,09$ μ SI, o $0,100$ – $0,063$ mm – $443,5 \pm 584,7$ μ SI; ir $184,91 \pm 255,29$ μ SI). Kuršių nerijos paplūdimio sąnašų vidutinė MI reikšmė statistiškai reikšmingai ($p < 0,05$) didesnė nei žemyno krante tik $0,400$ – $0,315$ mm frakcijoje ($110,50 \pm 234,67$ μ SI ir $64,6 \pm 44,1$ μ SI). Kitose frakcijose vidutinės MI reikšmės paplūdimio sąnašose neviršijo $111,0$ μ SI ir buvo panašios abiejuose krantuose (4.1 lentelė).

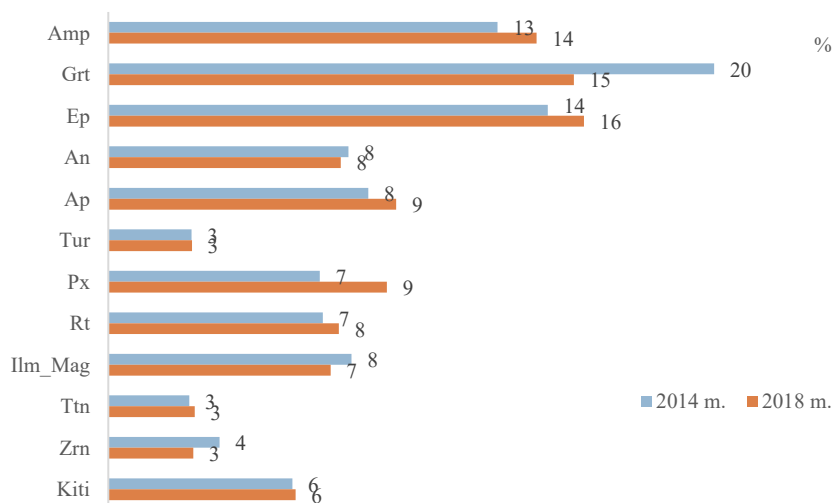
4.1.3 Sunkiųjų mineralų sudėtis ir kiekis

Ėminių mineralinės sudėties analizė parodė, kad skirtinguose ėminiuose sunkiųjų mineralų grūdelių skaičius kinta nuo 271 iki 392. Ėminiuose iš viso buvo nustatyti 55 pavieniai skirtingi sunkieji mineralai. Todėl dalis mineralų buvo sugrupuoti į granatų, amfibolų, epidotų, turmalinų, piroksenų ir kitas grupes.

Analizuojamuose smėlio ėminiuose vyravo granatai: daugiausia almandinas (Fe, Al), spesartinas (Mn, Al), piropas (Mg, Al). 2014 m. ėminiuose granatų grupės mineralų kiekis kito nuo 4,8 iki 48,0 %, vidutinis mineralų kiekis buvo $19,8 \pm 13,2$ % (4.6 pav.). 2018 m. ėminiuose granatų grupės mineralų kiekis sumažėjo ir kito nuo 10,8 iki 22,3 %, o vidutinis kiekis – $15,2 \pm 5,3$ %.

Epidotų grupės mineralai buvo antri pagal gausumą ir 2014 m. ir 2018 m. sudarė atitinkamai apie $14,3 \pm 4,2$ % ir $15,5 \pm 1,27$ % viso mėginio kiekio. Epidotų grupės mineralų kiekis 2014 m. kito nuo 6,8 iki 25,3, o 2018 m. – nuo 14,7 iki 17,4 % (4.6 pav.).

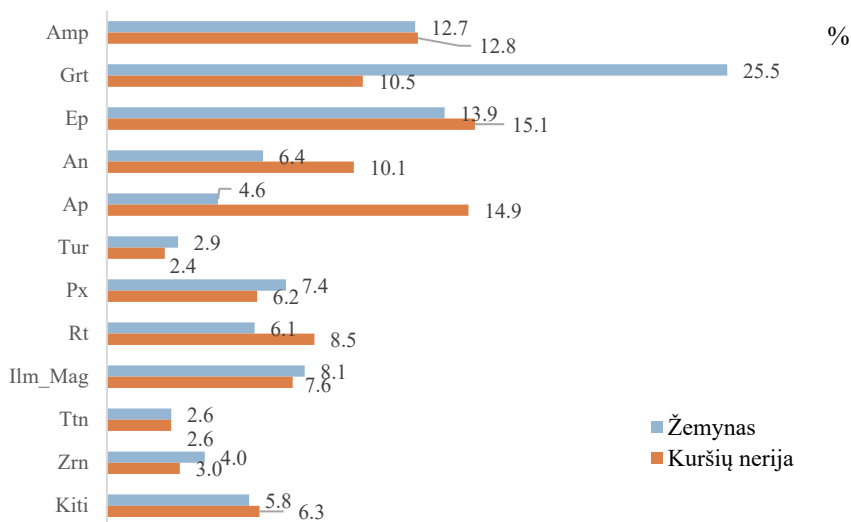
Amfibolų grupės (aktinolitas (Ca), pargasitas (Na, Ca, Mg), tremolitas (Ca, Mg, Fe)) mineralų vidutinis kiekis, lyginant 2014 ir 2018 m., skyrėsi nedaug ($12,7 \pm 4,9$ % iki $13,9 \pm 4,2$ % atitinkamai). Nustatytas šių mineralų kiekis 2014 m. ir 2018 m. varijavo atitinkamai nuo 4,9 iki 22,8 % ir nuo 8,86 iki 18,54 %.



4.6 pav. Paplūdimio smėlio sąnašų sunkiųjų mineralų pasiskirstymas (%) 2014 ir 2018 m. ėminiuose. Amp – amfibolai, Grt – granatai, Ep – epidotai, An – andalūzitas, Ap – apatitas, Tur – turmalinai, Px – piroksenai, Rt – rutilas, Ilm_Mag – ilmenitas ir magnetitas, Ttn – titanitas, Zrn – cirkonas.

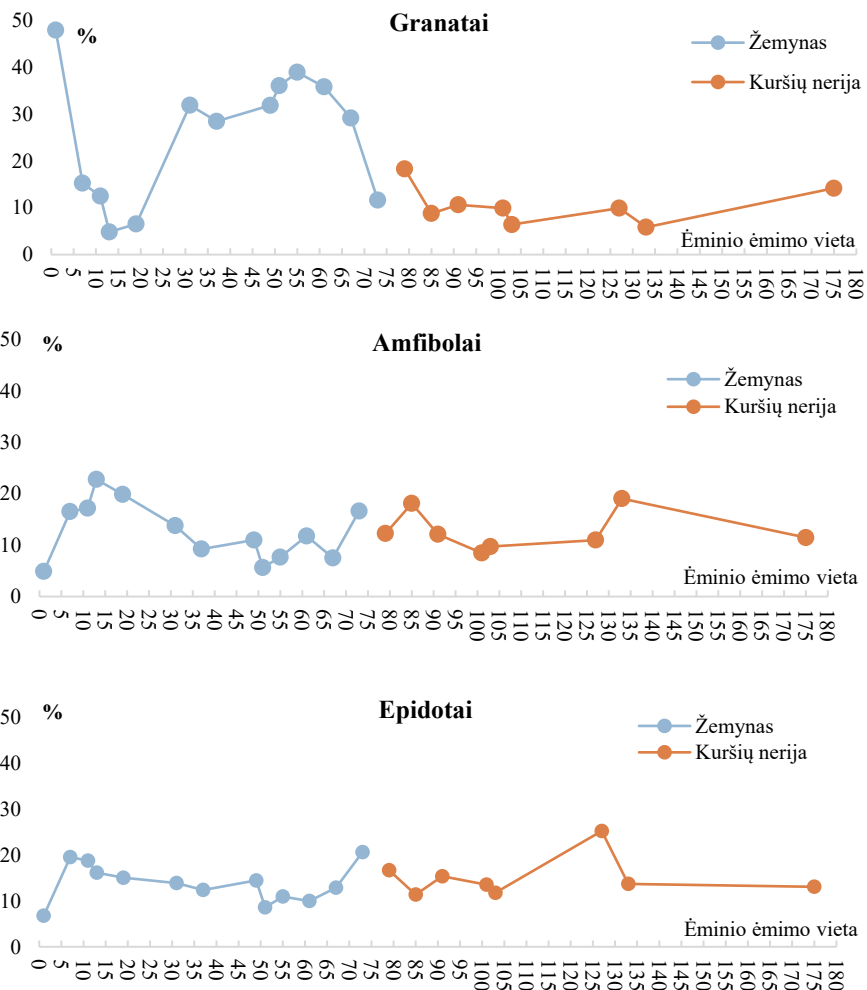
Kitų mineralų, tokių kaip ilmenitas ir magnetitas, apatitas, piroksenai ar rutilas, apskaičiuotas kiekis neviršijo 10 % ir vidutiniškai siekė 7–9 %. Daugumoje tirtų ėminių taip pat buvo rasta anatazo (TiO_2), turmalinų (Al, Mg, Li, K), titanito (CaTiSiO_5) ir cirkono (ZrSiO_4).

Analizė parodė, kad žemyno ir Kuršių nerijos jūros krante pagal kiekį labiausiai išsiskyrė granatų ir apatito mineralų grupės. Žemyno kranto paplūdimio sąnašose vidutinis granatų kiekis siekė $25,5 \pm 13,2$ %, o Kuršių nerijos – $10,5 \pm 4,1$ % (4.7 pav.). Apatito didesnis vidutinis kiekis buvo nustatytas Kuršių nerijos kranto sąnašose ir siekė $14,9 \pm 3,4$ %, o žemyno krante jis buvo daugiau nei tris kartus mažesnis ir siekė $4,6 \pm 2,4$ %.



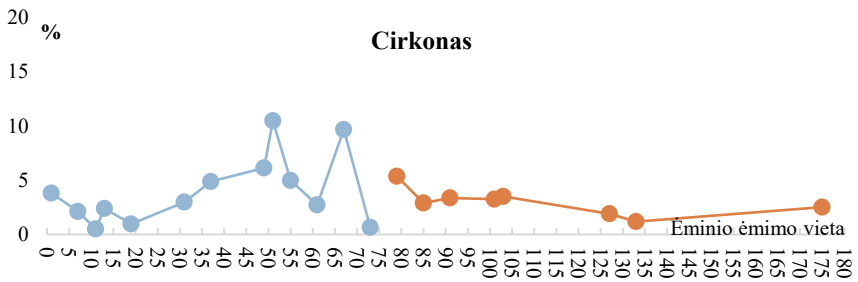
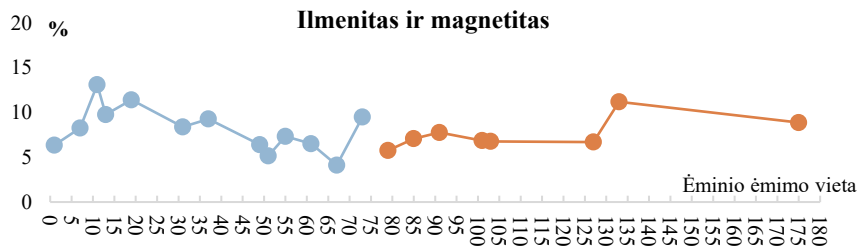
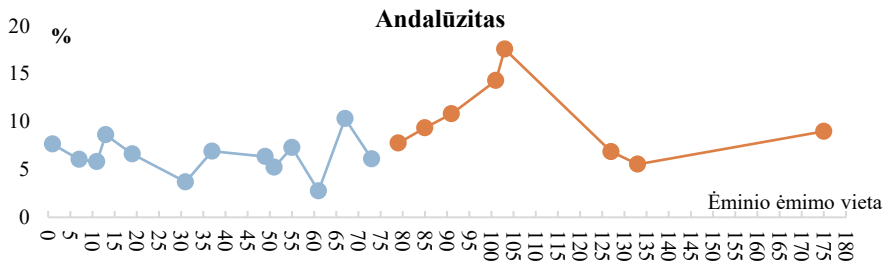
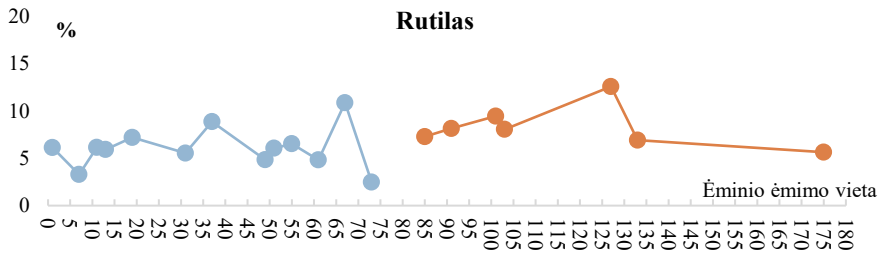
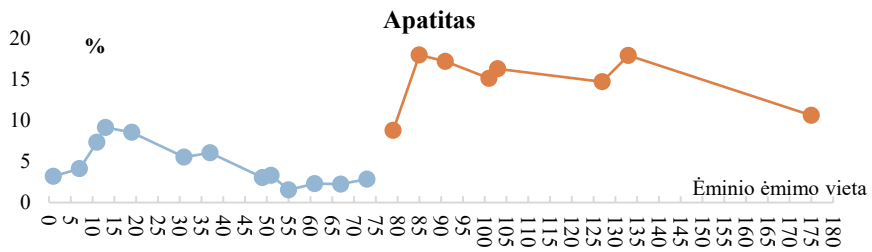
4.7 pav. Sunkiųjų mineralų pasiskirstymas (%) žemyno ir Kuršių nerijos paplūdimio smėlio sąnašose (2014 m.). Amp – amfibolai, Grt – granatai, Ep – epidotai, An – andalūzitas, Ap – apatitas, Tur – turmalinai, Px – piroksenai; Rt – rutilas, Ilm_Mag – ilmenitas ir magnetitas, Ttn – titanitas, Zrn – cirkonas.

Sunkiųjų mineralų pasiskirstymas išryškino pasiskirstymo tendencijas. Pavyzdžiui, žemyno krante amfibolų grupės mineralų kiekis reikšmingai didėja nuo moreninių klifų ruožo (51-a ėminio ėmimo vieta) iki Šventosios (11-a ėminio ėmimo vieta), tačiau nuo Šventosios iki Lietuvos sienos su Latvija amfibolų kiekis mažėja (4.8 pav.).



4.8 pav. Granatų, amfibolų ir epidotų paplūdimio smėlio sąnašose pasiskirstymas išilgai pietryčių Baltijos jūros kranto (2014 m.).

Gerai išreikštos amfibolų, taip pat granatų grupės mineralų kiekio kaitos Kuršių nerijos jūros krante nenustatyta. Įdomu, kad žemyno krante granatų kiekis buvo reikšmingai didesnis pietinėje žemyno kranto dalyje, ties klifų ruožu. Nustatyta, kad granatų gerokai sumažėja ties Palanga ir padaugėja į šiaurę nuo Šventosios. Atskirai verta paminėti, kad granatų grupė teigiamai koreliavo su magnetiniu imlumu (4.10 pav.).



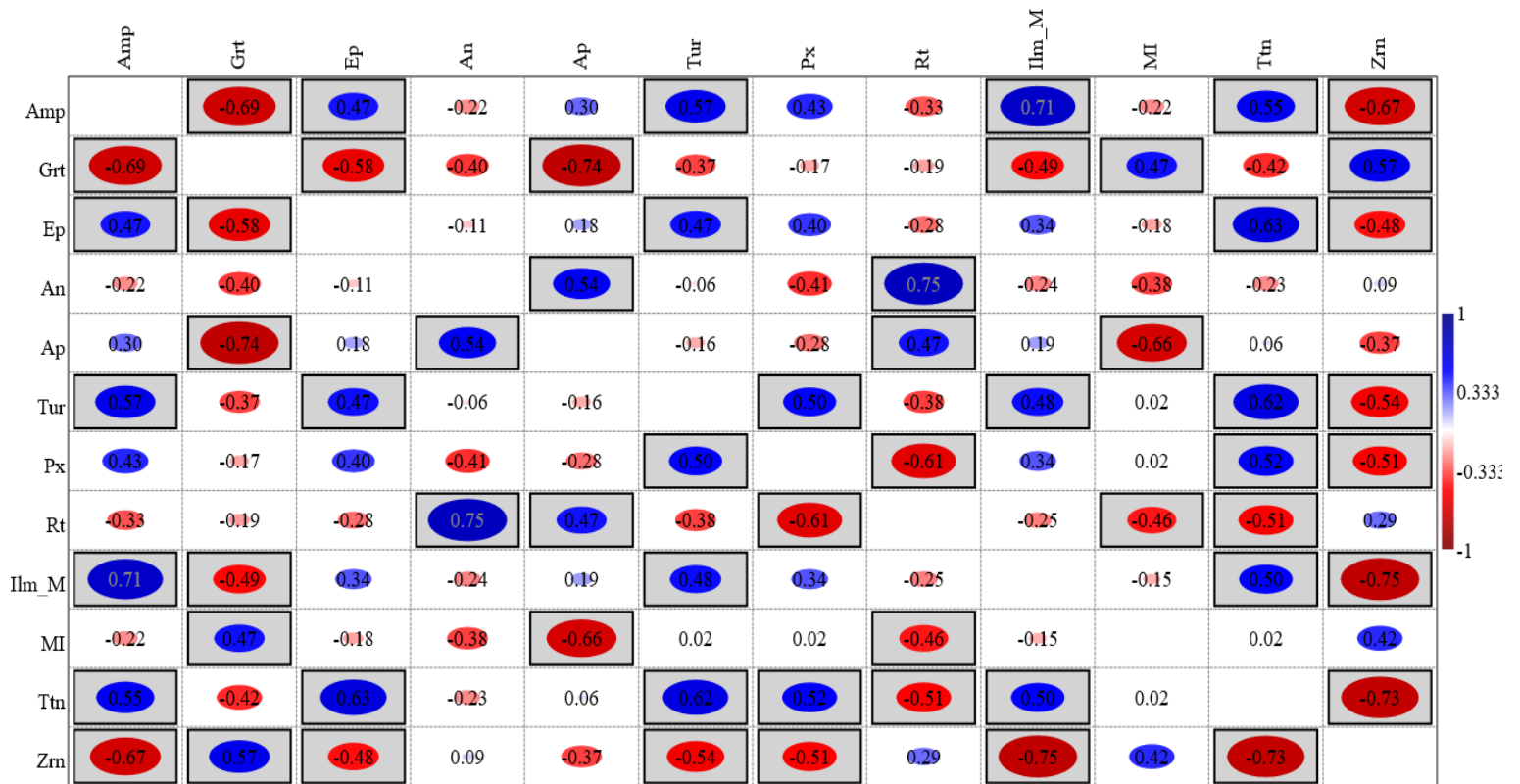
4.9 pav. Apatīto, rutīlo, andalūzīto, ilmenīto – magnetīto ir cirkono kiekīo paplūdimīo smēlio šanašose pasīskīrstīmas īsilgai pietryčīu Baltījos jūros kranto (2014 m.).

Epidotų grupės mineralai gana tolygiai pasiskirstė tiek žemyno, tiek Kuršių nerijos krante (4.8 pav.). Abiejuose krantuose epidotų grupės mineralų kiekis šiek tiek didėja šiaurės kryptimi.

Apatito kiekis žemyno krante ir Kuršių nerijoje didėjo šiaurės kryptimi. Žemyno krante ši tendencija labiau išryškėja tarp klifų ruožo (49-a–61-a ėminių ėmimo vietos) ir Šventosios. Apatitas taip pat reikšmingai neigiamai koreliavo su magnetiniu imlumu ($r = -0,66$; $p < 0,05$). Rutilo pasiskirstymo tendencija abiejuose krantuose nebuvo aiški, tačiau jis, kaip ir apatitas, reikšmingai neigiamai koreliavo su magnetiniu imlumu ($r = -0,46$; $p < 0,05$). Andalūzitas, kaip ir apatitas, dominavo Kuršių nerijos jūros krante, palyginti su žemyno krantu, tačiau skirtumai nėra dideli. Kuršių nerijos jūros kranto paplūdimių sąnašose cirkono kiekis didėjo šiaurės kryptimi, o žemyno krante jis mažėjo. Mineralų ilmenito ir magnetito pasiskirstymas turi priešingas tendencijas, palyginti su cirkono pasiskirstymu.

Taigi, Kuršių nerijoje geriausiai yra išreikšta apatito, cirkono ir ilmenito ir magnetito pasiskirstymo tendencija. Mineralų apatito ir cirkono kiekis didėjo šiaurės kryptimi, o ilmenito ir magnetito mažėjo. Žemyno krante dėl jo didesnės geologinės įvairovės labiausiai išsiskyrė kranto ruožas tarp Karklės ir Šventosios, šiame ruože šiaurės kryptimi didėjo amfibolų ir apatito, o mažėjo mineralų cirkono ir granatų kiekis.

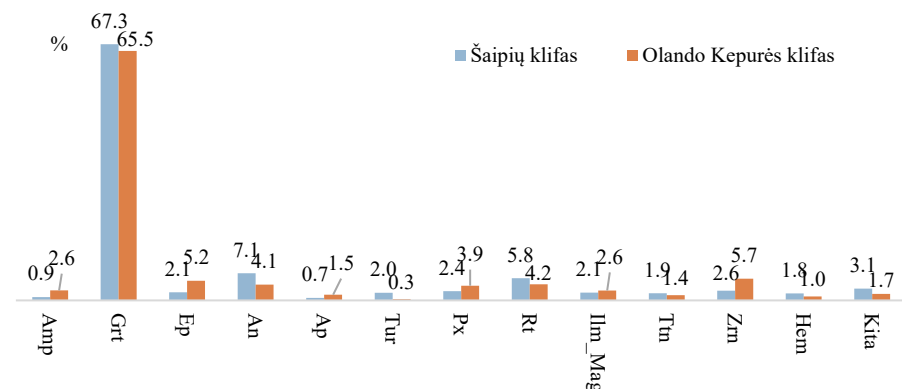
Įvertinus koreliacinius ryšius tarp sunkiųjų mineralų buvo nustatyta, kad amfibolų kiekis reikšmingai koreliavo su ilmenito ir magnetito ($r = 0,71$, $p < 0,05$), turmalinų ($r = 0,57$, $p < 0,05$), titanito ($r = 0,55$, $p < 0,05$), epidotų ($r = 0,47$, $p < 0,05$) kiekiais, o neigiamai – su granatų ($r = -0,69$, $p < 0,05$) ir cirkono ($r = -0,67$, $p < 0,05$) kiekiais. Granatai taip pat neigiamai koreliavo su apatitu ($r = -0,74$, $p < 0,05$), epidotais ($r = -0,58$, $p < 0,05$) bei ilmenitu ir magnetitu ($r = -0,49$, $p < 0,05$), o teigiamai – tik su cirkonu ($r = 0,57$, $p < 0,05$). Epidotai reikšmingai teigiamai koreliavo, be amfibolų, su titanitu ($r = 0,63$, $p < 0,05$) ir turmalinu ($r = 0,47$, $p < 0,05$), o neigiamai koreliavo, be granatų, su cirkonu ($r = -0,48$, $p < 0,05$). Andalūzitas teigiamai koreliavo su rutilu ($r = 0,75$, $p < 0,05$) ir apatitu ($r = 0,54$, $p < 0,05$). Apatitas taip pat teigiamai koreliavo su rutilu ($r = 0,47$, $p < 0,05$).



4.10 pav. Sunkiųjų mineralų ir magnetinio imlumo koreliacinių ryšių matrica (Pirsono koreliacijos koeficientas, reikšmingumas $p < 0,05$; raudona spalva – neigiamas ryšys, mėlyna – teigiamas).

Turmalinai, be jau minėtų reikšmingų ryšių, teigiamai koreliavo su titanitu ($r = 0,62, p < 0,05$), piroksenais ($r = 0,50, p < 0,05$) ir ilmenitu ($r = 0,48, p < 0,05$), o neigiamai – su cirkonu ($r = -0,54, p < 0,05$). Piroksenai taip pat teigiamai reikšmingai koreliavo su titanitu ($r = 0,52, p < 0,05$), o neigiamai – su rutilu ($r = -0,61, p < 0,05$) ir cirkonu ($r = -0,51, p < 0,05$). Rutilas, be jau anksčiau nustatytų ryšių, reikšmingai neigiamai koreliavo su titanitu ($r = -0,51, p < 0,05$), ilmenitas ir magnetitas teigiamai koreliavo su titanitu ($r = 0,50, p < 0,05$), o su cirkonu nustatytas neigiamas koreliacinis ryšys ($r = -0,73, p < 0,05$). Cirkonas taip pat neigiamai koreliavo su titanitu ($r = -0,73, p < 0,05$).

Detaliau išanalizavus klifų ruožo – Šaiپیų ir Olando Kepurės – moreninių nuogulų sunkiųjų mineralų sudėtį (4.11 pav.) buvo nustatyta, kad klifų ėminiuose dominavo granatai (66–67 %): almandinas ($\text{Fe}^{2+}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$), kuris sudarė 31,6 % ir 24,2 %, piropas ($\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$) – 27,2 % ir 35,0 % ir spesartinas ($\text{Mn}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$) – atitinkamai 7,8 ir 5,3 % Šaiپیų ir Olando Kepurės klifuose.



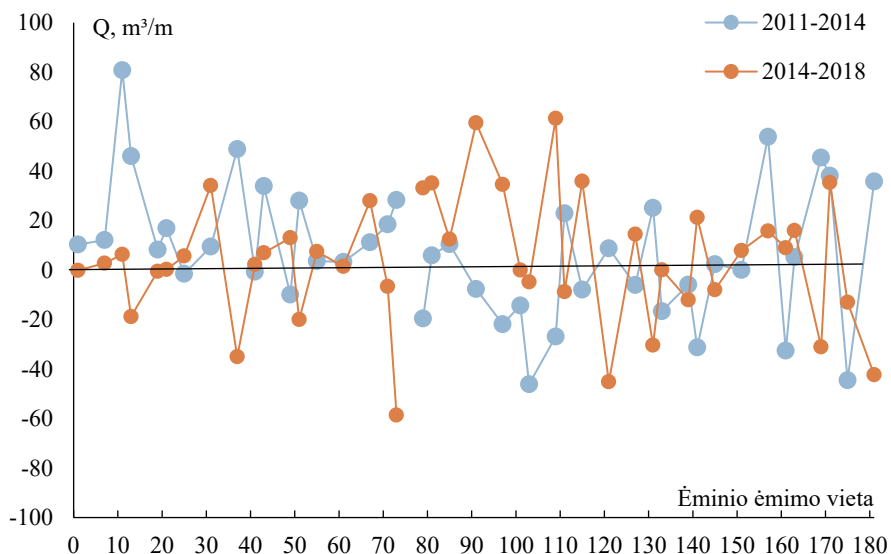
4.11 pav. Sunkiųjų mineralų pasiskirstymas (%) Šaiپیų ir Olando Kepurės klifų morenos nuogulose. Amp – amfibolai, Ap – apatitas, Grt – granatai, Hem – hematitas, Ep – epidotai, An – andalūzitas, Tur – turmalinai, Px – piroksenai, Rt – rutilas, Ilm_Mag – ilmenitas ir magnetitas, Ttn – titanitas, Zrn – cirkonas.

Kitų sunkiųjų mineralų kiekis tarp ištirtų klifų nuosėdų irgi skyrėsi, pavyzdžiui, cirkono (6 %), piroksenų (4 %) ir epidotų (5 %) kiekis buvo didesnis Olando Kepurės nuogulose nei Šaiپیų. O Šaiپیų klifo nuogulose buvo nustatytas didesnis kiekis andalūzito (7 %), rutilo (6 %) nei Olando Kepurės nuogulose (4 %).

4.1.4 Paplūdimio sąnašų biudžetas

Paplūdimio smėlio sąnašų tūris (Q , m^3/m) yra vienas iš geoindikatorių, apibūdinantis jūros kranto būklę ir parodantis krante vyraujančius (akumuliacija ir (ar) erozija) procesus. Atlikti paplūdimio smėlio sąnašų tūrio skaičiavimai parodė, kad 2011–2014 m. laikotarpiu beveik visame žemyno krante vyravo sąnašų akumuliacija. Sąnašų deficitas $-1,5 m^3/m$ buvo nustatytas ties Kunigiškėmis (25-oje ėminio ėmimo vietoje) ir kranto ruože, besitęsiančiame nuo Birutės kalno iki Šaipių – atitinkamai $-0,6 m^3/m$ ir $-9,9 m^3/m$ (41-oje ir 49-oje ėminių ėmimo vietose) (4.12 pav.). Žemyno krante vidutinis paplūdimio smėlio sąnašų kiekis siekė $19,3 m^3/m$.

Tačiau tuo pačiu laikotarpiu Kuršių nerijos krante smėlio sąnašų kiekis paplūdimyje sumažėjo. Vidutinis sąnašų kiekis Kuršių nerijos paplūdimiuose siekė $-1,7 m^3/m$. Didžiausias sąnašų kiekio deficitas buvo nustatytas piečiau Alksnynės (103-ioje) ir Preilos (161-oje), ties Nida (175-oje) ir šiauriau Pervalkos gyvenvietės (141-oje). Sąnašų kiekio deficitas minėtose vietose atitinkamai siekė: $-46,1$; $-44,5$; $-32,5$ ir $-31,2 m^3/m$. Labiausiai neigiamų sąnašų deficitu išsiskyrė Smiltynės–Juodkrantės kranto ruožas. Teigiamas sąnašų kiekis buvo išmatuotas tarp Kopgalio ir Smiltynės (81–85 ėminių ėmimo vietos), Pervalkos ir Preilos (145–157 ėminių ėmimo vietos) ir tarp Preilos ir Nidos (163–171 ėminių ėmimo vietos) kranto ruožo. Didžiausias teigiamas sąnašų kiekis, kuris siekė $38,5$ ir $45,5 m^3/m$, nustatytas tarp Preilos ir Nidos.



4.12 pav. Paplūdimio sąnašų biudžeto pokyčiai (Q , m^3/m) išilgai Baltijos jūros kranto 2011–2014 ir 2014–2018 m. laikotarpiais.

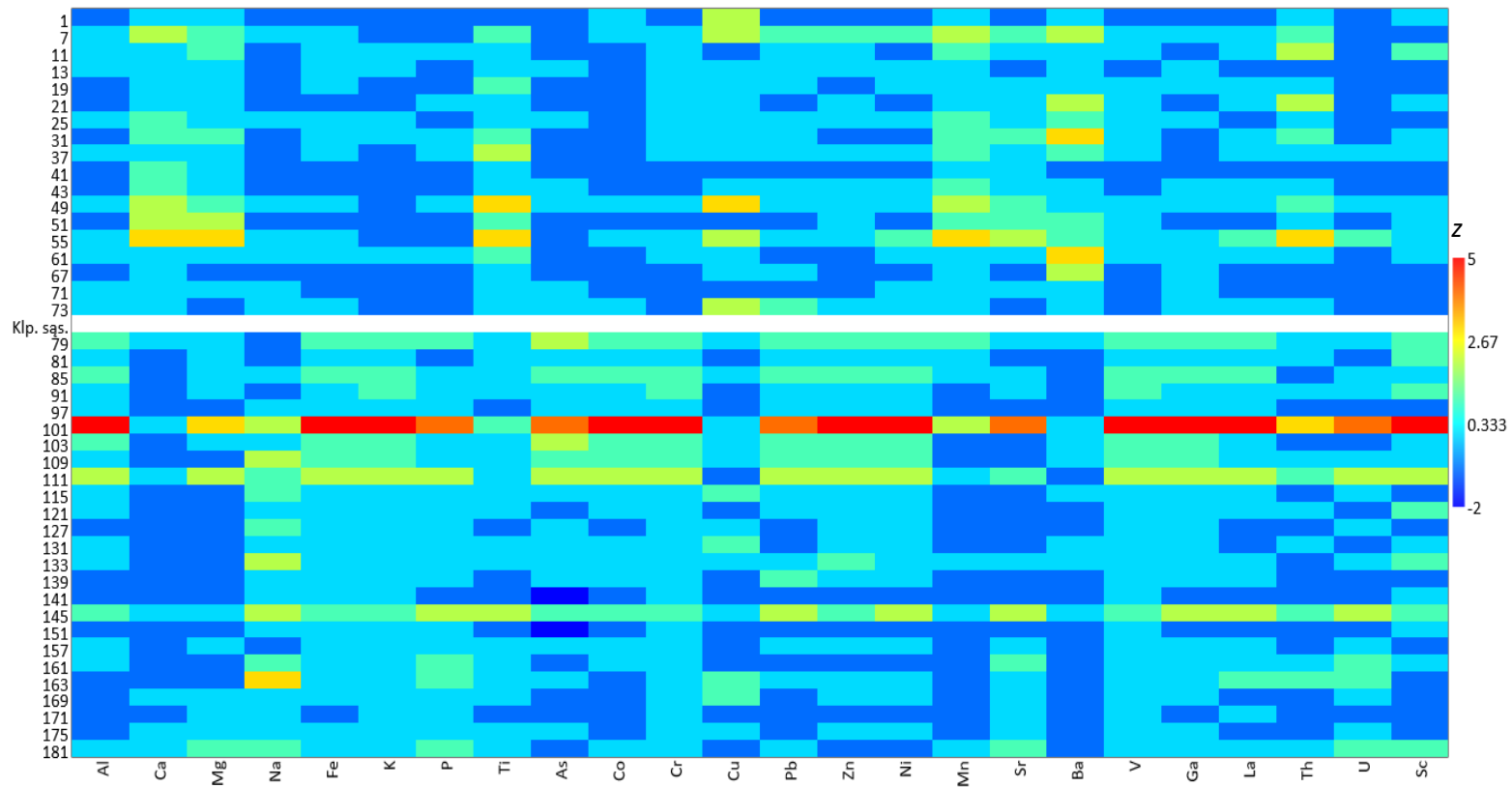
2014–2018 m. laikotarpiu didžiausias paplūdimio smėlio sąnašų deficitas nustatytas ties Melnrage (73-iaja), Palanga (37-ąja), Šaipiais (51-ąja) ir piečiau Šventosios (13-ąja ėminio ėmimo vieta), kuris siekė atitinkamai –58,6; –35,0; –20,0 ir –18,8 m³/m. O didžiausias teigiamas smėlio sąnašų kiekis paplūdimiuose išmatuotas ties Palanga (31-ąja) – 34,0 m³/m ir Giruliais (67-ąja ėminio ėmimo vieta) – 28,0 m³/m. Kuršių nerijos krante smėlio sąnašų biudžetas labiausiai, nuo 12,5 iki 59,5 m³/m atitinkamai, padidėjo Koptgalio–Smiltynės kranto ruože ties 85-a ir 91-a ėminių ėmimo vietomis (4.12 pav.). Tačiau didžiausiu (61,4 m³/m) sąnašų kiekiu išsiskyrė paplūdimys Alksnynės ir Juodkrantės kranto ruože (109-a ėminių ėmimo vieta). Teigiamas sąnašų biudžetas buvo ir Preilos–Nidos kranto ruože, kur sąnašų kiekis kito nuo 7,9 iki 35,4 m³/m. Tiesa, šiame ruože ties 169-a ėminių ėmimo vieta buvo išmatuotas neigiamas sąnašų kiekis, kuris siekė –31,1 m³/m. Palyginus 2011–2014 ir 2014–2018 m. paplūdimių smėlio sąnašų kiekius, nustatyta, kad žemyno krante vidutinis paplūdimio smėlio sąnašų kiekis sumažėjo iki –1,0 m³/m, o Kuršių nerijos krante jis padidėjo iki 7,9 m³/m (4.12 pav.).

4.2 Paplūdimių smėlio sąnašų geocheminė sudėtis

4.2.1 Elementų išskirtys ir jų pasiskirstymas

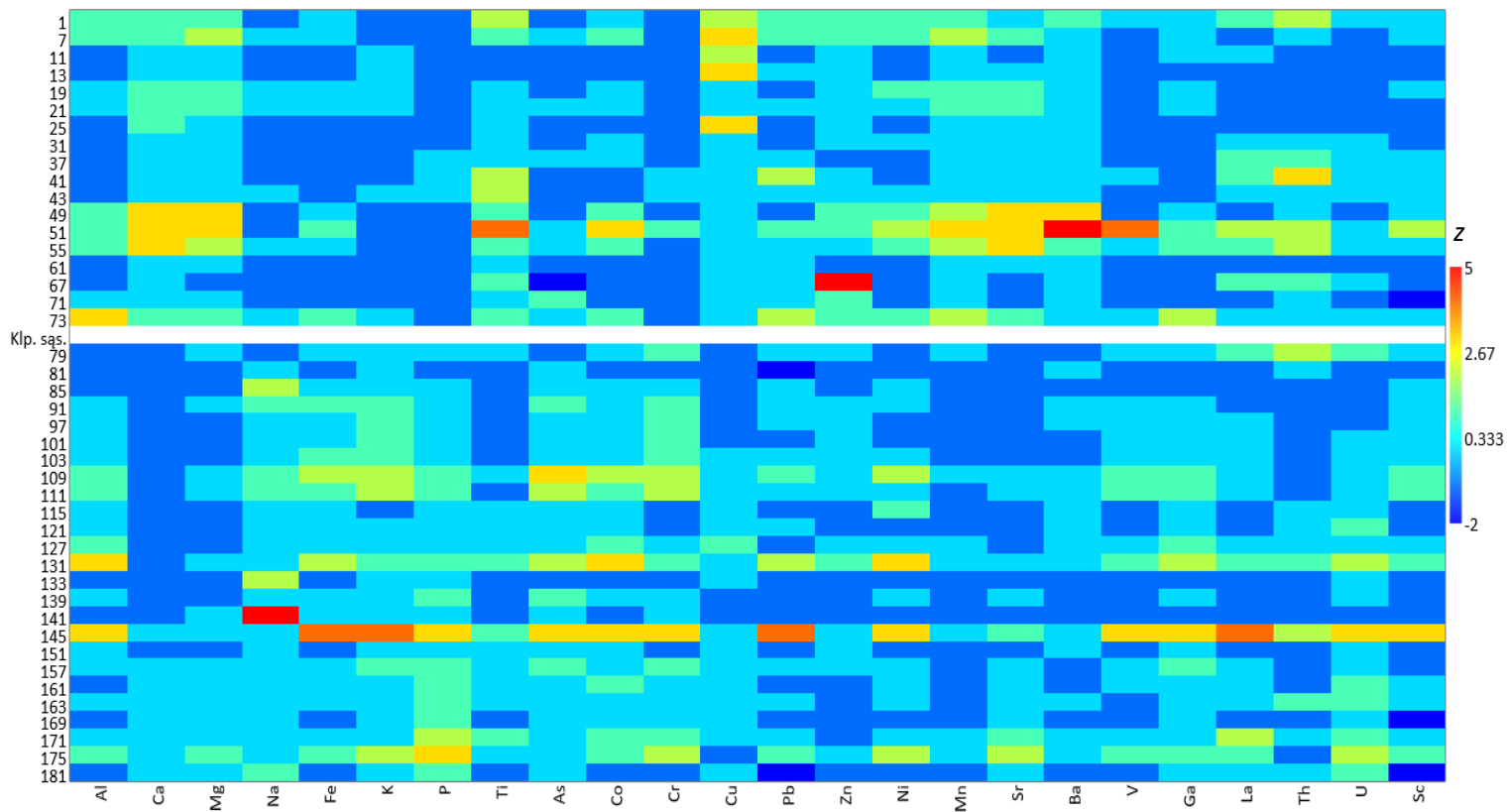
Išanalizavus cheminių elementų koncentracijas, buvo įvertintas išskirčių pasiskirstymas išilgai jūros kranto (4.13 pav.). Atlikta analizė parodė, kad didesnės nei vidutinės vario ir kalcio koncentracijos **2011 m.** buvo žemyno kranto ruože tarp Lietuvos ir Latvijos sienos bei Šventosios. Šiame ruože Cu koncentracija (1-oje ir 7-oje ėminių ėmimo vietose) buvo 0,6 mg·kg⁻¹, o Ca koncentracija siekė 0,94 % (7-oje ėminio ėmimo vietoje). Išskirtinė bario (10 mg·kg⁻¹) ir titano (0,008 %) koncentracija buvo nustatyta ties Palanga (31-oje ir 37-oje ėminių ėmimo vietose). Didesnėmis nei įprastai Cu (0,7 mg·kg⁻¹), Mn (37 mg·kg⁻¹) ir Ti (0,01 %) koncentracijomis pasižymėjo Nemirsetos–Šaiپیų kranto ruožas (49-oji ėminio ėmimo vieta). O štai Šaiپیų–Olando Kepurės moreninių klifų ruože (51-oje ir 55-oje ėminių ėmimo vietose) nustatyta išskirtinai didelė Ca koncentracija, kuri kito nuo 0,88 % iki 1,19 %. Apskritai verta paminėti, kad šiame ruože nustatyta didesnės Mn – 46,0 mg·kg⁻¹, Th – 1,9 mg·kg⁻¹, Mg – 0,17 % ir Ti – 0,009 % koncentracijos. Didesnė nei kituose mėginiuose Ba koncentracija (10 mg·kg⁻¹) nustatyta ties Olando Kepure (61-oje vietoje). I Melnragės kranto ruožas išsiskyrė didesne Cu koncentracija – 0,62 mg·kg⁻¹ (73-ia vieta).

Tyrimo vieta



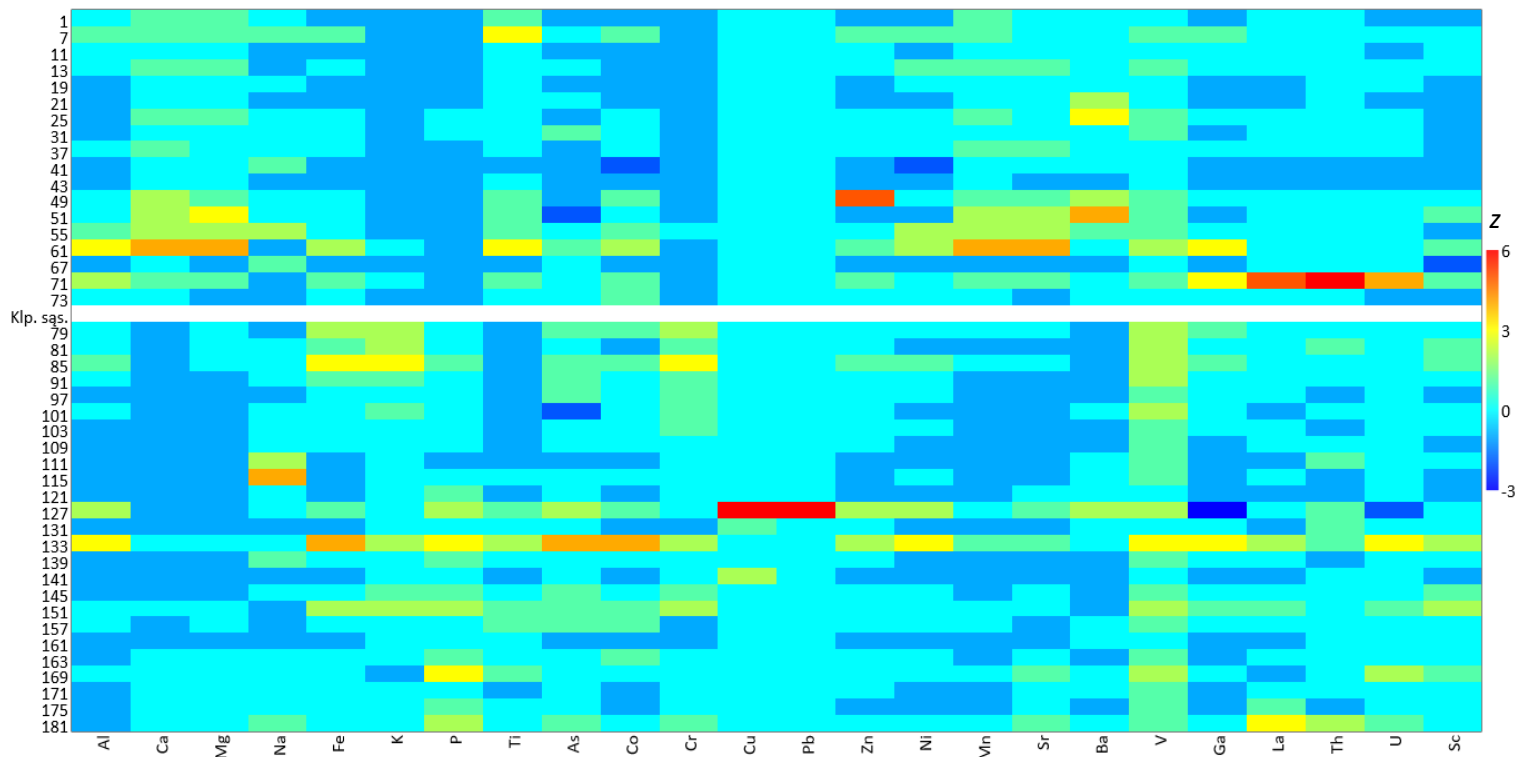
a.

Tyrimo vieta



b.

Tyrimo vieta



c.

4.13 pav. Makro- ir mikroelementų standartizuotų (z) verčių erdvinis pasiskirstymas Pietryčių Baltijos jūros kranto paplūdimio smėlio sąnašose: a) 2011, b) 2014, c) 2018 m.

Kuršių nerijoje labiausiai išsiskyrė 101-oji ėminio ėmimo vieta, esanti ties Alksnyne, kur vidutines koncentracijas reikšmes gerokai viršijo daugelis analizuotų elementų: Pb ($3,7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), Zn ($11,9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), Ni ($2,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), Co ($1,8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), Fe (1,1 %), As ($2,7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), U ($0,7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), Th ($2,1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), Sr ($21,3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), V ($12,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), P (0,14 %), La ($14,3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), Cr ($18,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), Mg (0,19 %), Al (0,25 %), Na (0,014 %), K (0,39 %), Ga ($1,4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) ir Sc ($1,2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Kadangi daugelio elementų koncentracijos buvo didesnės nei kitose vietose, šis ėminys iš tolesnės analizės buvo pašalintas

Kuršių nerijos jūros kranto ruože tarp Alksnynės ir Juodkrantės didesne Na koncentracija (0,014 %) išsiskyrė 109-as ėminys. Tačiau didesnis elementų išskirčių kiekis buvo nustatytas 111-ame ėminyje: Co ($1,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), Fe (0,59 %), U ($0,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), V ($7,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), Cr ($9,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), Al (0,15 %), K (0,21 %) ir Sc ($0,7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Paplūdimyje ties Pervalka (145-a vieta) buvo išmatuotos gerokai didesnės Pb ($2,6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), U ($0,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), P (0,09 %), La ($9,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), Ti (0,008 %) ir Na (0,014 %) koncentracijos. Didesnė Na (0,017 %) koncentracija buvo nustatyta 163-iam ėminyje, kuris buvo paimtas piečiau Preilos gyvenvietės.

Palyginus tarpusavyje 2011 ir 2014 m. rezultatus, nustatyta, kad žemyno kranto ruože tarp Lietuvos ir Latvijos sienos ir Šventosios Cu koncentracija padidėjo apie šešis kartus iki $3,3$ ir $4,1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (1-oje ir 7-oje ėminių ėmimo vietose). Išskirtinės Cu koncentracijos $3,9$ ir $3,3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ išmatuotos 13-ame ir 25-ame ėminyje, piečiau Šventosios ir ties Kunigiškėmis. Kranto ruože tarp Palangos ir Šaipių išmatuota padidėjusi Th koncentracija – $2,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (41-as ėminys), o 49-ajame ėminyje didesnėmis koncentracijomis išsiskyrė Mn ($54,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), Sr ($24,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), Ca (1,78 %), Mg (0,23 %) ir Ba ($17,1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$).

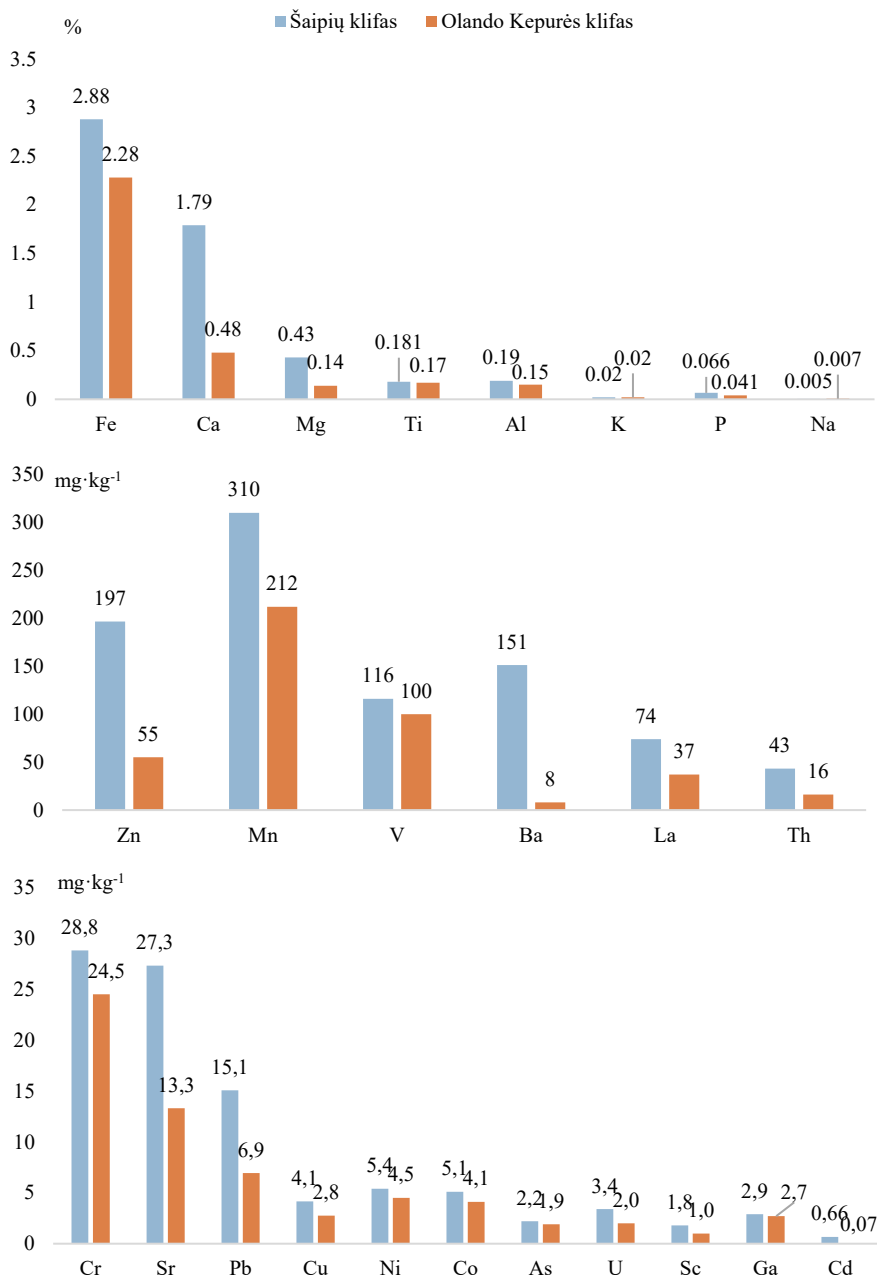
2014 m. moreninių klifų kranto ruože (51-as ir 55-as ėminiai) išsiskyrė Mn ($66,0$ ir $52,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), Sr ($22,0$ ir $23,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), Ca (1,5 ir 1,4 %) ir Mg (0,2 % abiejose vietose) koncentracijos. Ties Šaipiais (51-as ėminys) išskirtinės buvo Co ($0,8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), V ($8,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), Ba ($21,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), Ti (0,017 %) ir Sc ($0,6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) koncentracijos. Šiais metais padidėjusi Zn koncentracija ($13,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) buvo nustatyta ties Giruliais (67-as ėminys), o ties Melnrage (73-ias ėminys) – Al (0,11 %) ir Ga ($0,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) koncentracijos. Kuršių nerijos jūros kranto paplūdimio sąnašose 2014 m. didesnė nei įprastai Th koncentracija ($2,3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) nustatyta ties Koppaliu (79-as ėminys). Didesnėmis Co ($0,7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), Fe (0,33 %), As ($1,3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), Cr ($5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) ir K (0,09 %) koncentracijomis išsiskyrė kranto ruožas tarp Alksnynės ir Juodkrantės (109-as ėminys). Gausiausiai elementų išskirčių, t. y. Pb ($2,7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), Ni ($1,1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), Co ($0,8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), Fe (0,42 %), As ($1,3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), U ($0,6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), Th ($2,4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), V ($6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), P (0,10 %), La

(12,9 mg·kg⁻¹), Cr (6,5 mg·kg⁻¹), Al (0,11 %), K (0,13 %), Ga (0,6 mg·kg⁻¹) ir Sc (0,7 mg·kg⁻¹), nustatyta ties Pervalka (145-as ėminys). Vieta ties Nida (175-as ėminys) išsiskyrė tik didesnėmis U (0,5 mg·kg⁻¹) ir P (0,09 %) koncentracijomis.

2018 m. įvertinus makro- ir mikroelementų pasiskirstymą visame Baltijos jūros krante, buvo nustatyti keli kranto ruožai arba vietos, kur koncentracijos buvo išskirtinai didelės. Žemyno krante Ti (0,008 %) išskirtinė koncentracija išmatuota Būtingės–Šventosios ruože (7-as ėminys), Ba (13,2 ir 15,1 mg·kg⁻¹) – Užkanavės–Kunigiškių (21-as ir 25-as ėminiai), o Zn (10,7 mg·kg⁻¹) – Nemirsetos–Šaipių kranto ruožuose. Klifų ruožas išsiskyrė padidėjusiomis Ca (1,6 %), Mg (0,22 %) ir Ba (21,4 mg·kg⁻¹) koncentracijomis ties Šaipių klifu (51-as ėminys), Ca (1,4 %) ir Na (0,06 %) koncentracija didesnė buvo Šaipių–Olando Kepurės ruože, o ties Olando Kepure buvo nustatytos padidėjusios Ni (1,1 mg·kg⁻¹), Co (0,7 mg·kg⁻¹), Mn (82,0 mg·kg⁻¹), Sr (31,0 mg·kg⁻¹), Ca (2,3 %), Mg (0,3 %), Ti (0,008 %), Al (0,12 %) ir Ga (0,6 mg·kg⁻¹) koncentracijos (61-as ėminys). Girulių–Melnragės kranto ruože nustatytos padidėjusios U (0,8 mg·kg⁻¹), Th (4,2 mg·kg⁻¹), La (14,3 mg·kg⁻¹) ir Ga (0,6 mg·kg⁻¹) koncentracijos (71-as ėminys).

2018 m. Kuršių nerijos jūros kranto sąnašose nustatytos elementų išskirtys pasiskirsčiusios labai nevienodai. Vienuose kranto ruožuose išsiskiria vienas elementas, o kituose ruožuose nustatomos daugelio elementų išskirtys. Pavyzdžiui, Kopgalyje (79-as ėminys) išsiskyrė tik Cr (4,2 mg·kg⁻¹), ties Juodkrante ir šiauriau jos (111-as ir 115-as ėminiai) dominavo didesnė Na (0,06 ir 0,10 %) koncentracija, o ties Smiltyne (85-as ėminys) – Fe (0,32 %), V (4,0 mg·kg⁻¹), Cr (5,3 mg·kg⁻¹) ir K (0,1 %) koncentracijos. Išskirtinai didelės Cu (9,3 mg·kg⁻¹), Pb (43,5 mg·kg⁻¹), As (1,5 mg·kg⁻¹) ir Al (0,11 %) koncentracijos nustatytos ties Juodkrante (127-as ėminys). Šis ėminys tolesnėje analizėje nenaudotas.

Elementų gausa pasižymėjo tarp Juodkrantės ir Preilos paimtas 133-ias ėminys, kuris išsiskyrė Ni (1,3 mg·kg⁻¹), Co (1 mg·kg⁻¹), Fe (0,38 %), As (2 mg·kg⁻¹), U (0,7 mg·kg⁻¹), V (5,0 mg·kg⁻¹), P (0,10 %), Cr (4,3 mg·kg⁻¹), Al (0,12 %), K (0,09 %), Sc (0,5 mg·kg⁻¹) ir Ga (0,6 mg·kg⁻¹) koncentracijomis. Pervalkos–Preilos kranto ruože (151-as ėminys) nustatytos didelės V (4,0 mg·kg⁻¹), Cr (4,4 mg·kg⁻¹), K (0,09 mg·kg⁻¹) ir Sc (0,5 mg·kg⁻¹) koncentracijos. Atskirai verta paminėti, kad tarp Preilos ir Nidos (169-as ėminys) buvo nustatyta išskirtinė P (0,08 %) koncentracija, o Nidos–Lietuvos sienos su Rusija kranto ruože (181-as ėminys) – La (10,6 mg·kg⁻¹) koncentracija.



4.14 pav. Šaipių ir Olando Kepurės klifų moreninių nuogulų geocheminė sudėtis.

Kadangi visais metais žemyno krante labiausiai išsiskyrė klifų ruožas (tarp 49-os ir 61-os ėminių ėmimo vietų), buvo nuspręsta išsamiau paanalizuoti moreninių klifų nuogulų geocheminę sudėtį (4.14 pav.). Tyrimų rezultatai parodė, kad Šaipių klifo nuogulose Zn (197 mg·kg⁻¹) ir Ca (1,8 %)

koncentracija buvo daugiau nei tris kartus didesnė nei Olando Kepurės klifo nuogulose (atitinkamai $55 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 0,5 %). Šaipių klife taip pat nustatyta kelis kartus didesnė Ba ($151 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Šaipių klife ir $8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Olando Kepurės klife), Mg (0,4 ir 0,1 %), Mn ($310,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ir $212,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), Th ($43,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ir $16,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), La ($74,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ir $37,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), Sr ($27,2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ir $13,3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), Pb ($15,1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ir $6,9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) ir kitų elementų koncentracija (4.14 pav.).

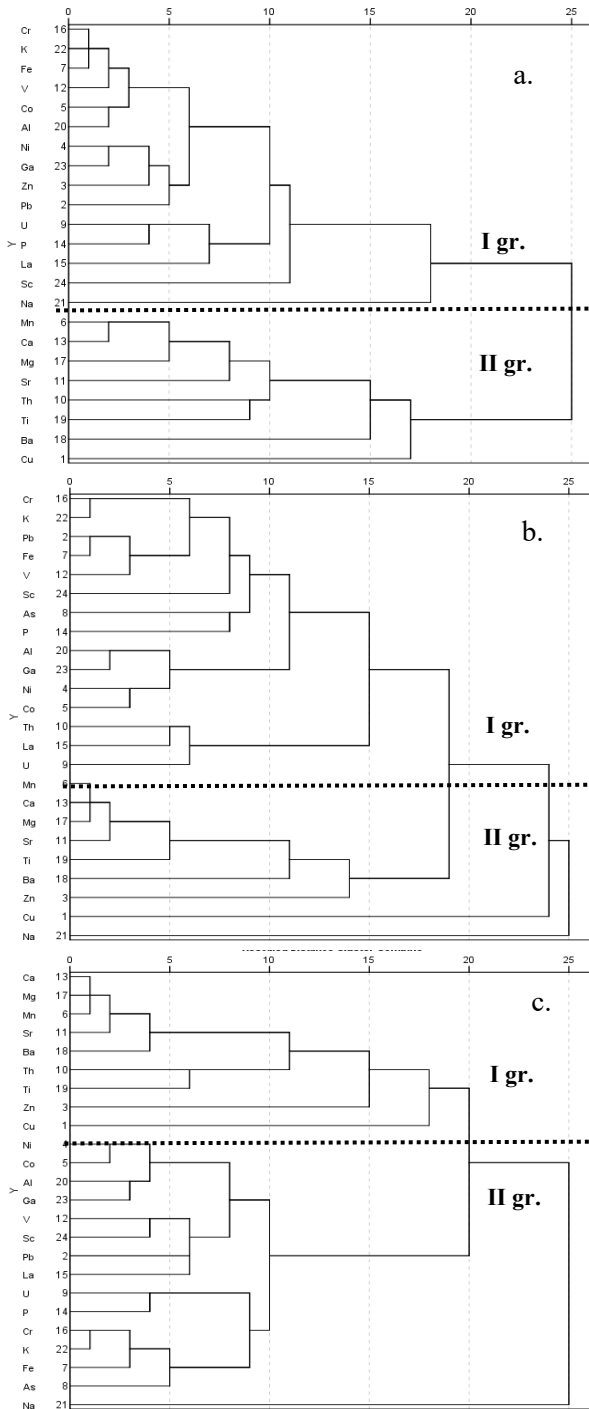
Abiejų klifų nuogulose kelių elementų koncentracija buvo panaši arba sutapo: Ti – 0,18 % ir 0,17 %; Al – 0,19 ir 0,15 %; V – 116 ir 110 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; As – 2,2 ir 1,9 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; Ga – 2,9 ir 2,7 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ir K – 0,02 % atitinkamai Šaipių ir Olando Kepurės klifuose.

4.2.2 Elementų grupės ir asociacijos

Atlikus klasterinę analizę nustatyta, kad visais tyrimų metais išsiskyrė dvi pagrindinės elementų grupės (4.15 pav.). 2011 m. pirmąją grupę sudarė du pogrupiai. Pirmąjį pogrupį sudarė: 1) Cr, K, Fe, V, Co, Al ir 2) Ni, Ga, Zn, Pb, o antrąjį pogrupį – U, P, La ir Sc. Natris buvo priskirtas pirmajai grupei, tačiau glaudesnių ryšių su kitais elementais nesudarė. Antrąją grupę sudarė 1) Mn, Ca, Mg, Sr ir 2) Th ir Ti pogrupiai. Ba ir Cu priskirti antrajai grupei, tačiau, kaip ir Na, glaudesnių ryšių su kitais elementais nesudarė.

2014 m. taip pat galima išskirti dvi grupes. Pirmoje grupėje elementai pasiskirstė taip: 1) Ca, Mg, Mn, Sr ir Ba; 2) Th ir Ti, o Zn ir Cu glaudesnių ryšių su kitais šios grupės elementais nesudarė. Antroje grupėje buvo išskirti du pogrupiai, pirmajame elementai pasiskirstė taip: 1) Ni, Co, Al, Ga ir 2) V, Sc, Pb ir La. Antrajame pogrupyje – 1) U ir P, 2) Cr, K, Fe, ir As. Na nesudarė glaudesnių ryšių su kitais elementais.

2018 m., kaip ir ankstesniais tyrimo metais, išsiskyrė elementų grupės. Pirmoje grupėje buvo galima išskirti tris pogrupius. Pirmajame pogrupyje išsiskyrė šių elementų grupė: Cr, K, Pb, Fe, V (Sc), antrame – As ir P; atskirai galima išskirti Al, Ga, Ni ir Co grupę. Trečiajame pogrupyje išsiskyrė Th, La ir U. Antroje grupėje Mn, Ca, Mg ir Sr suformavo vieną elementų eilę, Ti, Ba ir Zn nesudarė atskirų ryšių su kitais elementais, bet buvo priskirti antrajam pogrupiui. Labiausiai iš bendros imties išsiskyrė Cu ir Na. Todėl į pagrindinių komponentų analizę (PKA) neįtrauktas Na, nes jis mažino šios analizės patikimumą (KMO koeficientą), Cu paliktas kaip analizuojamas antropogeninės kilmės metalas.



4.15 pav. Elementų, nustatytų paplūdimio sąnašose, klasterinė analizė: a) 2011, b) 2014, c) 2018 m.

Pagrindinių komponentių analizė (PKA) buvo naudojama, siekiant sumažinti analizuojamų kintamųjų skaičių, nustatyti elementų grupes. Visais tyrimo metais buvo nustatytos keturios pagrindinės komponentės, kurių tikrinės reikšmės didesnės negu 1. Veiksnių matrica buvo gauta naudojant *varimax* sukimą. Dominavo dvi komponentės, kurios charakterizavo Kuršių nerijos ir žemyno kranto paplūdimio smėlio sąnašų geocheminę sudėtį. 2011 m. keturios pagrindinės komponentės (PK), kurių tikrinės reikšmės didesnės negu 1, paaiškina 86,8 % bendrosios kintamųjų dispersijos. 2014 m. ir 2018 m. taip pat buvo išskirtos keturios pagrindinės komponentės, kurių tikrinės reikšmės didesnės nei 1, jos paaiškina 83,5 ir 82,2 % bendrosios kintamųjų dispersijos.

4.2 lentelėje parodyta, kokią bendrosios kintamųjų dispersijos dalį paaiškina kiekviena pagrindinė komponentė ir kokią suminę bendrosios kintamųjų dispersijos dalį paaiškina pirmosios pagrindinės komponentės.

4.2 lentelė. Bendrosios dispersijos paaiškinimas 2011, 2014 ir 2018 m.

Komponentė	Pradinės tikrinės reikšmės			Tikrinės reikšmės po pasukimo		
	Bendras	% nuo dispersijos	Kaupiamasis %	Bendras	% nuo dispersijos	Kaupiamasis %
2011						
PK1	11,7	50,9	50,9	9,8	42,8	42,8
PK2	5,3	23,3	74,2	5,3	23,8	65,9
PK3	1,7	7,4	81,7	2,8	12,2	78,2
PK4	1,1	5,0	86,8	1,9	8,7	86,8
2014						
PK1	10,2	44,5	44,5	8,2	35,7	35,7
PK2	5,9	25,9	70,4	5,7	24,9	60,6
PK3	1,8	7,8	78,3	3,4	14,8	75,4
PK4	1,2	5,2	83,5	1,8	8,0	83,5
2018						
PK1	10,1	44,1	44,1	8,1	35,1	35,1
PK2	5,6	24,4	68,5	6,5	28,2	63,4
PK3	2,0	8,6	77,1	3,0	13,1	76,5
PK4	1,2	5,1	82,2	1,3	5,7	82,2

Stulpeliuose reikšmės po pasukimo nurodo, kokią bendrosios kintamųjų dispersijos dalį paaiškina kiekviena pagrindinė komponentė ir kokią suminę bendrosios kintamųjų dispersijos dalį paaiškina pirmosios pagrindinės komponentės galutiniame rezultate po komponentų apkrovų matricos sukimo.

2011 m. pirmosios komponentės (PK1) tikrinė reikšmė siekė 11,7 ir paaiškino 50,9 % bendrosios dispersijos (4.2 lentelė). PK1 sudarė Fe-Zn-Al-Ni-Co-As-Ga-Cr-K-Pb-V-La-(U-P-Sc) elementų grupę (4.16 ir 4.17 pav.). Antrosios komponentės (PK2) tikrinė vertė – 5,3 ir ji paaiškino apie 23 % bendrosios kintamosios dispersijos, o šią grupę daugiausia sudarė Mn-Ca-Mg-Th-Sr-Ti-Ba-Cu. PK3 grupę sudarė La-U-P, o ketvirtąją PK4 – Sc-K, neigiama apkrovos reikšmė – Cu.

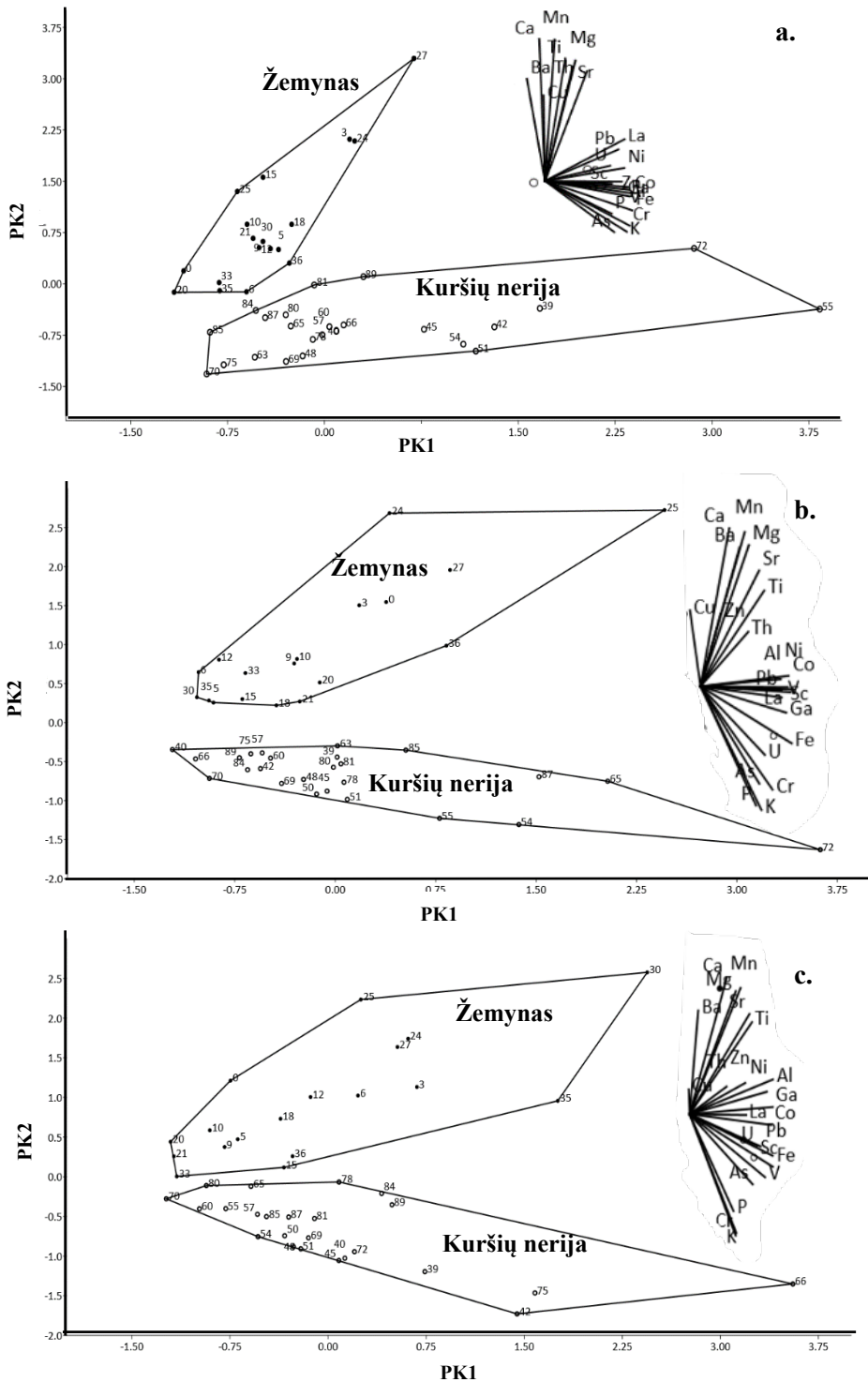
2014 m. pirmosios komponentės (PK1) tikrinė reikšmė 10,2 paaiškina 44,5 % bendrosios dispersijos (4.2 lentelė). PK1 elementų grupę sudaro Fe-Ga-As-Co-K-Cr-Al-Ni-Sc-V-Pb-P (4.16 ir 4.17 pav.). PK2 tikrinė reikšmė siekė apie 5,9 ir ši komponentė apibūdino 25,9 % bendrosios dispersijos, o grupę sudaro šie elementai – Ca-Mg-Mn-Ba-Sr-Ti. Trečiąją komponentę sudaro Th-La-Ti-U-Pb, o ketvirtąją – Cu ir Zn.

2018 m. PK1 komponentės tikrinė vertė siekė 10,1 ir sudarė 44,1 % bendrosios dispersijos. Šią grupę sudaro Fe-V-Cr-Pb-K-As-Co-P-Sc-Ni-Ga-Al-U (4.16 ir 4.17 pav.). Antrosios komponentės tikrinė vertė buvo panaši kaip ir kitais metais, apie 5,6, ir apibūdino apie 24,4 % bendrosios dispersijos. PK2 sudarė elementų Mn-Ca-Mg-Sr-Ti-Ba-Al-(Zn-Ni) grupę. Trečiąją grupę – PK3 – sudarė Th-La-U-Ga, o Cu išsiskyrė iš visų elementų ir sudarė ketvirtąją komponentę. Detalesnė pagrindinių pirmųjų komponentių – PK1 ir PK2 – analizė parodė, kad visais tiriamaisiais metais pirmosios komponentės elementai būdingesni Kuršių nerijai (pagrindiniai elementai Fe-Al-Ni-Co-As-Ga-Cr-K-Pb-V-P-Sc), o antrosios – žemynui (pagrindiniai elementai Mn-Ca-Mg-Sr-Ti-Ba) (4.15 pav.).

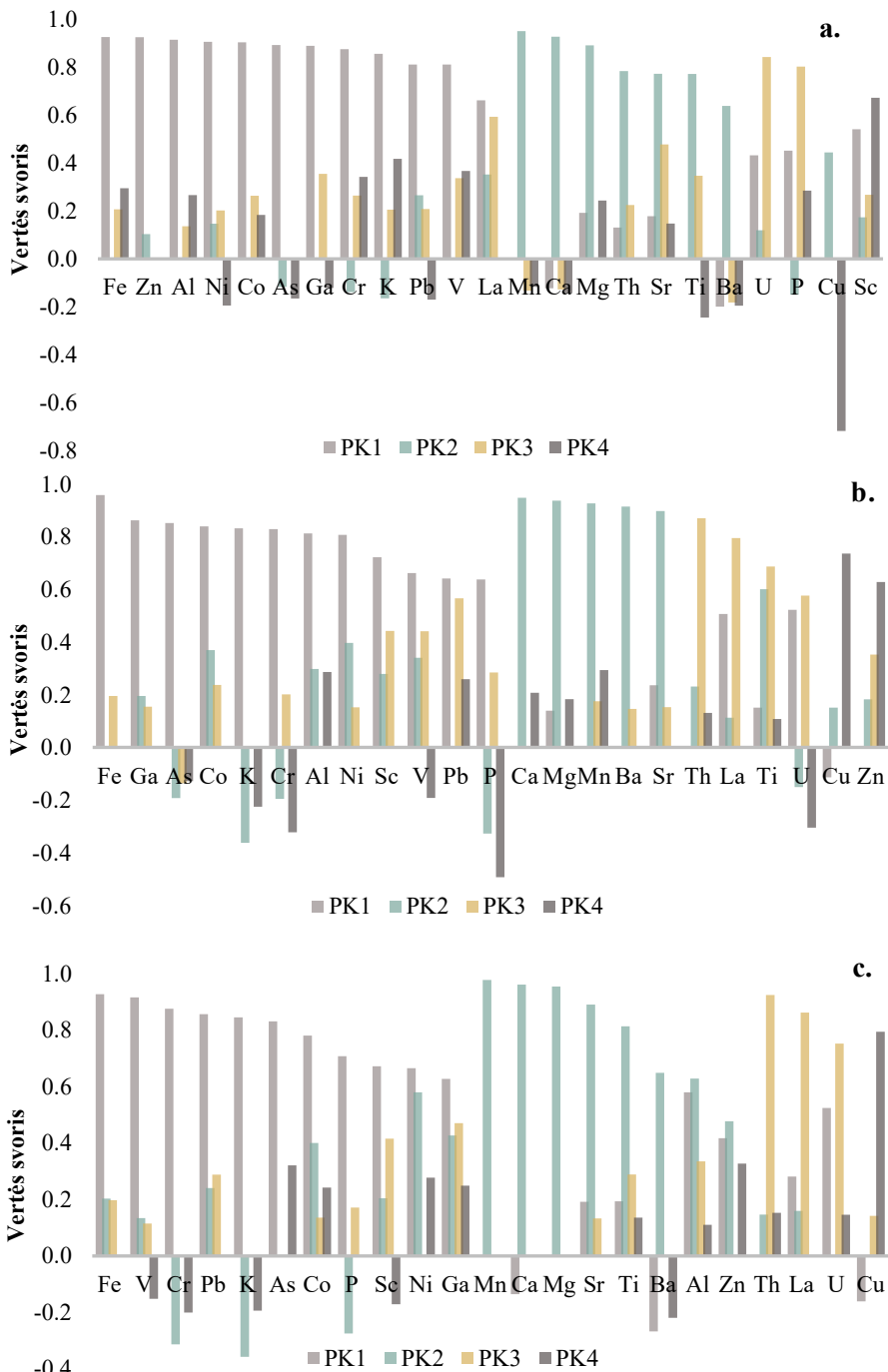
Tiesa, tik 2011 m. aiškiai išsiskyrė elementų grupės PK1 ir PK2. 2014 m. ir 2018 m. tokio išreikšto elementų susigrupavimo kaip 2011 m. neliko. 2014 m. Th suformavo elementų grupę su La-Ti-U, kurie taip pat priklausė kitoms elementų asociacijoms, o Cu su Zn buvo priskirti atskirai komponentei. 2018 m. Cu liko nepriskirtas nė prie vienos iš pagrindinių komponentių (4.17 pav.).

Elementų santykis gali atskleisti skirtumus tarp skirtingų vietų arba padėti nustatyti galimus elementų ar sąnašų šaltinius (Lopez ir kt., 2006). Todėl, remiantis 2018 m. rezultatais, nuspręsta išanalizuoti, kaip išilgai kranto kinta Ti/Al ir Ca/Mg santykis (4.18 pav.).

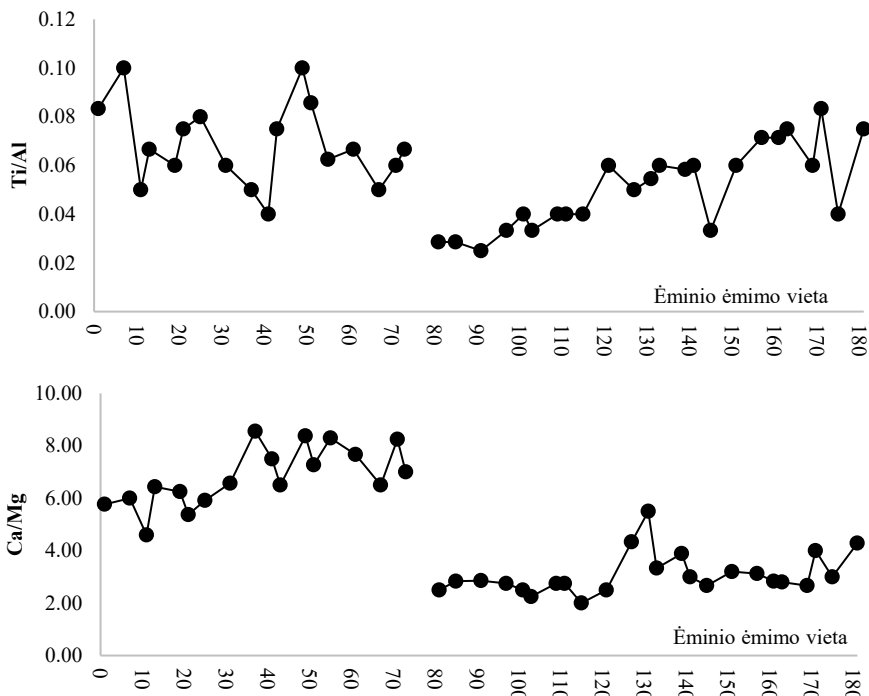
Manoma, kad Ti/Al santykis linkęs mažėti, tolstant nuo sąnašų šaltinio, nes pernašos metu vyksta sunkiųjų mineralų diferenciacija pagal tankį (Chen ir kt., 2013). Tyrimo metu Ti/Al santykio pasiskirstymas Kuršių nerijos ir žemyno krante skyrėsi. Kuršių nerijos krante Ti/Al santykis reikšmingai mažėjo siaurės kryptimi ($r = -0,82$) (4.18 pav.). O žemyno krante Ti/Al santykis buvo didesnis ($0,068 \pm 0,004$) nei Kuršių nerijos krante ($0,052 \pm 0,004$), tačiau jo kaitos tendencija buvo nereikšminga. Tai gali rodyti, kad žemyno krante yra ne vienas pirminis nešmenų šaltinis.



4.16 pav. Ėminių ėmimo vietų ir elementų pasiskirstymas pagal pagrindinių komponentių PK1 ir PK2 reikšmes: a) 2011, b) 2014, c) 2018 m.



4.17 pav. Elementų svorių pasiskirstymas atlikus pagrindinių komponentių analizę (PKA) tarp skirtingų komponentių (PK) po *varimax* pasukimo: a) 2011, b) 2014, c) 2018 m.



4.18 pav. Ti/Al ir Ca/Mg santykio paplūdimio šašašose pasiskirstymas išilgai Baltijos jūros kranto. Modifikuota autorės pagal Karlonienė ir kt., 2021b.

Ca/Mg santykis, kaip ir prieš tai analizuotas Ti/Al santykis, skyrėsi žemyno ir Kuršių nerijos jūros kranto šašašose. Žemyno krante jis buvo beveik du kartus didesnis (vidurkis 6,77, $\sigma = 1,10$) nei Kuršių nerijoje (vidurkis 3,00, $\sigma = 0,60$). Paplūdimio šašašose Ca kiekis žemyno krante buvo didesnis nei Mg, o santykio reikšmė mažėjo šiaurės kryptimi ($r = -0,66$) (4.18 pav.). Nerijos krante nebuvo pastebėta jokių reikšmingų Ca/Mg santykio kitimo tendencijų, gal tik aptiktas išskirtinis padidėjimas ties Juodkrantės ruožu ir Kuršių nerijos pietinės dalies kranto ruože tarp Nidos ir Lietuvos sienos su Rusija.

4.2.3 Galimai pavojingų elementų koncentracijos koeficientai

Šioje dalyje analizuojami pasirinkti aštuoni galimai pavojingi cheminiai elementai (**Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, Cr, As** ir **Co**) ir jų koncentracijos pokyčiai išilgai Baltijos jūros kranto. Į analizę nėra įtraukti 2011 m. – 101-as ėminys, o 2018 m. – 127-as ėminys dėl itin išsiskyrusių elementų koncentracijos iš bendros imties.

4.3 lentelė. Pietrytinės Baltijos jūros Lietuvos kranto paplūdimyje surinktų paviršinių sąrašų mikroelementų koncentracija ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) 2011, 2014 ir 2018 m.

Elementas	Metai	N	Vidurkis	σ	Mediana	Min-Max
Cu	2011	42	0,32	0,13	0,30	0,17–0,70
	2014	43	0,77*	1,01	0,40	0,16–4,15
	2018	42	0,44	0,54	0,28	0,14–3,10
Pb	2011	42	1,29	0,42	1,18	0,70–2,59
	2014	43	1,42*	0,34	1,34	0,89–2,69
	2018	42	1,01	0,24	0,96	0,70–1,80
Zn	2011	42	3,61	1,09	3,20	2,20–6,40
	2014	43	4,48*	1,73	4,30	2,70–13,00
	2018	42	3,39	1,44	2,95	1,90–10,70
Ni	2011	42	0,64	0,18	0,60	0,40–1,10
	2014	43	0,70*	0,16	0,70	0,50–1,10
	2018	42	0,61	0,19	0,60	0,30–1,30
Co	2011	42	0,40	0,15	0,40	0,20–1,00
	2014	43	0,43	0,14	0,40	0,30–0,80
	2018	42	0,41	0,14	0,40	0,20–1,00
Mn	2011	42	19,88	8,06	19,00	10,00–46,00
	2014	43	23,70	12,43	20,00	10,00–66,00
	2018	42	24,12	15,14	21,00	8,00–82,00
As	2011	41	0,79	0,36	0,70	0,20–1,70
	2014	43	0,73	0,20	0,70	0,40–1,30
	2018	42	0,70	0,34	0,70	0,10–2,00
Cr	2011	43	2,62	1,62	2,05	1,00–9,00
	2014	43	2,55	1,23	2,10	1,10–6,50
	2018	42	2,15	1,04	1,70	0,08–5,30

* reikšmingas vidurkių skirtumas, kai $p < 0,05$.

Palyginus pasirinktų elementų koncentraciją atskirais metais buvo nustatyta, kad 2014 m. reikšmingai padidėjo Cu, Pb, Zn ir Ni koncentracija (4.3 lentelė). 2014 m. dideli vario koncentracijos pokyčiai nustatyti kranto ruože tarp Lietuvos ir Latvijos sienos bei Šventosios (1-11-as ėminiai), o 2018 m. – Juodkrantės–Pervalkos kranto ruože (131-as ir 141-as ėminiai). Švino koncentracija 2014 m. buvo didesnė, palyginti su 2018 m., beveik visame krante, išskyrus Juodkrantės–Pervalkos ruožą (133-ą ir 151-ą ėminius). Palyginus Ni koncentraciją 2014 ir 2018 m. nustatyta, kad 2014 m. ji buvo didesnė, palyginti su 2018 m., išskyrus vietą ties Ošupio upeliu (21-as ėminys).

2014 m., palyginti su 2018 m., buvo nustatyta didesnė cinko koncentracija visuose ėminiuose, išskyrus kelis (49-ą, 67-ą, 85-ą ir 133-ią ėminius). 2014 m. didesnė cinko koncentracija buvo nustatyta ties Nemirseta, Giruliais, Smiltyne ir Juodkrantės–Pervalkos (Naglių gamtinio rezervato) kranto ruože.

Didesnė mangano koncentracija išmatuota 2018 m. 14-oje ėminių, o reikšmingas padidėjimas nustatytas ties Olando Kepure (61-as ėminys).

Taip pat didesnė Cr koncentracija 2018 m., palyginti su 2014 m., nustatyta 13-oje ėminių, o didžiausias skirtumas nustatytas Kopgalio–Smiltynės (79-as ir 85-as ėminiai) ir Juodkrantės–Preilos (133-ias ir 151-as ėminiai) kranto ruožuose. 2018 m. tie patys Kuršių nerijos kranto ruožai išsiskyrė didesne arseno koncentracija.

Tačiau palyginus 2014 ir 2018 m. duomenis, išryškėjo, kad arseno ir kobalto koncentracija 2018 m. padidėjo tik 11-oje ėminių. Didžiausias kobalto koncentracijos skirtumas nustatytas Juodkrantės–Preilos (133-ias ėminys) kranto ruože, tačiau net 17-oje ėminių koncentracijos nepakito.

Išanalizavus Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, Cr, As ir Co koncentracijos kaitą, atskirai buvo įvertintos jų santykių su mediana, t. y. koncentracijos koeficientų (K_k) pasiskirstymas Baltijos jūros kranto paplūdimių sąnašose. Atlikta analizė parodė, kad koncentracijos koeficientų pasiskirstymas tarp atskirų elementų labai skiriasi. Ėminiuose nustatytų elementų sancaupos nustatytos, kai K_k vertės buvo didesnės nei 1,5 (4.19 pav.).

Įvertinus vario K_k atskirais metais nustatyta, kad 2011 m. Cu sancaupų buvo penkiuose ėminiuose (1-ame, 7-ame, 49-ame, 55-ame ir 73-iame ėminiuose) žemyno krante, jie reprezentavo Lietuvos–Latvijos sienos – Šventosios moreninių klifų ir Melnragės kranto ruožus (4.19a pav., 3 priedas). 2014 m. padidėjusios Cu koncentracijos koeficientų (intervale 2–4) reikšmės nustatytos žemyno (51-as ėminys) ties Šaipiais ir Kuršių nerijos (127-as ir 157-as ėminiai) kranto ruožuose ties Juodkrante ir Preila. Keturios vario sancaupos pasitaikė 2018 m. Trys (49-as, 61-as, 71-as ėminiai) sancaupos nustatytos Nemirsetos–Girulių kranto ruože ir viena – Naglių gamtinio rezervato paplūdimyje piečiau Juodkrantės (133-ias ėminys). Reikia pažymėti, kad 2014 m. vario koncentracijos koeficientai viršijo 4,0 vertę penkiuose žemyno kranto ėminiuose (1-ame, 7-ame, 11-ame, 13-ame ir 25-ame), kurie reprezentavo Lietuvos–Latvijos sienos – Šventosios ir Kunigiškių kranto ruožus (4.19a pav., 3 priedas). 2018 m. analogišką vertę Cu koncentracijos koeficientai viršijo dviejuose ėminiuose (131-ame ir 141-ame), paimtuose iš Naglių gamtinio rezervato kranto ruožo.

Tyrimų rezultatai parodė, kad Mn koncentracijos koeficientai visais analizuojamais metais buvo didesni žemyno kranto, palyginti su Kuršių nerijos, paplūdimio sąnašose. Visais tiriamais metais didesni nei 1,5 Mn koeficientai nustatyti klifų ruože (tarp 49-os ir 55-os vietų) (4.19a pav., 3 priedas). 2011 m. didžiausi Mn koncentracijos koeficientai nustatyti teritorijoje tarp Lietuvos–Latvijos sienos – Šventosios (7-a vieta) ir klifų ruože (49-as ir 55-as ėminiai), kaip ir 2014 m. (7-oje, 49-oje, 51-oje ir 55-oje

vietose), o 2018 m. tik klifų ruože (49-oje, 51-oje, 55-oje ir 61-oje ėminių ėmimo vietoje) (4.19a pav., 3 priedas).

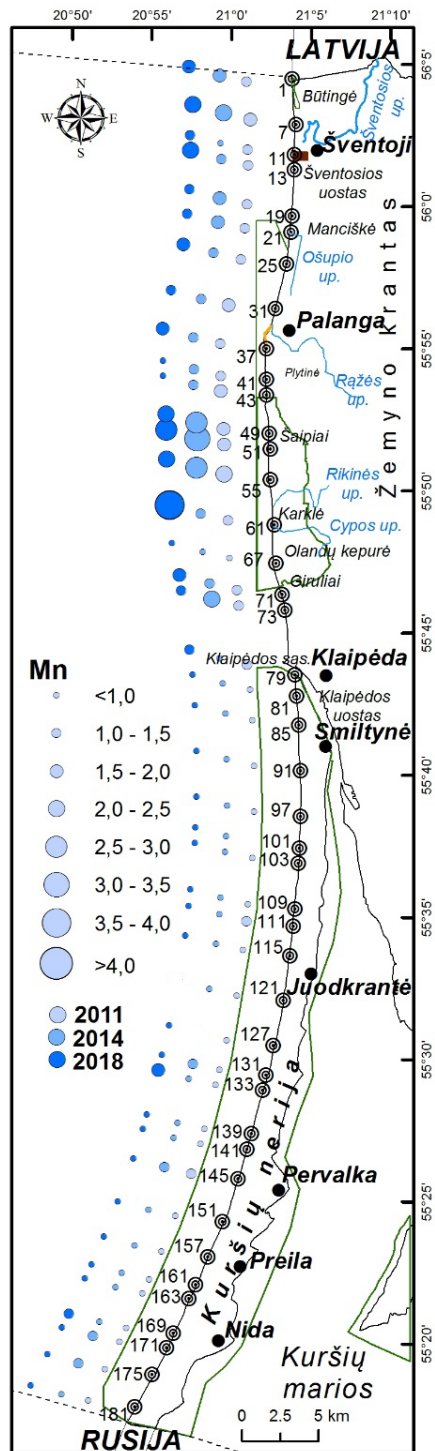
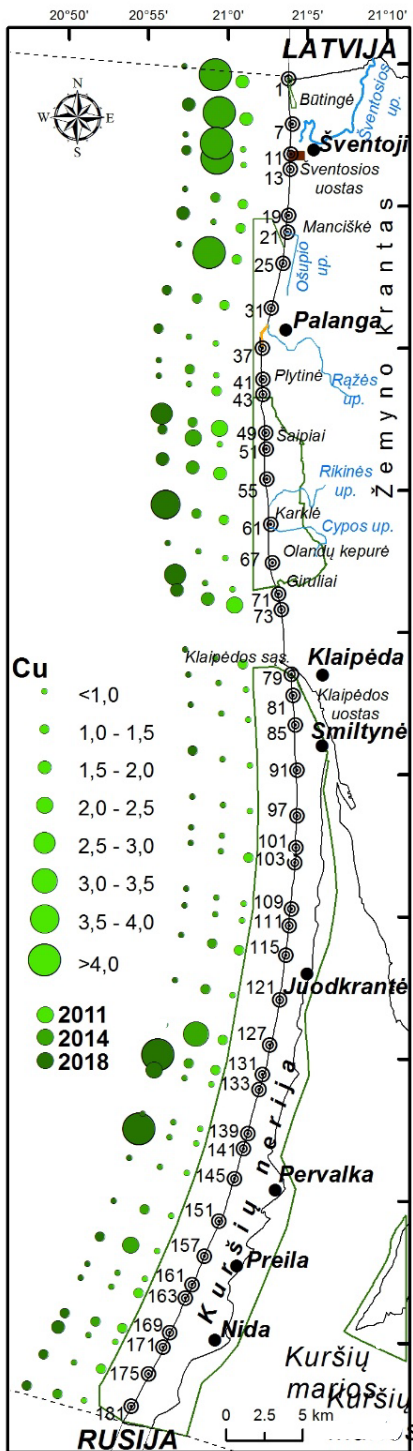
Priešingai nei Mn, chromo K_k vertės buvo didesnės Kuršių nerijos krante, palyginti su žemyno krantu. Galima paminėti, kad 2011 ir 2018 m. visais tyrimų metais Cr koncentracijos koeficientai didžiausi buvo Kuršių nerijos distalinėje dalyje, o 2014 m. sankaupos nustatytos centrinėje ir pietinėje Kuršių nerijos dalyje (4.19b pav.; 3 priedas). Be to, 2018 m. chromo K_k reikšmės buvo didesnės ne tik Kuršių nerijos distalinėje dalyje (Kopgalio–Alksnynės kranto ruožas) ir centrinėje dalyje, Naglių gamtinio rezervato kranto ruože, bet ir ties Nida (4.19b pav.).

Ne visi GPE jūros krante pasiskirsto tendencingai, pavyzdžiui, Zn atvejis. Tačiau 2014 m. padidėjusi cinko K_k (3,0) vertė nustatyta kranto ruože ties Giruliais (67-as ėminys), o 2018 m. – Nemirsetos–Girulių kranto ruože ($K_k = 3,6$; 49-as ėminys) (4.19b pav., 3 priedas). 2011 m. Zn sankaupos ($K_k > 1,5$) nustatytos aštuoniuose, 2014 m. keturiuose, o 2018 m. – šešiuose ėminiuose.

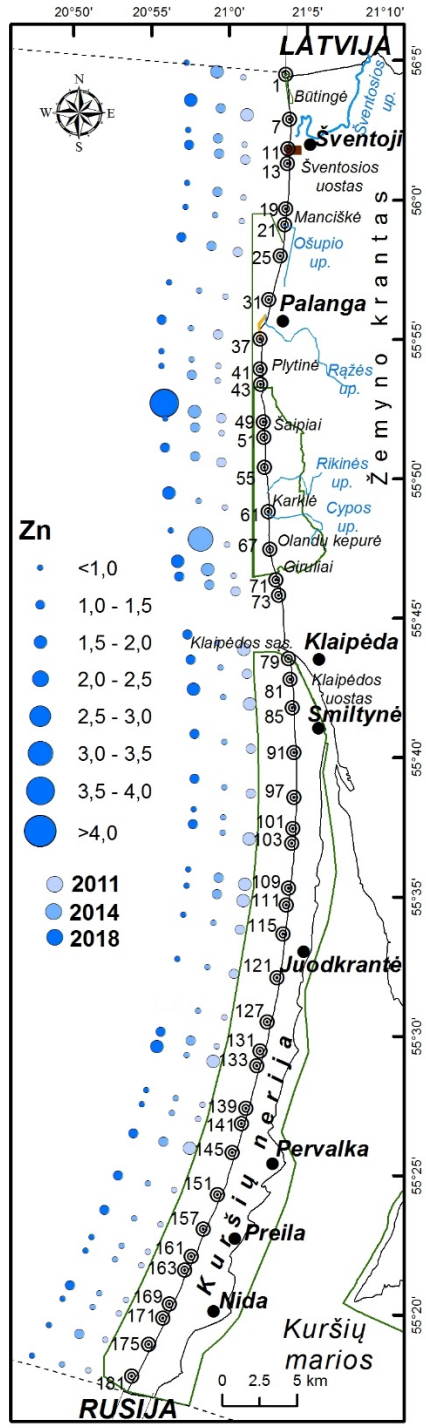
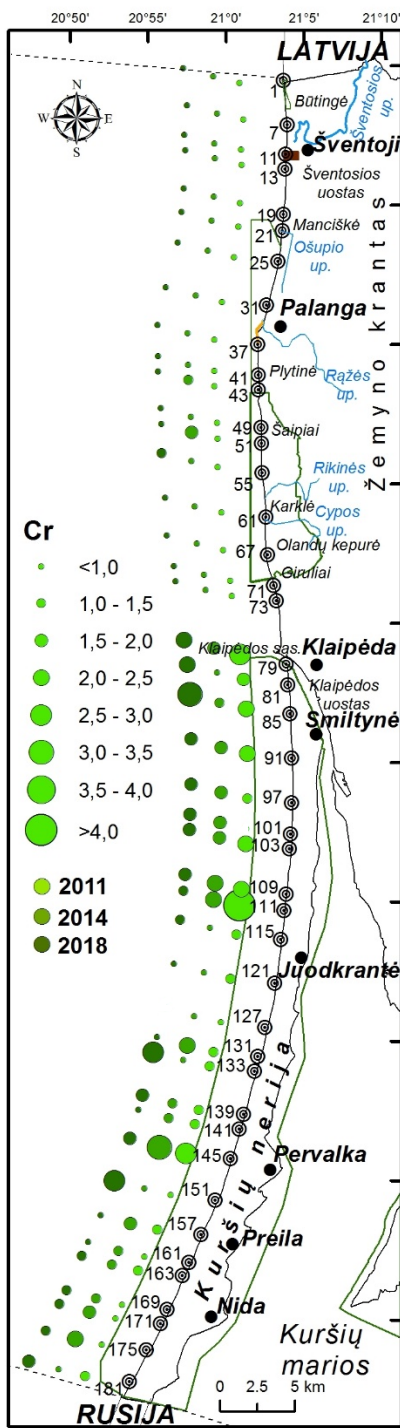
Arseno sankaupos ($K_k > 1,5$) nustatytos tik Kuršių nerijos jūros krante, tačiau kiekvienais metais jos buvo skirtinguose kranto ruožuose (4.19c pav., 4 priedas). Didesnės As K_k vertės 2011 m. nustatytos Kopgalio–Juodkrantės ir Pervalkos–Preilos kranto ruože. 2014 m. jos išsiskyrė Alksnynės–Juodkrantės ir Juodkrantės–Pervalkos, o 2018 m. – tik Juodkrantės–Pervalkos ruože.

Įdomu, kad kobalto sankaupos tyrimų laikotarpiu visą laiką buvo nustatytos tame pačiame Juodkrantės–Pervalkos kranto ruože. 2011 ir 2018 m. Co sankaupos buvo nustatytos tik Kuršių nerijos paplūdimiuose, o 2014 m. jų pasitaikė ir žemyno krante, ties Nemirseta (4.19c pav., 4 priedas).

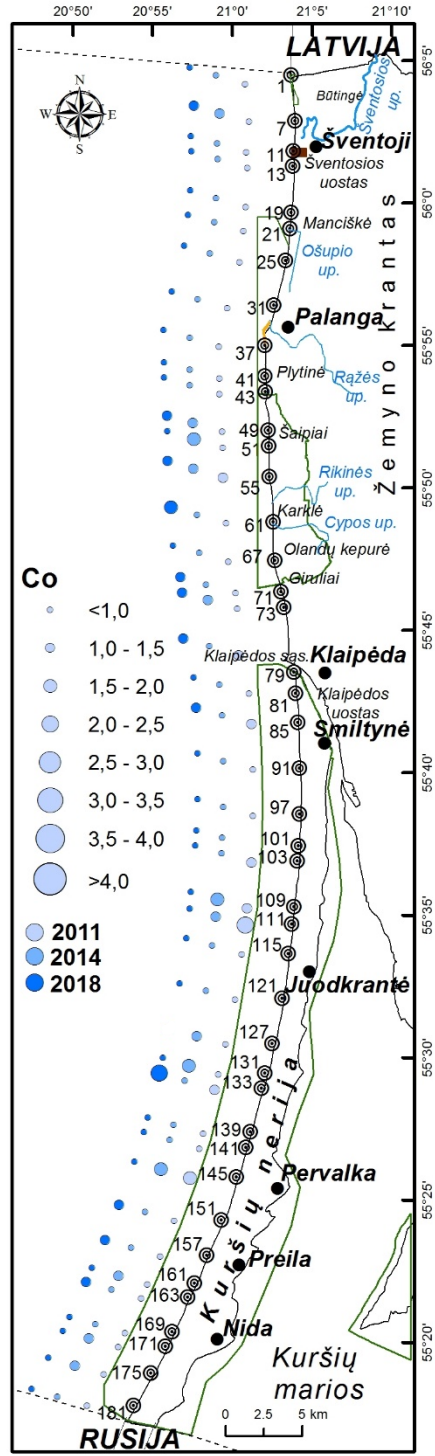
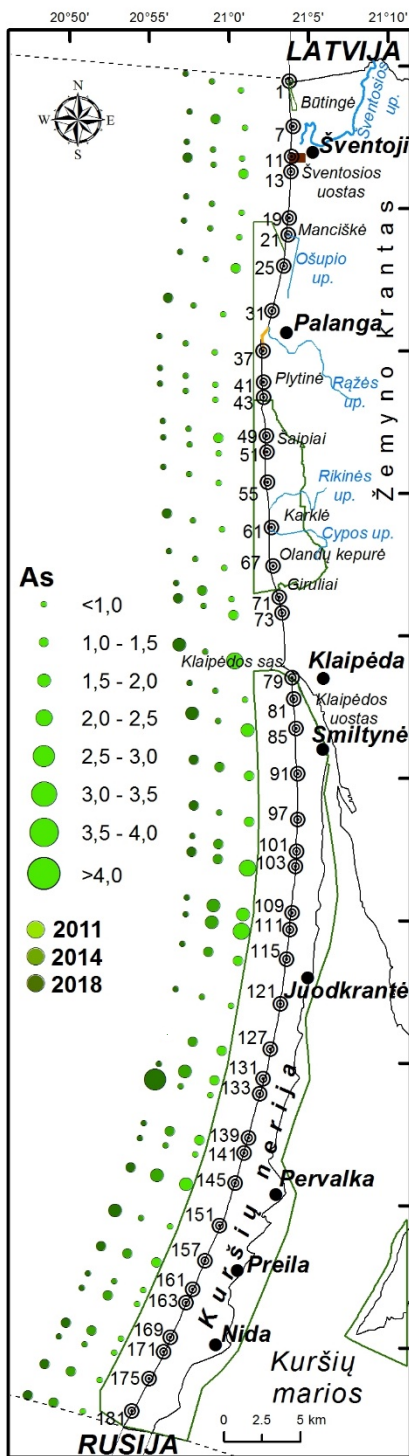
Apskaičiavus Pb koncentracijos koeficientus, šio elemento sankaupos 2011 ir 2014 m. fiksuotos tik ties Pervalka (4.19d pav., 4 priedas). Tame pačiame kranto ruože nustatytos didesnės Ni koncentracijos koeficientų reikšmės. Tačiau 2011 ir 2014 m. padidėjusios nikelio K_k reikšmės buvo nustatytos Kuršių nerijoje, o 2018 m. jos būdingos Šaiپیų–Olando Kepurės (moreniniai klifai) kranto ruože (55-as ir 61-as ėminiai) (4.19d pav., 4 priedas).



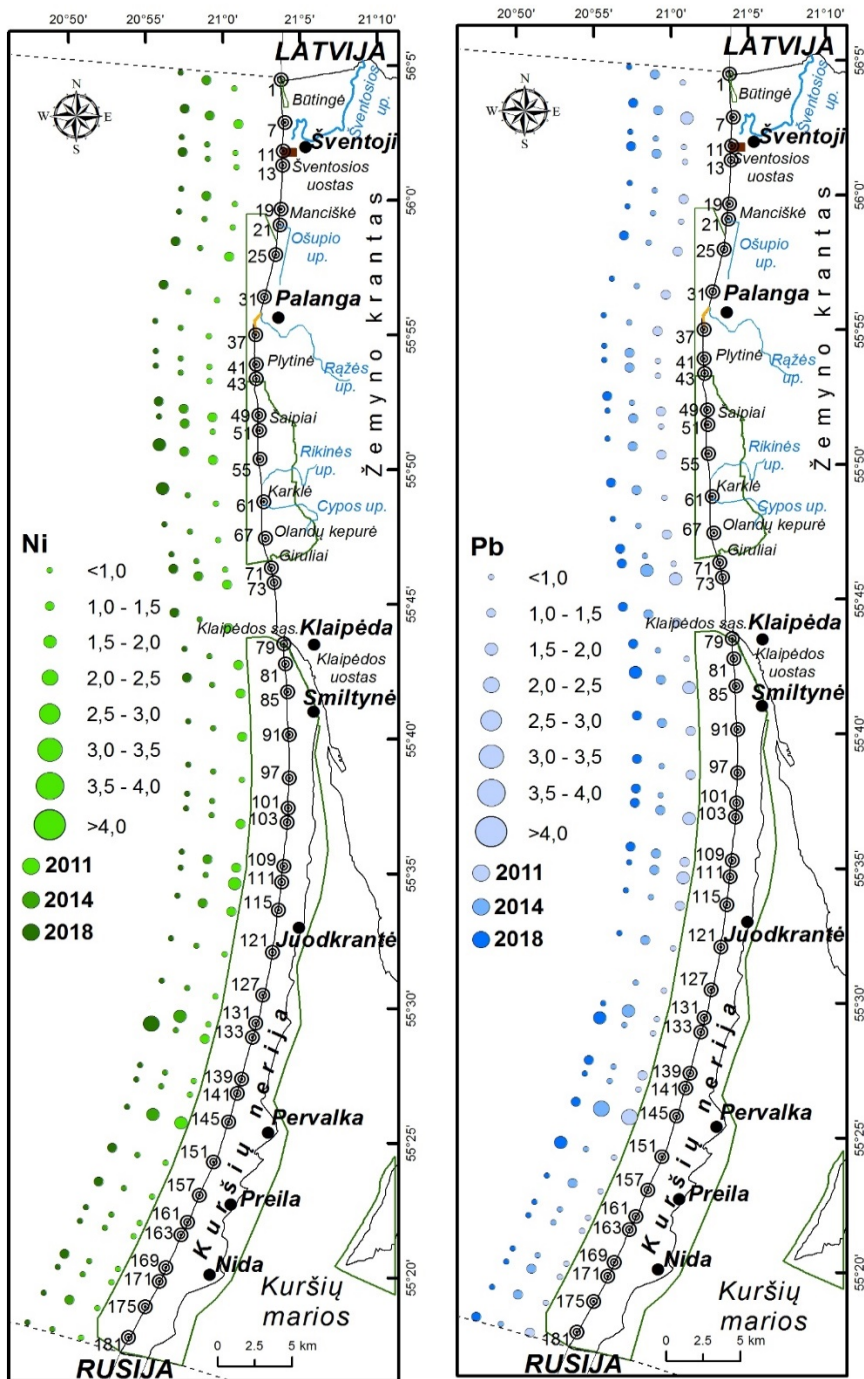
a.



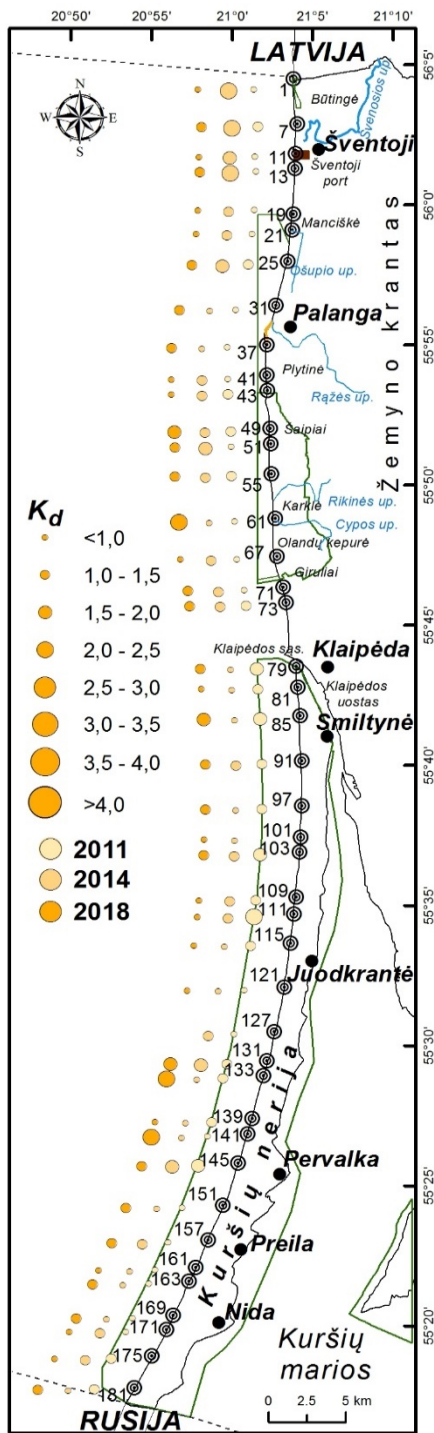
b.



c.



d.
 4.19 pav. Elementų a) Cu, Mn; b) Cr, Zn; c) As, Co; d) Ni, Pb koncentracijos koeficientų (K_k) pasiskirstymas išilgai Lietuvos pietryčių Baltijos jūros kranto. Modifikuotas autorės pagal Karlonienė ir kt., 2021a.



4.20 pav. Cu, Mn, Cr, Zn, As, Co, Ni, Pb vidutinio koncentracijos (K_d) koeficiento pasiskirstymas Lietuvos pietrytiniame Baltijos jūros krante. Modifikuotas autorės pagal Karlonienė ir kt., 2021a.

Apskaičiavus visų elementų koncentracijos koeficientų (K_d) vidurkį, nustatytos bendros galimai pavojingų cheminių elementų pasiskirstymo tendencijos (4.20 pav.). 2011 m. K_d reikšmių, didesnių nei 2, nenustatyta žemyno krante. Kuršių nerijos krante nustatytas K_d verčių didėjimas šiaurės kryptimi, vienoje vietoje $K_d > 2$ nustatyta šiauriau Juodkrantės (111-oji vieta). 2014 m. visų elementų koncentracijos koeficientai žemyno krante didėjo tendencingai šiaurės kryptimi; $K_d > 2$ nustatytos trijose vietose tarp pietinės Šventosios dalies ir Latvijos–Lietuvos sienos (1-oji, 7-oji ir 13-oji ėminių ėmimo vietos). 2018 m. žemyno krante buvo nustatyta priešingos krypties tendencija nei 2014 m., o $K_d > 2$ apskaičiuota klifų ruože netoli Olando Kepurės (61-oji tyrimo vieta). Kuršių nerijos jūros krante 2014 m. vidutinis koncentracijos koeficientas mažėjo šiaurės kryptimi, o K_d vertės nė vienoje vietoje neviršijo 2. Ir visai kita tendencija nustatyta 2018 m. – K_d reikšmės didėjo šiaurės kryptimi (4.20 pav.). Visgi K_d , didesnės nei 2, nustatytos dviejose vietose Juodkrantės ir Pervalkos ruože (133-ioji ir 141-oji tyrimo vietos).

4.3 Galimai pavojingų elementų, litologinių, geomorfologinių ir magnetinio imlumo veiksnių sąveika

Atlikus galimai pavojingų mikroelementų, granulimetrinių statistinių rodiklių, magnetinio imlumo ir paplūdimio smėlio sąnašų biudžeto koreliacinių ryšių analizę nustatyta, kad Cu koncentracija 2011 m. reikšmingai teigiamai koreliavo su MI reikšme ($r = 0,59$, $p < 0,01$) ir su sąnašų dalelių rūšiuotumu ($r = 0,40$, $p < 0,01$), o silpna neigiama koreliacija nustatyta su smėlio sąnašų biudžetu ($r = -0,31$, $p < 0,05$) (4.4 lentelė).

2014 m. taip pat nustatytas reikšmingas teigiamas koreliacinis ryšys tarp Cu koncentracijos ir magnetinio imlumo (MI), atspindinčio sunkiųjų mineralų koncentraciją sąnašose ($r = 0,46$, $p < 0,01$). Tačiau 2018 m. jokių reikšmingų Cu koreliacinių ryšių nenustatyta. Švino koncentracija silpnai teigiamai koreliavo su paplūdimio sąnašų vidutiniu smėlio dalelių dydžiu ($r = 0,38$, $p < 0,05$) ir magnetiniu imlumu ($r = 0,33$, $p < 0,01$) tik 2018 m. Teigiama koreliacija tarp cinko koncentracijos ir magnetinio imlumo nustatyta 2014 ir 2018 m., o koreliacijos koeficientai atitinkamai siekė $r = 0,45$ ($p < 0,01$) ir $r = 0,35$ ($p < 0,05$).

Mangano koncentracija per visą analizuojamą laikotarpį reikšmingai neigiamai koreliavo su paplūdimio smėlio sąnašų tūriu ($r = -0,46$, $p < 0,01$ – 2011 m.; $r = -0,45$, $p < 0,01$ – 2014 m.; $r = -0,45$, $p < 0,01$ – 2018 m.), o reikšminga teigiama koreliacija nustatyta su MI reikšmėmis: $r = 0,79$ ($p < 0,01$) ir $r = 0,83$ ($p < 0,01$) atitinkamai 2011 ir 2014 m. Tačiau koreliacinis

ryšys ($r = 0,36, p < 0,05$), nustatytas 2018 m., buvo silpnėsnis. Silpni Mn koncentracijos koreliaciniai ryšiai nustatyti su smėlio sąnašų dalelių rūšiuotumu ($r = 0,38, p < 0,05$) 2011 m. ir su vidutiniu smėlio dalelių dydžiu ($r = 0,39, p < 0,05$) 2018 m.

4.4 lentelė. Koreliacijos koeficientai ir jų reikšmingumo lygmuo tarp GPE, granulimetrinių rodiklių (d , mm ir S_o), magnetinio imlumo (MI, μ SI) ir paplūdimio smėlio sąnašų biudžeto (Q , m^3/m) 2011, 2014 ir 2018 m.

Elementas	2011				2014				2018			
	d	S_o	Q	MI	d	S_o	Q	MI	d	S_o	Q	MI
Cu	0,14	0,40**	-0,31*	0,59**	0,00	0,05	-0,1	0,46**	0,23	0,12	-0,18	0,16
Pb	-0,07	0,09	0,19	0,26	0,16	0,00	-0,1	0,24	0,38*	0,29	0,06	0,33*
Zn	-0,14	0,12	0,29	0,12	0,13	0,03	-0,22	0,45**	0,28	0,26	-0,02	0,35*
Ni	-0,08	0,1	0,22	0,29	0,34*	0,23	-0,27	0,23	0,59**	0,48**	-0,27	0,31*
Co	-0,09	-0,06	0,27	0,04	0,39*	0,32*	-0,14	0,23	0,68**	0,47**	-0,16	0,33*
Mn	-0,19	0,38*	-0,46**	0,79**	0,27	0,24	-0,45**	0,83**	0,39*	0,25	-0,45**	0,36*
As	-0,19	-0,2	0,49**	-0,16	0,26	0,14	0,12	-0,28	0,45**	0,34*	0,04	0,22
Cr	-0,23	-0,3	0,47**	-0,2	-0,11	-0,14	0,19	-0,3	-0,07	-0,11	0,39*	0,04
d	1	0,41**	0,04	0,07	1	0,79**	-0,12	0,13	1	0,64**	-0,43**	0,35*
S_o	0,41**	1	-0,27	0,52**	0,79**	1	-0,05	0,1	0,64**	1	-0,2	0,27
Q	0,04	-0,27	1	-0,41**	-0,12	-0,05	1	-0,28	-0,43**	-0,2	1	-0,39*
MI	0,07	0,52**	-0,41**	1	0,13	0,1	-0,28	1	0,35*	0,27	-0,39*	1

* Koreliacija reikšminga 0,05 lygmeniu ($p < 0,05$), silpna.

** Koreliacija reikšminga 0,01 lygmeniu ($p < 0,01$), reikšminga.

2011 m. arseno koncentracija reikšmingai teigiamai koreliavo tik su paplūdimio sąnašų tūriu ($r = 0,49, p < 0,01$), o 2018 m. – su vidutiniu smėlio dalelių dydžiu ($r = 0,45, p < 0,01$) ir silpniau – su rūšiuotumu ($r = 0,34, p < 0,05$). Chromo koncentracija reikšmingai teigiamai koreliavo tik su paplūdimio sąnašų tūriu 2011 m. ($r = 0,47, p < 0,01$) ir silpniau ($r = 0,38, p < 0,05$) – 2018 m.

2014 m. nustatyta silpna ($r = 0,34, p < 0,05$), o 2018 m. – reikšminga ($r = 0,59, p < 0,01$) teigiama koreliacija tarp nikelio ir vidutinio smėlio dalelių dydžio. 2018 m. teigiamas reikšmingas Ni koncentracijos koreliacinis ryšys taip pat nustatytas su smėlio dalelių rūšiuotumu ($r = 0,48, p < 0,01$) ir silpnėsnis – su magnetiniu imlumu ($r = 0,31, p < 0,05$). Kobalto koncentracija silpnai ($r = 0,39, p < 0,05$) ir reikšmingai ($r = 0,68, p < 0,01$) teigiamai koreliavo su vidutiniu smėlio dalelių dydžiu atitinkamai 2014 ir 2018 m. Taip pat teigiami silpni ar reikšmingi jo koreliaciniai ryšiai nustatyti su smėlio dalelių rūšiuotumu ($r = 0,32, p < 0,05$) 2014 m. ir 2018 m. ($r = 0,47, p < 0,01$) ir su magnetiniu imlumu ($r = 0,33, p < 0,05$) 2018 m.

Vidutinis smėlio dalelių dydis visais tiriamais metais reikšmingai teigiamai koreliavo su smėlio dalelių rūšiuotumu: $r = 0,41$ (2011 m.), $r = 0,79$

(2014 m.) ir $r = 0,64$ (2018 m.). Tai rodo, kad stambesnėms sąnašoms buvo būdingas blogesnis rūšiuotumas. 2018 m. vidutinis dalelių dydis reikšmingai neigiamai koreliavo su paplūdimio sąnašų tūriu $r = -0,43$ ($p < 0,01$) ir silpnai teigiamai $r = 0,35$ ($p < 0,05$) koreliavo su magnetiniu imlumu. Tačiau smėlio dalelių rūšiuotumas 2011 m. reikšmingai teigiamai $r = 0,52$ ($p < 0,01$) koreliavo su MI reikšmėmis. Paplūdimio smėlio sąnašų tūris 2011 ir 2018 m. reikšmingai ar silpnai neigiamai koreliavo su magnetiniu imlumu (4.3 lentelė), o 2018 m. reikšmingai neigiamai – su vidutiniu dalelių skersmeniu $r = -0,43$ ($p < 0,01$).

Įvertinus visus koreliacinius ryšius tarp mikroelementų, granulimetrinių rodiklių, magnetinio imlumo ir paplūdimio smėlio sąnašų biudžeto ir jų reikšmingumą 2011, 2014 ir 2018 m., nuspręsta išsamiau atskirai paanalizuoti žemyno ir Kuršių nerijos jūros krantą.

4.5 lentelė. Koreliacijos koeficientai ir jų reikšmingumo lygmuo tarp mikroelementų, granulimetrinių rodiklių (d , mm ir S_o), magnetinio imlumo (MI, μSI) ir žemyno kranto paplūdimio smėlio sąnašų biudžeto (Q , m^3/m) 2011, 2014 ir 2018 m.

Elementas	2011				2014				2018			
	d	S_o	Q	MI	d	S_o	Q	MI	d	S_o	Q	MI
Cu	0,25	0,42	-0,23	0,54*	-0,08	-0,02	0,05	0,22	0,75**	0,27	-0,20	0,73**
Pb	0,52*	0,59**	0,09	0,56*	0,41	0,07	-0,22	0,41	0,73**	0,55*	-0,08	0,49*
Zn	0,46	0,75**	-0,20	0,56*	0,15	-0,08	-0,16	0,21	0,26	0,13	-0,03	0,50*
Ni	0,34	0,61**	-0,18	0,77**	0,43	0,58*	-0,47*	0,63**	0,52*	0,27	-0,38	0,46
Co	0,37	0,61**	-0,34	0,78**	0,44	0,59*	-0,30	0,79**	0,82**	0,42	-0,37	0,63**
Mn	0,01	0,40	-0,29	0,85**	0,45	0,62**	-0,45	0,70**	0,54*	0,00	-0,39	0,53*
Cr	-0,23	0,04	0,04	0,37	-0,21	0,07	-0,07	0,54*	0,05	0,18	-0,14	0,16
As	0,46	0,28	0,34	0,10	0,59**	0,72**	-0,02	0,29	0,46	0,32	-0,07	0,35
d	1,00	0,73**	-0,15	0,56*	1,00	0,61*	-0,13	0,28	1,00	0,48*	-0,35	0,54*
S_o	0,73**	1,00	0,25	0,21	0,61*	1,00	0,10	0,36	0,48*	1,00	0,09	0,23
Q	0,25	-0,15	1,00	-0,27	-0,13	0,10	1,00	-0,18	-0,35	-0,09	1,00	-0,48*

* Koreliacija reikšminga 0,05 lygmeniu ($p < 0,05$).

** Koreliacija reikšminga 0,01 lygmeniu ($p < 0,01$).

Atlikta koreliacinių ryšių analizė parodė, kad žemyno krante 2011 m. nustatyta reikšminga ar silpnai teigiama koreliacija tarp magnetinio imlumo ir Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mn koncentracijos (4.5 lentelė). Analogiški koreliaciniai ryšiai tarp magnetinio imlumo ir GPE koncentracijos nustatyti 2014 m. – atitinkamai su Ni, Co, Mn ir Cr, o 2018 m. – su Cu, Pb, Zn, Co ir Mn.

2011 ir 2018 m. silpna ar reikšminga teigiama koreliacija nustatyta tarp Pb ir sąnašų vidutinio dalelių dydžio. Smėlio dalelių rūšiuotumas 2011 m. reikšmingai ($r = 0,59$, $p < 0,01$), o 2018 m. silpnai teigiamai ($r = 0,55$, $p < 0,01$) koreliavo su Pb, taip pat reikšmingai koreliavo su Ni ($r = 0,60$ (2011 m.); $r = 0,58$ (2014 m.)), Co ($r = 0,61$ (2011 m.); $r = 0,59$ (2014 m.)) ir Mn (r

= 0,62 (2014 m.)) koncentracijomis. Koreliacinių ryšių tarp analizuojamų GPE koncentracijos ir paplūdimio sąnašų tūrio nenustatyta. Išimtis buvo 2014 m., kai Ni koncentracija silpnai neigiamai $r = -0,47$ ($p < 0,05$) koreliavo su paplūdimio sąnašų biudžetu. 2014 m. išsiskyrė tuo, kad buvo nustatyta reikšminga teigiama ($r = 0,59$ ir $r = 0,72$) koreliacija tarp As ir paplūdimio smėlio sąnašų vidutinio dalelių dydžio bei rūšiuotumo.

4.6 lentelė. Koreliacijos koeficientai ir jų reikšmingumo lygmuo tarp mikroelementų, granulimetrinių rodiklių (d , mm ir S_o), magnetinio imlumo (MI, μ SI) ir **Kuršių nerijos** kranto paplūdimio smėlio sąnašų biudžeto (Q , m^3/m) 2011, 2014 ir 2018 m.

Elementas	2011				2014				2018			
	d	S_o	Q	MI	d	S_o	Q	MI	d	S_o	Q	MI
Cu	0,22	0,18	-0,06	0,47*	0,52**	0,44*	-0,24	0,20	0,20	0,10	-0,25	0,03
Pb	-0,44*	-0,28	0,22	0,20	0,05	-0,02	0,45	0,29	-0,42*	-0,32	0,05	0,28
Zn	-0,51*	-0,09	0,28	0,24	0,27	0,26	0,25	0,17	-0,26	-0,01	0,13	0,09
Ni	-0,45*	-0,18	0,22	0,29	0,28	0,14	-0,16	0,32	-0,11	-0,04	-0,13	0,15
Co	-0,36	-0,18	0,16	0,20	0,35	0,25	-0,09	0,39	-0,14	-0,16	-0,08	0,14
Mn	-0,28	0,05	0,08	0,34	0,55**	0,49*	-0,17	0,46*	0,01	0,10	-0,20	0,23
Cr	-0,51*	-0,32	0,28	0,16	-0,18	-0,26	0,15	0,02	-0,71**	-0,36	0,33	0,15
As	-0,47*	-0,19	0,27	0,16	0,13	0,002	-0,03	0,16	-0,16	-0,09	-0,13	0,23
d	1,00	0,20	-0,30	0,01	1,00	0,91**	-0,15	0,52**	1,00	0,73**	-0,50*	0,37
S_o	0,20	1,00	-0,21	0,11	0,91**	1,00	-0,19	0,47*	0,73**	1,00	-0,18	0,47*
Q	-0,30	-0,21	1,00	0,09	-0,15	-0,19	1,00	0,03	-0,50*	-0,18	1,00	-0,32

* Koreliacija reikšminga 0,05 lygmeniu ($p < 0,05$).

** Koreliacija reikšminga 0,01 lygmeniu ($p < 0,01$).

Nustatyti ryšiai tarp paplūdimio ir jo sąnašų parametrų bei analizuojamų GPE Kuršių nerijos jūros krante skyrėsi nuo nustatytų žemyno krante. 2011 m. Kuršių nerijos jūros krante silpna neigiama koreliacija nustatyta tarp paplūdimio smėlio sąnašų vidutinio dalelių dydžio ir Cr, Zn, As, Ni, Pb koncentracijos (4.6 lentelė). Tais pačiais metais silpna teigiama $r = 0,47$ ($p < 0,05$) koreliacija buvo nustatyta tarp magnetinio imlumo ir Cu koncentracijos. Tačiau 2014 m. reikšminga ir silpna koreliacija buvo nustatyta tik tarp Cu ir paplūdimio smėlio sąnašų vidutinio dalelių dydžio bei rūšiuotumo. Panašūs koreliaciniai ryšiai nustatyti tarp Mn ir paplūdimio smėlio sąnašų vidutinio dalelių dydžio bei rūšiuotumo, tačiau Mn dar silpnai koreliavo su magnetiniu imlumu.

2018 m. silpnas ($r = -0,42$, $p < 0,05$) ir reikšmingas ($r = -0,71$, $p < 0,01$) neigiamas koreliacinis ryšys nustatytas atitinkamai tarp paplūdimio smėlio sąnašų vidutinio dalelių dydžio ir Pb bei paplūdimio smėlio sąnašų vidutinio dalelių dydžio ir chromo.

Apibendrinant – ryšiai tarp granulimetrinių statistinių parametru (d , S_o), magnetinio imlumo ar paplūdimio biudžeto ir GPE vertinant skirtingus metus buvo panašūs, bet ir skyrėsi. Galima išskirti kelias tendencijas. Žemyno krante didesniosios dalies metalų (Cu, Pb, Zn, Ni ir visais tiriamais metais – Mn, Co) kiekiai teigiamai koreliavo su magnetinio imlumo reikšmėmis ir dalelių dydžiu (2018 m.) ar su rūšiuotumu (2014 m.). Kuršių nerijoje buvo nustatyta visai kitokia tendencija – 2011 m. (Pb, Ni, Zn, Cr, As) ir 2018 m. (Pb ir Cr) GPE kiekis neigiamai koreliavo su paplūdimio sąnašų dalelių dydžiu. 2014 m. Kuršių nerijoje skyrėsi nuo kitų analizuotų metų, nes tais metais buvo nustatytas didesnis paplūdimio sąnašų biudžeto sumažėjimas (4.12 pav.), o elementai, kaip antai Cu ir Mn, jau teigiamai koreliavo su smėlio dalelių dydžiu ir rūšiuotumu.

2018 m. atskirai buvo įvertinti analizuojamų elementų koreliaciniai ryšiai su magnetiniu imlumu, išmatuotu skirtingose paplūdimio sąnašų frakcijose (4.7 lentelė).

4.7 lentelė. Koreliacijos koeficientai ir jų reikšmingumo lygmuo tarp mikroelementų ir magnetinio imlumo (MI) reikšmių skirtingose frakcijose (2018 m.).

Frakcija, mm	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Mn	As	Cr
1,600–1,000	0,01	0,12	0,13	0,13	0,29	0,09	0,08	-0,17
1,00–0,630	0,03	0,39*	0,16	0,23	0,32*	0,12	0,22	0,18
0,630–0,400	-0,14	0,22	-0,01	0,06	0,13	0,21	-0,07	-0,01
0,400–0,315	-0,08	0,29	0,09	0,13	0,25	0,05	0,15	0,16
0,315–0,200	0,12	0,38*	0,79**	0,54**	0,65**	0,55**	0,27	-0,03
0,200–0,160	-0,04	0,30	0,14	0,16	0,33*	-0,01	0,22	0,15
0,160–0,100	0,05	0,09	0,69**	0,10	0,19	0,35*	-0,13	-0,11
0,100–0,063	0,01	0,14	0,61**	0,03	0,12	0,25	-0,09	-0,10

* Koreliacija reikšminga 0,05 lygmeniu ($p < 0,05$).

** Koreliacija reikšminga 0,01 lygmeniu ($p < 0,01$).

Rezultatai parodė, kad MI, išmatuotas 1,00–0,630 mm frakcijoje, silpnai teigiamai koreliavo su Pb ($r = 0,39$, $p < 0,05$) ir Co ($r = 0,32$, $p < 0,05$) koncentracijomis. Didžioji dalis elementų teigiamai reikšmingai ar silpnai reikšmingai koreliavo su 0,315–0,200 mm frakcijoje išmatuotu magnetiniu imlumu: Zn – $r = 0,79$ ($p < 0,01$), Co – $r = 0,65$ ($p < 0,01$), Ni – $r = 0,54$ ($p < 0,01$), Mn – $r = 0,55$ ($p < 0,01$) ir Pb – $r = 0,38$ ($p < 0,05$).

Magnetinis imlumas, išmatuotas 0,200–0,160 mm frakcijoje, silpnai teigiamai koreliavo tik su Co – $r = 0,33$ ($p < 0,05$), o MI reikšmė 0,160–0,100 mm frakcijoje reikšmingai teigiamai koreliavo su Zn – $r = 0,69$ ($p < 0,01$) ir silpniau su Mn – $r = 0,35$ ($p < 0,05$). Magnetinis imlumas, išmatuotas smulkiausioje, 0,100–0,063 mm, frakcijoje, reikšmingai teigiamai koreliavo su Zn koncentracija – $r = 0,61$ ($p < 0,01$).

5. REZULTATŲ APTARIMAS

Šis darbo skyrius susideda iš dviejų dalių. Pirmojoje aptariami žemyno ir Kuršių nerijos jūros kranto paplūdimio sąnašų skirtumai, kurie buvo atskleisti atliekant tyrimus. Antrojoje vertinama krante vykstančių procesų įtaka galimai pavojingų cheminių elementų pasiskirstymui išilgai kranto ir sankaupų susidarymui.

5.1 Žemyno ir Kuršių nerijos jūros kranto sąnašų elementinės sudėties palyginimas

Atlikti tyrimai parodė, kad žemyno ir Kuršių nerijos paplūdimių sąnašos skiriasi savo elementine sudėtimi (4.16 pav., 1 priedas). Taigi galima teigti, kad Lietuvai priklausančiame jūros krante visgi egzistuoja keli skirtingi nešmenų šaltiniai. Remiantis įvairiais anksčiau atliktais moksliniais tyrimais, yra išskiriami trys pirminiai nešmenų šaltiniai, kurie lemia sąnašų geocheminę ir litologinę sudėtį. Pirmasis šaltinis, maitinantis Lietuvos jūros krantą, yra Sembos pusiasalyje, iš kurio ardomų klifų į priekrantę patenka neogeno-paleogeno laikotarpio nuogulų. Šiose nuogulose yra gausu glaukonitų, žėručių, ortoklazo ir biotito (Bitinas ir kt., 2005a; Jarmalavičius ir kt., 2017a; Kairyte ir kt., 2005; Krek ir kt., 2018a). Antrasis šaltinis – Nemuno upės per Kuršių marias gabenami nešmenys, kurie gausiai aprūpina Baltijos jūros krantą lauko špatais, ypač mikroklinu ir albitu (Kairyte ir kt., 2005). M. Kairytė (2005) teigia, kad per Klaipėdos sąsiaurį į Baltijos jūrą patenkantys nešmenys yra gabenami šiaurės kryptimi išilgai žemyno kranto. Nemuno vidutinis metinis debitas, išmatuotas ties Smalininkais, siekia apie $536 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, o pasak O. Pustelnikovo (1998), vidutiniam metiniam Nemuno debitui siekiant $23,1 \text{ km}^3 \text{ m}^{-1}$ arba $732 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, per metus ši upė atplukdo apie 600 kt skandinavių kietųjų dalelių, iš kurių 78 % – terigeninės kilmės, 10 % organinės ir 12 % silicio dioksido dalelių. Trečiasis šaltinis – žemyno krante esantis ardomas Šaiپی–Olando Kepurės moreninių klifų ruožas. Moreninių klifų nuogulos išsiskiria kvarco, lauko špatų ir dolomito gausa. Audrų metu jūros krantą papildo priekrantės nešmenys, kurie yra bangų generuojamos skersinės ir išilginės pernašos rezultatas. Pavyzdžiui, Kuršių nerijos pietinėje dalyje (Rusijos dalis) jūros dugne yra ardomi atsidengiantys vėlyvojo pleistoceno moreniniai priemoliai (Sergeev ir kt., 2017).

Šio tyrimo rezultatai parodė, kad žemyno kranto paplūdimio sąnašose aptinkami padidėję Ca, Mg ir Sr kiekiai (1 priedas) gali būti susiję su karbonatais, kurių gausu nuosėdose, turinčiose dolomito ir kalcito (Nagarajan ir kt., 2013). Nuosėdų, kuriose gausu kalcito, yra aptinkama priekrantėje,

kranto ruože nuo Klaipėdos sąsiaurio ir maždaug 20 km į šiaurę. Kita kalcito turinčių nuosėdų zona yra silpniau išreikšta ir driekiasi ties Latvijos–Lietuvos siena (Kairyte ir kt., 2005). Šio tyrimo metu nustatyta, kad žemyno krante Šaipių ir Olando Kepurės klifų nuogulose dominavo granatai (4.7 pav.). Tarp granatų grupės mineralų vyravo piropas ($Mg_3Al_2(SiO_4)_3$). Nustatyta, kad paplūdimių sąnašose (4.6 pav.) viena gausiausių sunkiųjų mineralų grupių yra amfibolai (aktinolitas (Ca), pargasitas (Na, Ca, Mg), tremolitas (Ca, Mg, Fe)), kurie irgi yra Ca ir Mg šaltinis. Tiesa, tiek Kuršių nerijoje, tiek žemyno krante amfibolų kiekis reikšmingai nesiskyrė (4.7 pav.). Panaši elementų grupė buvo nustatyta Lenkijoje (Ca, Sr, Mg, Ba, Li ir K). Ji, autorių nuomone, yra gamtinės kilmės (Bigus ir kt., 2016). Kiti autoriai, kaip antai M. G. Yalcin (2009), nurodo, kad elementų grupė CaO, MgO, TiO_2 , MnO, Ni, Pb, Zn ir W gali būti antropogeninės kilmės, nes mikroelementai yra susiję su antropogeninės kilmės karbonatais (CaO ir MgO).

Palyginus žemyno ir Kuršių nerijos jūros kranto paplūdimių sąnašų Ca ir Mg santykį, paaiškėjo, kad žemyno krante jis didesnis, nes sąnašose dominuoja kalcis (4.18 pav.). Rusų mokslininkai (Emeljanov, Lukashina, 1986) teigia, kad kalcio kilmė dažniausiai yra biogeninė. Taip pat Ca dominavimas, nustatytas žemyno krante, gali būti siejamas su upių ir upelių, įtekančių į Baltijos jūrą, atnešamais suspenduotais nešmenis iš žemyno.

Tyrimo metu žemyno kranto paplūdimio sąnašose nustatyta santykinai didesnė bario ir mažesnė kalio koncentracija, o Ba išskirtys fiksuotos visais tiriamais metais ties klifų ruožu (4.13 pav., 1 priedas). Ba jonai yra maždaug tokio pat dydžio kaip K ir sudaro stiprų joninį ryšį su deguonimi, dėl kurio jie pastebimai sulaikomi anksčiau susiformavusiuose lauko špatuose (Heier, 1962). Ba koncentracija nuosėdinėse uolienose priklauso nuo lauko špato ir molio mineralų kiekio. Kaip minėta anksčiau, Lietuvos pajūryje dominuoja kvarco mineralai ir lauko špatai, o Sembos pusiasalio nuosėdose, be kvarco, dominuoja glaukonitas (Kairyte ir kt., 2005; Krek ir kt., 2018).

Žemyno krante nustatyta didesnė mangano koncentracija nei Kuršių nerijos jūros krante (1 priedas). Analizė parodė, kad pagrindinis jo šaltinis yra morenos klifo nuogulos (Šaičiai–Olando Kepurė) (4.14 pav.). Išsamiau ištyrus Šaipių ir Olando Kepurės klifų moreninių nuogulų mineralinę sudėtį buvo nustatyta, kad jose dominuoja granatai (4.11 pav.), o vienas iš jų – spesartinas ($Mn_3Al_2(SiO_4)_3$). Be to, mangano koncentracijos padidėjimas 2018 m. (4.3 lentelė) gali būti susijęs su intensyvesne erozija žemyno krante.

Žemyno kranto paplūdimio sąnašose taip pat nustatytos Zn koncentracijos sankaupos ties klifų ruožu (4.19 b). Šis padidėjimas gali būti siejamas su žemyno krante aptinkamais karbonatais, kurie linkę lengviau adsorbuoti divalenčius katijonus, tokius kaip Zn, Mn, Sr ir Pb (Galkus,

Jokšas, 1997). Geocheminė Šaipių klifo nuogulų analizė parodė, kad jos turi Zn, kurio koncentracija siekė net $197 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (4.14 pav.). Taigi galima numanyti, kad šio klifo ardamos nuogulos yra vienas iš pagrindinių Zn šaltinių paplūdimio sąnašose žemyno krante. Cinko koncentracija žemyno krante 2011 m. ir 2018 m. susijusi su padidėjusiu sunkiųjų mineralų (didesnės MI reikšmės) (4.5. lentelė), kurių pagausėja suintensyvėjus krantų erozijai, kiekiu. Tyrimo rezultatai parodė, kad 2011–2014 m. laikotarpiu beveik visame žemyno krante vyravo sąnašų akumuliacija (4.12 pav.), dėl to 2014 m. nėra ryšio tarp Zn koncentracijos ir MI (4.5 lentelė). Tačiau 2014 m. Zn koncentracija žemyno krante buvo didesnė nei 2011 m. ir 2018 m. beveik visuose tirtuose ėminiuose (4.3 lentelė), o didžiausia – klifo ruože (4.19b pav.). Taip pat negalima atmesti prielaidos, kad Zn padidėjimas ties Šaipiais gali būti susijęs ir su anksčiau šioje vietoje jūros krante vykdyta karine veikla. Pajūrio regioniniame parke prieš daugiau nei 30 metų buvo įrengtas karinis poligonas (Baubinas, Taminskas, 1998). Atlikti moksliniai tyrimai parodė, kad praeityje į aplinką patekę mikroelementai gali migruoti į gilesnius sluoksnius, o per audras dėl kranto erozijos patekti į paplūdimių sąnašas (Bełdowska ir kt., 2016).

Didesnė Cu, kaip ir cinko, koncentracija žemyno krante sietina su didesniu sunkiųjų mineralų kiekiu (MI reikšme) 2011 m. ir 2018 m. (4.5 lentelė). Tačiau 2014 m. koreliacija nebuvo nustatyta, o koncentracija buvo reikšmingai didesnė, palyginti su visais tiriamaisiais metais. 2014 m. nustatytas ryškus Cu koncentracijos padidėjimas į šiaurę nuo Šventosios uosto (4.19a pav.). Gali būti, kad tai – Šventosios uosto rekonstrukcijos, vykdytos 2011–2012 m., pasekmė. Iškastas iš uosto kanalo gruntas, kuriame gausu Pb, Ni, Cu, Zn (Galkus ir kt., 2012), buvo kaupiamas pietinėje Šventosios upės pusėje netoli jūros. 2011 m. liepos mėnesį, o ir vėliau pasitaikiusios audros nuplovė į jūrą dalį sukaupto grunto. Išplautos dalelės galėjo būti perneštos šiaurės kryptimi, be to, mikroelementų padidėjimas Būtingės–Šventosios kranto ruože gali būti susijęs su po plonu sąnašų sluoksniu susiklosčiusiomis durpėmis, kurios turi didesnį sugeriamumą ir yra linkusios atsidenyti po audrų (Bitinas ir kt., 2005a). Taip pat reikia paminėti, kad Latvijos–Lietuvos sienos ruože ties Būtinge yra įrengtas Palangos komunalinių vandenų išleistuvas, kuris audrų metu ne kartą buvo pažeistas. Galiausiai didesnis Zn, Mn, Cu kiekis, nustatytas I Melnragės–Girulių kranto ruože, gali būti susijęs su iš Klaipėdos uosto iškasto grunto skandinimu sekloje priekrantėje (Karaliūnas ir kt., 2020). Uosto vartų gilinimo metu iškastas smėlis turi daugiau mikroelementų nei paplūdimio sąnašos (Galkus ir kt., 2012; Remeikaitė-Nikienė ir kt., 2018).

Kuršių nerijos jūros krante, kitaip nei žemyno krante, paplūdimio smėlio sąnašose yra aptinkamos didesnės Fe, V, P, Cr ir Pb koncentracijos. Pagrindinių komponentų analizė parodė, kad Cr kartu su Pb, Ni, Co sudaro elementų grupę su Al ir Fe (Pb-Ni-Co-Fe-As-Cr-Al), kurie įeina į mineralo glaukonito, aptinkamo nerijoje, sudėtį (Thompson, Hower, 1975; Pupienis ir kt., 2017). Kuršių nerijoje dominuojanti geležis susijusi su amfibolų grupės mineralais (Stauskaitė, 1962; Stauskaitė, 1966), kurių ypač gausu distaliniame Kuršių nerijos gale. Amfibolų grupės mineralai rodo, kad palei Kuršių nerijos jūros krantus vyrauja išilginis nešmenų srautas. Išilginis nešmenų srautas įsisotina nešmenimis iš ardomų Sembos pusiasalio ir pietinės Kuršių nerijos dalies jūros krantų (Lukoševičius, Gudelis, 1974; Kairyte ir kt., 2005; Rybakova, 2009; Pupienis ir kt., 2017; Žilinskas ir kt., 2018). Tyrimų rezultatai atskleidė, kad Kuršių nerijos jūros kranto paplūdimių sąnašose buvo daugiau apatito, į kurio sudėtį įeina Ca, P ir F.

5.2 Galimai pavojingų cheminių elementų paplūdimio sąnašose kaitą lemiančių veiksnių analizė

Paplūdimiuose aptinkamas stambiagrūdis smėlis prie Olando Kepurės ir į šiaurę nuo Klaipėdos uosto molo yra susijęs su kranto erozijos procesais, kait smulkesnės smėlio dalelės yra išplaunamos ir pernešamos į gretimus ruožus. Lietuvos Baltijos jūros krante eroziniai procesai dominuoja ten, kur vystoma intensyvi žmogaus veikla arba vyksta natūrali moreninių klifų arda. Ties Juodkrante aptinkamas stambiagrūdis smėlis yra reliktinis ir nėra susijęs su krantų erozija (Jarmalavičius ir kt., 2017a).

Paplūdimio smėlio dalelių pasiskirstymas rodo, kad vidutinis dalelių skersmuo mažėja iš pietų į šiaurę tiek žemyne, tiek Kuršių nerijos krante. Tačiau žemyno krante smėlio smulkėjimo tendencijas kiek iškreipia Šventosios ir Būtingės kranto ruože esantis smėlio pastambėjimas, kuris susijęs su šiame kranto ruože dominuojančiais eroziniais procesais dėl Šventosios uosto molo ir Būtingės vandenų išleistuvo sutvirtinimų.

Žemyno krante elementų (Ti, Ca, Mn, Zn, Cu ir kt.) sankaupos nustatytos tuose kranto (Būtingės–Šventosios, Šaipių–Olando Kepurės, I Melnragės) ruožuose, kuriuose dominuoja krantų erozija. Erozinuose kranto ruožuose dažnai aptinkamas prastai rūšiuotas vidutingrūdis ar stambiagrūdis smėlis, taip pat matuojamas didesnis magnetinis imlumas, kuris rodo sunkiųjų mineralų pagausėjimą. Didesnės magnetinio imlumo reikšmės, gautos matuojant stambiagrūdę frakciją, parodė, kad eroziniame kranto ruože dėl vyraujančių intensyvesnių hidrodinamių procesų smulkiagrūdė frakcija yra išplaunama. Smulkiagrūdės frakcijos lengvieji mineralai kvarcas, lauko špatas

ir muskovito žėrutis yra lengvai pernešami, o smulkūs sunkieji mineralai lieka (Pupienis ir kt., 2017; Tanner, 1990).

Nustatyta reikšminga koreliacija tarp sąnašų magnetinio imlumo ir dalelių dydžio parodė (4.5 ir 4.6 lentelė), kad stambesnėse sąnašose dominuoja feromagnetinių savybių turintys mineralai: almandinas, ilmenitas ir magnetitas (Scofield, Roggenthen, 1986; Lennan ir kt., 2003; Kairyte ir kt., 2005). Anksčiau išsakytus dėsningumus patvirtina J. Apanavičiūtės bei P. Šimkevičiaus (2001) gauti tyrimų rezultatai. Mokslininkai nustatė, kad tarp Baltijos jūros priekrantėje esančių sunkiųjų mineralų (ilmenito, magnetito ir almandino) ir stambaus bei vidutinio smėlio yra ryšys. Ankstesniais tyrimais buvo nustatyta, kad sunkieji mineralai dažniausiai kaupiasi smulkiagrūdėse smėlio frakcijose (Stauskaitė, 1962; Komar, Wang, 1984; Linčius, 1991). Mokslininkai M. Gandhi ir M. Raja (2014) taip pat nustatė, kad sunkiųjų mineralų pasiskirstymas labiausiai priklauso nuo paplūdimio sąnašų granulimetrinės sudėties. Tai sietina su smulkiagrūdės frakcijos didesniu adsorbciniu paviršiumi ir vyraujančia pernaša, be to, jų pasiskirstymą taip pat gali nulemti aplinkos geomorfologija. Tokius dėsningumus patvirtino gauti magnetinio imlumo skirtingose frakcijose matavimo rezultatai (4.7 lentelė). *In situ* magnetinio imlumo matavimai Lietuvos jūros kranto sąnašose atlikti lauko tyrimų metu (4.1 pav. ir 4.4. pav.) parodė, kad vietose, kuriose dominuoja smulkiagrūdė smėlio frakcija, matuojant dažnai gaunamos mažesnės magnetinio imlumo reikšmės nei sąnašose, kuriose dominuoja stambiagrūdė smėlio frakcija (Pupienis ir kt., 2013; 2017). Taip nutinka dėl to, kad jūros krante nešmenys dažnai yra diferencijuojami ne tik pagal dydį ar formą, bet ir pagal lyginamąjį svorį. Tokiu atveju smulkesnės, bet sunkesnės dalelės telkiasi tarp stambesnių kvarco dalelių. Mokslininkai (Frihy ir kt., 1995; Lennan ir kt., 2003) nustatė, kad kranto ruožuose, kuriuose vyksta intensyvi erozija, bangų generuojamos srovės pirmiausia perneša lengviausius sunkiuosius mineralus: kianitą, turmalinų, amfibolų ir epidotų grupės mineralus. Tačiau smulkesni pagal dydį, bet didesnio tankio sunkieji mineralai (ilmenitas, magnetitas, hematitas, almandinas ir kiti) lieka erozinių paplūdimių sąnašose (Stauskaitė, 1962; Gudelis ir kt., 1966).

Kuršių nerijos jūros krante vykstantys procesai stipriai priklauso nuo išilginės nešmenų pernašos. Smiltynės–Kopgalio kranto ruože vyrauja sąnašų akumuliacija dėl iš pietinės Kuršių nerijos dalies atnešamų nešmenų ir Klaipėdos uosto molų poveikio (Pupienis ir kt., 2017; Žilinskas ir kt., 2018; 2020). Kuršių nerijos kranto paplūdimiuose yra glaukonito (žalio smėlio), kilusio iš Sembos pusiasalio neogeno–paleogeno laikotarpiu susiklosčiusių nuogulų (Bitinas ir kt., 2005a; Pupienis ir kt., 2017; Krek ir kt., 2018a). Mikroelementai dažnai linkę prisitvirtinti prie molio dalelių ir sluoksninių

silikatų, tokių kaip glaukonitas, žerutis, biotitas, kurios, sudarydamos apvalkalą ant smėlio dalelių, yra pernešamos į šiaurę ir dažnai aptinkamos akumuliaciniuose kranto ruožuose (Apanaviciute, Simkevicius, 2001; Gudelis ir kt., 1966; Sergeev, 2015; Pupienis ir kt., 2017; Krek ir kt., 2018a). Nors Kuršių nerijos paplūdimio sąnašose gausu elementų, tokių kaip Fe, Cr, Pb, tačiau sąnašos nepasižymi didesniu magnetiniu imlumu, kuris rodytų sunkiųjų mineralų dominavimą. Gali būti, kad mažos MI vertės, nepaisant mikroelementų gausos, yra susijusios su Smiltynės–Kopgalio kranto ruože vykstančia intensyvia akumuliacija. Dėl itin stiprios akumuliacijos sunkieji mineralai gali būti užklostyti lengvesniais ir smulkesniais kvarco mineralais ir lauko matavimo metu gaunamos mažesnės MI reikšmės.

Kuršių nerijos jūros krante geocheminės Fe, Cr, K, P, Pb, Cu sankaupos (4.13 pav.) nustatytos Kopgalyje (dominuoja smulkus ir labai smulkus smėlis) ir ties Juodkrante, kur vyrauja labai stambus ir stambus reliktinis smėlis (4.3 pav.). Kuršių nerijai (Lietuvos dalis) nebūdinga intensyvi kranto erozija (Jarmalavičius ir kt., 2020; Jarmalavičius ir kt., 2017a). Stambaus smėlio anomalija Kuršių nerijoje ties Juodkrantės–Pervalkos kranto ruožu yra susiformavusi dar postlitorinos laikotarpiu (Žilinskas ir kt., 2016; Jarmalavičius ir kt., 2017a). Didesnė tiriamų elementų koncentracija, nustatyta šiame kranto ruože visais tyrimų metais, gali būti susijusi su sunkiųjų mineralų gausa (4.4, 4.13 ir 4.19 pav.) (Salomons, Förstner, 1984).

Išanalizavus kai kurių elementų pasiskirstymą išilgai Baltijos jūros kranto galima teigti, kad jie reprezentuoja vyraujančią išilginę nešmenų pernašą. Pavyzdžiui, Cr kaita geriausiai iš analizuotų GPE parodo nešmenų išilginę pernašą iš Sembos pusiasalio (Kaliningrado sritis, Rusija) palei Kuršių nerijos jūros krantą. Chromo kiekis reikšmingai didėjo šiaurės kryptimi (2011 ir 2018 m.), ypač ties Kopgaliu, kur vyksta didžiausia nešmenų akumuliacija (4.19b pav.). Chromas yra vienas iš elementų, kurio gausu Sembos pusiasalio abraduojamose nuogulose. Rusų mokslininkų tyrimai parodė, kad Sembos pusiasalio nuosėdose gausu kvarco ir glaukonito su chromito, troilito, ilmenito, diopsido, cirkono priemaišomis (Krek ir kt., 2018a).

Nors tyrimų metu tarp Kuršių nerijos paplūdimio sąnašų vidutinio dalelių dydžio ir magnetinio imlumo nebuvo nustatyta reikšmingų koreliacinių ryšių, išskyrus 2014 m. (4.6 lentelė), tačiau visais tiriamaisiais metais Ti/Al santykio pasiskirstymas atskleidė reikšmingą mažėjimo tendenciją šiaurės kryptimi (4.18 pav.). Mokslininkai M. Abu ir E. Sunkari (2020) nustatė, kad didžiausios Fe ir Ti oksidų koncentracijos dominuoja smulkiagrūdžiuose smėliuose ir yra susijusios su sunkiųjų mineralų dominavimu. Silpna koreliacija tarp magnetinio imlumo ir vidutinio dalelių dydžio gali rodyti, kad sunkiųjų mineralų kiekis paplūdimio nuosėdose priklauso ne tik nuo vidutinio dalelių

dydžio, bet ir nuo uolienu kilmės bei nuosėdų šaltinių (Chavadi, Hegde, 1989; Carranza-Edwards ir kt., 2009; Garzanti ir kt., 2009; Abu, Sunkari, 2020).

IŠVADOS

Žemyno ir Kuršių nerijos jūros kranto geocheminė sudėtis priklauso nuo pirminių nešmenų šaltinių. Kuršių nerijos jūros kranto paplūdimio sąnašose vyrauja As, Cr, Fe, K, P, U, Ga ir V asociacija, o žemyno kranto paplūdimio sąnašose – Ba, Ca, Mg, Mn, Sr, Ti asociacija, kurios išliko stabilios visu tiriamuoju laikotarpiu. Nustatytos asociacijos rodo, kad žemyno krante dominuoja karbonatai (kalcitas, dolomitas), kurių pagrindinis šaltinis – morenos klifų nuogulos, o Kuršių nerijos jūros krante dominuoja iš Sembos pusiasalio atkeliavusios sąnašos, kuriose gausu apatito, biotito, chromito.

Mikroelementų kiekių pasiskirstymas pietryčių Baltijos jūros krante priklauso nuo krante vykstančių dinaminių procesų (nešmenų pernašos priekrantėje, kranto erozijos ir akumuliacijos). Žemyno krante ir Kuršių nerijoje elementų sancaupų susidarymas priklausė nuo skirtingų litologinių bei morfologinių dinaminių procesų. Žemyno krante geocheminės sancaupos (Cu, Co, Zn, Mn, Ni, Pb) nustatytos eroziniuose, o Kuršių nerijoje – akumuliaciniuose (Cr, As ir Pb) jūros kranto ruožuose. Vietos, kur dominuoja reliktninis stambiagrūdis smėlis, išsiskyrė Cu, Cr, Co, Ni ir As sancaupomis.

Cinko, nikelio, švino ir vario koncentracija 2014 m. buvo reikšmingai didesnė nei 2011 ar 2018 m. Vario ir cinko koncentracija žemyno krante buvo reikšmingai didesnė nei Kuršių nerijos krante. Šių cheminių elementų koncentracijos padidėjimą žemyno krante 2014 m. galėjo lemti Palangos paplūdimių papildymas (2011–2012 m.) sąnašomis ir tuo pačiu laikotarpiu vykdytas Šventosios uosto įplaukos kanalo gilimas bei uosto rekonstrukcija.

Chromo (Kuršių nerija), Ti/Al (Kuršių nerija) ir Ca/Mg (žemyno krantas) santykio pasiskirstymas patvirtina Pietryčių Baltijos jūros priekrantėje vyraujančią iš pietų į šiaurę nukreiptą išilginę nešmenų pernašą, todėl šie elementai gali būti naudojami kaip išilginio nešmenų srauto indikatoriai.

Zn, Co, Ni, Mn ir Pb koncentracija reikšmingai teigiamai koreliavo su magnetiniu imlumu, išmatuotu smėlio 0,315–0,200 mm frakcijoje, o paplūdimio dalelių vidutinis dydis yra apie 0,29 mm. Todėl *in situ* magnetinio imlumo matavimus paplūdimyje galima taikyti nustatant geocheminių išskirčių vietas. Be to, magnetinio imlumo matavimai leidžia efektyviai nustatyti sunkiųjų mineralų akumuliacijos vietas ir įvertinti krante vyraujančius dinaminius procesus.

PRIEDAI

I priedas. Makroelementų ir GPE koncentracijos ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) vidutinių reikšmių (vid.), standartinių nuokrypių (σ) ir medianų (M) paplūdimio sąnašose palyginimas tarp žemyno ir Kuršių nerijos krantų 2011 m., 2014 m. ir 2018 m.

Elementas	Metai	Žemyno krantas			Kuršių nerijos krantas			Kruskalo ir Voliso H kriterijaus reikšmingumas*
		vid.	σ	M	vid.	σ	M	
Cu	2011	0,38	0,16	0,34	0,28	0,08	0,25	0,06
	2014	1,31	1,39	0,54	0,38	0,25	0,31	0,00
	2018	0,42	0,23	0,33	0,45	0,70	0,25	0,13
Pb	2011	1,26	0,35	1,19	1,33	0,47	1,18	0,89
	2014	1,46	0,28	1,36	1,39	0,38	1,34	0,29
	2018	0,96	0,18	0,96	1,04	0,28	0,98	0,47
Zn	2011	3,24	0,71	3,10	3,91	1,27	3,35	0,11
	2014	5,41	2,23	4,85	3,82	0,76	3,70	0,00
	2018	3,57	2,01	2,95	3,25	0,80	2,95	0,67
Ni	2011	0,58	0,16	0,60	0,68	0,20	0,60	0,12
	2014	0,68	0,14	0,70	0,70	0,17	0,70	0,98
	2018	0,63	0,21	0,60	0,59	0,19	0,60	0,39
Co	2011	0,33	0,07	0,30	0,46	0,18	0,40	0,00
	2014	0,40	0,13	0,40	0,45	0,14	0,40	0,14
	2018	0,40	0,13	0,40	0,42	0,15	0,40	0,73
Mn	2011	26,61	7,20	24,50	14,96	3,98	13,50	0,00
	2014	33,50	13,51	26,50	16,64	4,14	15,00	0,00
	2018	35,50	16,33	33,50	15,58	5,86	13,00	0,00
Fe, %	2011	0,13	0,02	0,13	0,22	0,12	0,18	0,00
	2014	0,16	0,04	0,15	0,21	0,07	0,19	0,01
	2018	0,14	0,05	0,15	0,18	0,07	0,16	0,05
As	2011	0,62	0,17	0,60	0,84	0,48	0,80	0,07
	2014	0,61	0,13	0,60	0,82	0,19	0,80	0,00
	2018	0,56	0,25	0,55	0,80	0,36	0,75	0,02
U	2011	0,21	0,07	0,20	0,29	0,10	0,30	0,00
	2014	0,25	0,05	0,25	0,33	0,10	0,30	0,00
	2018	0,21	0,16	0,20	0,28	0,12	0,25	0,00
Th	2011	1,08	0,34	1,00	0,80	0,27	0,70	0,00
	2014	1,27	0,59	1,05	0,99	0,50	0,80	0,06
	2018	0,86	0,86	0,60	0,72	0,35	0,55	0,69
Sr	2011	9,30	2,54	8,75	8,24	2,52	7,65	0,07
	2014	12,55	5,18	11,10	8,94	2,72	7,90	0,03
	2018	12,41	6,31	10,45	8,18	3,31	7,45	0,01
V	2011	1,72	0,67	2,00	2,96	1,30	2,00	0,00

Elementas	Metai	Žemyno krantas			Kuršių nerijos krantas			Kruskalo ir Voliso H kriterijaus reikšmingumas*
		vid.	σ	M	vid.	σ	M	
	2014	2,39	1,54	2,00	2,84	0,99	3,00	0,03
	2018	1,56	0,62	1,50	2,33	1,01	2,00	0,01
Ca, %	2011	0,56	0,24	0,45	0,20	0,07	0,19	0,00
	2014	0,75	0,42	0,62	0,21	0,09	0,17	0,00
	2018	0,84	0,53	0,73	0,18	0,09	0,16	0,00
	2011	0,02	0,01	0,03	0,05	0,02	0,04	0,00
P, %	2014	0,02	0,01	0,02	0,05	0,02	0,05	0,00
	2018	0,02	0,01	0,02	0,04	0,02	0,04	0,00
La	2011	4,23	0,97	4,20	4,80	1,64	4,35	0,35
	2014	5,29	1,39	4,65	5,38	2,03	4,70	0,76
	2018	4,65	2,49	4,15	4,63	1,80	3,90	0,95
	2011	1,58	0,31	1,60	3,47	1,80	2,65	0,00
Cr	2014	1,69	0,62	1,50	3,16	1,20	2,80	0,00
	2018	1,36	0,24	1,35	2,75	1,01	2,60	0,00
Mg, %	2011	0,09	0,03	0,08	0,06	0,02	0,06	0,00
	2014	0,12	0,06	0,10	0,06	0,02	0,06	0,00
	2018	0,12	0,07	0,11	0,06	0,02	0,05	0,00
	2011	6,03	2,38	5,70	3,13	0,41	3,15	0,00
Ba	2014	7,22	4,62	5,10	3,86	0,75	3,70	0,00
	2018	6,81	5,31	5,30	2,69	0,81	2,45	0,00
Ti, %	2011	0,005	0,002	0,004	0,003	0,001	0,004	0,00
	2014	0,01	0,004	0,007	0,004	0,002	0,007	0,01
	2018	0,004	0,002	0,004	0,003	0,001	0,004	0,00
	2011	0,06	0,01	0,06	0,07	0,02	0,07	0,06
Al, %	2014	0,07	0,02	0,07	0,07	0,01	0,07	0,46
	2018	0,06	0,02	0,06	0,06	0,02	0,05	0,29
Na, %	2011	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00
	2014	0,01	0,00	0,01	0,02	0,02	0,01	0,00
	2018	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,65
	2011	0,02	0,01	0,02	0,06	0,04	0,05	0,00
K, %	2014	0,02	0,00	0,02	0,05	0,02	0,05	0,00
	2018	0,02	0,00	0,02	0,05	0,02	0,05	0,00
Sc	2011	0,26	0,06	0,25	0,32	0,13	0,30	0,08
	2014	0,36	0,08	0,40	0,38	0,11	0,40	0,54
	2018	0,25	0,09	0,20	0,31	0,09	0,30	0,02
	2011	0,28	0,09	0,30	0,38	0,14	0,30	0,03
Ga	2014	0,27	0,09	0,25	0,32	0,09	0,30	0,04
	2018	0,29	0,13	0,30	0,29	0,09	0,30	0,78

* reikšmingas vidurkių skirtumas, kai $p < 0,05$.

2 priedas. Makro- ir mikroelementų standartizuotų (z) vertės Pietryčių Baltijos jūros kranto paplūdimio smėlio šašaose: a) 2011, b) 2014, c) 2018 m.

a.

Ėminio ėmimo vieta	Al	Ca	Mg	Na	Fe	K	P	Ti	As	Co	Cr	Cu	Pb	Zn	Ni	Mn	Sr	Ba	V	Ga	La	Th	U	Sc
1	-0.6	0.3	0.2	-1.4	-0.6	-0.5	-1.1	-1.0	-0.5	-0.1	-0.7	2.2	-1.1	-0.7	-1.0	0.1	-0.7	-0.3	-0.9	-1.3	-1.0	0.2	-1.4	-0.1
7	0.3	2.4	1.3	-0.4	-0.2	-0.5	-1.1	0.6	-0.5	-0.1	-0.5	2.1	1.0	1.0	0.8	1.9	1.4	2.0	-0.3	0.2	-0.2	0.7	-0.6	-0.6
11	-0.3	0.4	0.7	-0.7	-0.3	-0.2	-0.4	0.1	-0.5	-0.5	-0.3	-1.1	-0.4	-0.4	-1.0	0.7	0.0	-0.4	-0.3	-0.8	-0.3	1.5	-0.6	0.5
13	-0.3	0.2	-0.1	-0.7	-0.4	-0.4	-0.7	-0.4	-0.1	-0.5	-0.5	-0.2	-0.4	-0.2	-0.3	0.0	-0.6	0.3	-0.9	-0.3	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6
19	-0.6	0.3	0.2	-0.7	-0.5	-0.5	-0.5	1.2	-0.5	-0.5	-0.5	0.1	0.2	-0.5	-0.3	0.2	-0.5	0.3	-0.3	-0.3	-0.3	0.4	-0.6	-0.6
21	-0.8	0.3	0.5	-1.0	-0.5	-0.5	-0.3	0.1	-0.5	-0.5	-0.5	0.4	0.7	-0.4	-0.6	0.5	-0.1	1.7	-0.3	-0.8	-0.1	1.5	-0.6	-0.1
25	-0.3	1.2	0.5	-0.4	-0.4	-0.4	-0.9	-0.4	0.1	-0.5	-0.5	0.1	-0.2	-0.1	0.1	0.6	0.1	0.9	-0.3	-0.3	-0.6	-0.4	-0.6	-0.6
31	-0.6	1.4	0.7	-1.0	-0.3	-0.4	-0.3	1.2	-0.9	-0.5	-0.4	0.1	-0.1	-0.5	-1.0	1.2	0.9	2.7	-0.3	-0.8	0.0	1.0	-0.6	-0.1
37	-0.3	0.2	-0.1	-0.7	-0.4	-0.5	-0.3	2.2	-0.7	-0.5	-0.5	-0.3	0.3	-0.3	-0.3	0.7	0.1	1.0	-0.3	-0.8	0.3	0.2	0.3	-0.1
41	-0.6	0.7	0.2	-1.4	-0.6	-0.5	-1.0	-0.4	-0.7	-0.9	-0.6	-1.0	-1.0	-0.9	-1.0	0.1	-0.4	-1.0	-0.9	-0.8	-0.9	-0.6	-1.4	-0.6
43	-0.6	0.6	-0.1	-0.7	-0.5	-0.5	-0.6	0.1	-0.3	-0.5	-0.5	0.0	-0.4	-0.5	-0.3	1.3	0.3	0.1	-0.9	-0.3	0.1	0.4	-0.6	-0.6
49	-0.3	1.6	0.7	-0.1	-0.4	-0.5	-0.4	3.3	-0.1	-0.1	-0.3	3.0	0.3	-0.2	0.1	2.0	0.8	0.4	0.2	0.2	0.4	1.2	0.3	-0.1
51	-0.6	2.2	1.9	-1.0	-0.5	-0.5	-0.6	-1.4	-0.5	-0.6	-0.7	-0.5	-0.4	-1.0	1.1	1.1	0.9	0.3	-0.8	-0.6	-0.4	-0.6	-0.1	-0.1
55	0.0	3.5	2.8	-0.1	-0.2	-0.5	-0.5	2.7	-0.5	0.3	-0.3	1.7	0.3	0.1	0.8	3.1	2.0	1.0	0.2	0.2	0.9	2.6	1.2	-0.1
61	-0.3	-0.2	-0.1	-0.4	-0.4	-0.4	-0.2	0.6	-0.5	-0.5	-0.4	0.4	-0.8	-0.6	-0.3	0.1	-0.2	3.5	0.3	-0.1	0.2	-0.6	-0.6	-0.1
67	-0.6	0.1	-0.7	-0.7	-0.5	-0.5	-0.7	0.1	-0.7	-0.5	-0.5	-0.4	0.1	-0.7	-0.6	-0.3	-0.7	1.5	-0.9	-0.3	-0.5	-0.6	-0.6	-0.6
71	-0.3	0.4	-0.4	-0.1	-0.5	-0.5	-1.0	-0.4	-0.3	-0.5	-0.7	-0.9	-0.9	-0.7	-0.3	0.5	-0.4	-0.2	-0.9	-0.3	-0.8	-0.6	-0.6	-0.6
73	0.0	0.4	-0.7	0.3	-0.3	-0.5	-1.1	-0.4	0.1	-0.1	-0.7	2.3	1.2	0.1	0.1	0.2	-0.8	0.1	-0.9	0.2	-0.5	0.2	-0.6	-0.6
Klaipėdos sąsiauris																								
79	0.9	-0.4	0.5	-0.7	0.8	0.7	0.6	-0.4	1.7	0.7	0.9	0.0	0.7	1.5	0.8	0.6	0.0	-0.4	0.7	1.2	0.6	-0.1	0.3	0.5
81	0.0	-0.7	-0.4	-1.0	0.2	0.3	-0.5	-0.4	-0.3	-0.1	0.1	-0.9	-0.3	-0.1	0.1	-0.4	-0.8	-0.7	0.2	-0.3	-0.3	-0.1	-0.6	0.5
85	0.6	-0.6	-0.1	-0.4	0.7	0.6	0.4	0.1	1.2	0.7	0.8	-0.3	0.8	1.0	0.8	-0.2	-0.3	-0.6	0.7	0.7	0.6	-0.6	0.3	-0.1
91	0.3	-0.7	-0.1	-0.7	0.4	0.6	0.4	-0.4	-0.1	-0.1	0.6	-0.8	0.0	0.0	0.1	-0.5	-0.2	-1.0	0.7	0.2	0.2	0.2	0.3	1.1
97	-0.3	-0.9	-0.7	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-1.0	0.1	-0.1	0.0	-0.7	-0.2	0.3	-0.3	-1.0	-1.0	-0.5	0.2	-0.3	-0.5	-0.9	-0.6	-0.6
101	5.3	0.3	3.3	2.2	5.4	5.3	4.3	0.6	4.1	5.3	5.3	0.1	4.3	4.9	4.9	1.9	3.9	-0.5	5.0	5.1	4.8	3.1	3.8	5.1
103	0.6	-0.9	-0.4	-0.4	0.8	0.7	-0.1	-0.4	1.9	0.7	0.8	0.4	0.8	0.8	0.8	-0.6	-0.8	-0.5	0.7	0.7	0.0	-0.6	-0.6	-0.1
109	0.3	-0.9	-0.7	2.2	0.6	0.6	0.2	-0.4	1.0	0.7	0.6	-0.3	0.6	0.8	0.8	-0.6	-0.5	-0.4	0.7	0.7	0.2	-0.4	0.3	-0.1
111	2.4	-0.2	1.6	0.6	2.3	2.5	1.9	-0.4	1.9	2.2	2.1	-0.8	1.6	1.6	1.6	0.1	1.4	-0.8	2.3	1.7	1.9	1.0	2.1	2.2
115	-0.3	-0.8	-1.0	0.6	-0.1	-0.1	0.2	-0.4	-0.1	-0.1	0.0	0.5	-0.1	-0.1	0.1	-1.1	-0.5	-0.4	-0.3	0.2	0.0	-0.9	0.3	-0.6
121	0.0	-0.9	-0.7	-0.1	-0.1	0.1	0.0	-0.4	-0.9	-0.1	0.0	-0.8	-0.3	-0.2	-0.3	-0.9	-0.6	-0.7	0.2	-0.3	0.3	0.4	-0.6	0.5
127	-0.6	-1.0	-1.3	0.6	-0.4	-0.4	-0.3	-1.0	0.4	-0.5	-0.3	0.1	-0.7	-0.4	-0.3	-1.0	-1.1	-0.7	-0.3	-0.3	-0.7	-1.2	0.3	-0.6
131	0.0	-1.0	-1.0	0.3	0.0	-0.1	-0.3	-0.4	-0.1	-0.1	-0.2	0.6	-0.6	-0.4	-0.3	-0.5	-0.9	-0.5	-0.3	-0.3	-0.6	0.2	-0.6	-0.1
133	0.0	-0.9	-0.7	1.6	-0.1	-0.2	0.1	-0.4	-0.3	0.3	-0.2	-0.4	-0.4	1.0	0.1	-0.4	-0.4	-0.2	-0.3	-0.3	-0.2	0.9	0.3	0.5
139	-0.6	-0.9	-1.0	-0.4	-0.2	-0.1	-0.1	-1.0	0.1	-0.1	-0.1	-0.7	0.5	-0.4	-0.3	-1.2	-0.8	-0.9	-0.3	-0.3	-0.5	-1.2	-0.6	-0.6
141	-0.6	-1.1	-1.0	0.3	-0.5	-0.2	-0.7	-1.0	-1.8	-0.5	-0.5	-1.2	-1.0	-0.5	-1.0	-1.2	-1.3	-0.6	-0.3	-0.8	-1.1	-1.2	-1.4	-0.1
145	0.9	0.0	0.5	2.2	1.1	1.0	2.5	2.2	1.2	1.4	1.1	-0.2	2.3	1.2	1.6	0.1	1.7	-0.4	1.3	1.7	2.4	1.0	2.1	1.1
151	-0.6	-1.0	-1.3	0.3	-0.5	-0.4	-0.4	-1.0	-1.8	-0.5	-0.3	-1.1	-1.0	-0.7	-0.6	-1.2	-1.0	-0.5	-0.3	-0.8	-0.8	-0.9	-0.6	-0.1
157	-0.3	-0.6	-0.4	-0.7	-0.1	-0.1	0.3	-0.4	0.1	-0.1	-0.1	-0.8	-0.3	-0.4	-0.3	-0.9	-0.4	-0.7	-0.3	0.2	-0.2	-1.2	0.3	-0.6
161	-0.3	-0.6	-0.7	0.9	-0.5	-0.4	1.0	-0.4	-0.9	-0.1	-0.3	-0.9	-1.0	-0.9	-0.6	-0.9	0.8	-0.6	-0.3	-0.3	-0.5	-0.4	1.2	-0.1
163	-0.6	-0.6	-1.0	3.2	-0.4	-0.4	0.7	0.1	-0.3	-0.5	-0.2	1.0	-0.5	-0.5	-0.3	-1.0	0.1	-0.5	-0.3	0.2	0.7	1.2	1.2	-0.6
169	-0.6	-0.4	-0.4	0.3	-0.5	-0.4	0.4	-0.4	-0.7	-0.5	-0.5	0.8	-0.8	-0.4	-0.3	-0.9	-0.1	-0.6	-0.3	-0.3	-0.7	-0.9	0.3	-0.6
171	-0.6	-0.6	-0.4	-0.1	-0.5	-0.4	-0.1	-1.0	-0.7	-0.5	-0.4	-0.7	-1.2	-1.0	-1.0	-0.8	-0.3	-0.5	-0.3	-0.8	-0.5	-1.2	-0.6	-0.6
175	-0.6	-0.5	-0.4	-0.1	-0.4	-0.4	0.1	-0.4	-0.3	-0.5	-0.3	0.4	-0.6	-0.4	-0.3	-1.0	-0.4	-0.6	-0.3	-0.3	-0.5	-0.6	0.3	-0.6
181	0.0	0.1	0.7	0.6	-0.1	-0.1	1.3	-0.4	-0.7	-0.1	-0.1	-1.0	0.1	-0.6	-0.6	-0.2	1.4	-0.5	0.2	-0.3	0.2	-0.4	1.2	0.5

b.

Ēminio ėmimo vieta	Al	Ca	Mg	Na	Fe	K	P	Ti	As	Co	Cr	Cu	Pb	Zn	Ni	Mn	Sr	Ba	V	Ga	La	Th	U	Sc
1	0,6	0,8	1,1	-0,5	-0,2	-0,9	-0,9	1,6	-1,2	-0,2	-0,9	2,5	1,0	1,2	0,7	1,2	0,4	1,0	0,3	0,0	0,8	1,6	0,0	0,3
7	1,3	1,3	1,6	-0,5	-0,1	-0,9	-1,3	0,6	0,3	0,5	-0,9	3,4	0,5	0,9	0,7	1,7	0,5	0,4	-0,5	0,0	-0,5	0,0	-1,1	0,3
11	-1,3	-0,1	-0,3	-0,6	-0,6	-0,5	-0,6	-0,8	-1,2	-1,0	-0,5	1,7	-0,6	0,0	-1,2	-0,3	-0,5	0,3	-0,5	0,0	-0,5	-0,9	-1,1	-0,7
13	-0,6	0,2	0,1	-0,5	-1,0	-0,5	-1,0	-0,8	-1,2	-1,0	-0,9	3,1	0,0	0,3	-0,6	-0,1	-0,4	-0,1	-1,3	-1,1	-1,0	-0,8	-1,1	-0,7
19	0,0	1,0	0,5	-0,3	-0,4	-0,5	-1,1	-0,5	-1,2	-0,2	-0,8	-0,3	-0,6	0,1	0,7	0,7	0,7	-0,1	-0,5	0,0	-0,5	-0,6	-1,1	0,3
21	0,0	1,2	1,1	-0,5	-0,2	-0,5	-1,0	-0,5	-0,2	-0,2	-0,6	-0,4	-0,4	-0,1	0,0	1,1	1,0	0,0	-0,5	0,0	-0,6	-0,6	-1,1	-0,7
25	-0,6	0,7	0,3	-0,5	-0,9	-0,9	-0,7	-0,5	-1,2	-1,0	-0,9	2,5	-0,6	0,4	-0,6	0,2	0,2	-0,2	-0,5	-1,1	-0,5	-0,8	-1,1	-0,7
31	-0,6	0,1	-0,1	-0,5	-0,6	-0,9	-0,6	-0,5	-0,7	-0,2	-1,2	-0,3	-0,6	-0,4	0,0	0,2	-0,2	-0,1	-1,3	-1,1	-0,1	-0,2	0,0	-0,7
37	-0,6	-0,1	-0,3	-0,6	-0,6	-0,9	-0,3	0,2	-0,2	-0,2	-0,9	-0,4	-0,4	-0,8	-1,2	0,1	-0,3	0,5	-0,5	-1,1	0,7	0,5	0,0	0,3
41	-1,3	0,0	-0,3	-0,6	-0,9	-0,9	-0,3	1,9	-1,2	-1,0	-0,4	-0,2	1,6	-0,3	-0,6	0,1	-0,3	-0,1	0,3	-1,1	1,0	2,6	0,0	0,3
43	-1,3	0,0	-0,1	-0,4	-0,7	-0,5	0,2	1,6	-0,7	-1,0	0,0	-0,5	0,4	0,1	0,0	0,3	0,1	0,0	-0,5	-1,1	0,1	-0,4	0,0	0,3
49	0,6	3,5	3,0	-0,5	-0,2	-0,9	-1,2	0,6	-0,7	0,5	-0,9	-0,2	-1,0	1,5	0,7	2,5	3,2	3,5	-0,5	0,0	-0,6	-0,4	-1,1	0,3
51	0,6	2,8	3,2	-0,6	1,5	-0,9	-0,6	4,0	-0,2	2,8	0,9	0,1	1,1	0,7	1,9	3,4	2,7	4,7	4,3	1,1	1,6	1,8	0,0	2,3
55	1,3	2,6	2,4	-0,4	-0,1	-0,9	-1,0	0,9	-0,2	0,5	-0,8	-0,1	0,4	0,0	0,7	2,3	2,9	1,1	0,3	1,1	0,5	1,8	0,0	0,3
61	-1,3	0,3	0,3	-0,5	-1,2	-0,9	-1,0	-0,5	-0,7	-1,0	-1,0	-0,3	0,2	-0,9	-1,2	-0,1	-0,3	-0,1	-0,5	-1,1	-1,0	-0,6	-1,1	-0,7
67	-1,3	-0,3	-0,7	-0,6	-1,2	-0,9	-0,8	0,6	-1,7	-1,0	-0,9	-0,5	-0,4	5,0	-1,2	-0,3	-0,6	-0,3	-0,5	-1,1	1,2	1,5	0,0	-0,7
71	0,0	0,0	-0,5	-0,5	-0,9	-0,9	-1,4	-0,5	0,8	-1,0	-1,2	-0,4	-0,4	1,4	-0,6	-0,2	-0,7	-0,3	-1,3	-1,1	-0,7	0,3	-1,1	-1,8
73	2,6	0,9	1,1	-0,3	0,5	-0,5	-1,0	0,9	-0,2	0,5	-0,9	-0,1	1,9	0,8	0,7	1,6	0,6	0,5	0,3	2,1	-0,3	0,3	0,0	0,3
Klaipėdos sasiauris																								
79	-0,6	-0,6	-0,5	-0,5	0,1	0,4	0,1	-0,1	-1,2	-0,2	0,5	-0,6	0,4	-0,5	-1,2	-0,4	-0,7	-0,6	0,3	0,0	0,8	2,2	1,1	0,3
81	-1,3	-0,7	-0,9	0,2	-1,0	-0,5	-0,9	-0,8	-0,2	-1,0	-0,6	-0,6	-1,5	-1,0	-1,2	-0,7	-1,2	-0,5	-0,5	-1,1	-0,9	-0,4	-1,1	-0,7
85	-0,6	-0,7	-0,7	1,7	-0,2	0,4	-0,3	-0,8	-0,2	-0,2	0,2	-0,5	0,2	-0,6	0,0	-0,8	-0,9	-0,5	-0,5	-1,1	-0,8	-0,9	-1,1	0,3
91	0,0	-0,7	-0,5	1,1	0,7	1,2	-0,1	-0,8	0,8	-0,2	1,1	-0,5	0,0	-0,1	0,0	-0,7	-0,8	-0,5	0,3	0,0	-0,7	-0,9	-1,1	0,3
97	0,0	-0,8	-0,7	0,1	0,2	0,8	0,1	-0,8	-0,2	-0,2	0,9	-0,6	-0,3	-0,2	-0,6	-0,8	-0,7	-0,3	0,3	0,0	-0,5	-0,8	-1,1	0,3
101	0,0	-0,7	-0,7	-0,2	0,4	0,8	0,4	-0,8	0,3	-0,2	0,8	-0,6	-0,6	-0,4	-0,6	-0,9	-0,6	-0,6	0,3	0,0	-0,2	-0,8	0,0	0,3
103	0,0	-0,8	-0,7	0,1	0,7	1,2	0,2	-0,8	0,3	-0,2	1,1	-0,5	0,4	-0,1	0,0	-0,9	-0,7	-0,6	0,3	0,0	0,3	-0,6	0,0	0,3
109	1,3	-0,7	-0,3	1,1	2,2	2,1	0,9	-0,5	2,9	2,0	2,0	-0,5	1,0	0,4	1,9	-0,3	-0,4	-0,5	1,1	1,1	0,3	-0,6	0,0	1,3
111	0,6	-0,6	-0,5	1,1	1,5	1,6	0,8	-0,8	1,9	0,5	1,8	-0,5	0,5	0,0	0,0	-0,7	-0,2	-0,4	1,1	1,1	0,4	-0,8	0,0	1,3
115	0,0	-0,8	-1,1	-0,3	-0,4	-0,9	-0,3	-0,5	0,3	-0,2	-0,7	-0,3	-1,1	-0,7	0,7	-0,5	-0,9	-0,2	-0,5	0,0	-0,7	-0,2	0,0	-0,7
121	0,0	-0,8	-1,1	0,0	-0,2	-0,5	-0,2	-0,5	-0,2	-0,2	-0,6	-0,3	-0,1	-0,5	-0,6	-0,6	-0,9	0,0	-0,5	0,0	-0,9	0,2	1,1	-0,7
127	0,6	-0,8	-0,9	-0,3	0,1	-0,5	-0,1	0,2	0,3	0,5	-0,4	0,5	-0,5	-0,1	0,0	-0,3	-0,7	-0,2	0,3	1,1	-0,4	0,0	0,0	0,3
131	2,6	-0,6	-0,1	0,0	2,2	1,2	1,0	1,3	1,9	2,8	1,4	-0,2	1,8	0,6	2,6	0,4	0,1	-0,2	1,1	2,1	1,1	0,5	2,2	1,3
133	-0,6	-0,8	-1,1	1,9	-0,9	-0,5	-0,1	-0,8	-0,7	-1,0	-0,7	-0,4	-1,1	-0,8	-1,2	-0,8	-0,8	-0,6	-0,5	-1,1	-0,9	-0,6	0,0	-0,7
139	0,0	-0,7	-0,7	-0,2	-0,1	0,0	0,5	-0,8	0,8	-0,2	0,2	-0,5	-0,7	-0,8	0,0	-0,8	-0,3	-0,7	-0,5	0,0	-0,9	-0,9	0,0	-0,7
141	-1,3	-0,8	-0,5	5,1	-0,2	0,4	0,0	-1,1	-0,2	-1,0	0,2	-0,6	-0,8	-0,8	-1,2	-1,1	-0,7	-0,8	-0,5	-1,1	-0,7	-0,9	-1,1	-0,7
145	2,6	-0,3	0,3	0,0	3,6	3,7	3,4	1,3	2,9	2,8	3,2	-0,4	3,8	0,4	2,6	-0,1	1,1	-0,4	2,7	3,2	4,3	2,4	3,3	3,4
151	0,0	-0,7	-0,9	-0,4	-0,6	-0,5	0,1	-0,5	-0,2	-0,2	-0,5	-0,3	-1,0	-0,4	-0,6	-0,6	-0,6	-0,3	-0,5	0,0	-0,8	-0,6	0,0	-0,7
157	0,0	-0,4	-0,1	-0,5	0,4	0,8	0,7	-0,5	0,8	-0,2	0,7	0,2	0,2	-0,3	0,0	-0,8	-0,4	-0,5	0,3	1,1	-0,3	-0,9	0,0	-0,7
161	-0,6	-0,4	-0,3	-0,3	-0,4	0,0	1,2	-0,1	-0,2	0,5	0,1	-0,4	-0,7	-0,9	0,0	-0,6	0,2	-0,6	0,3	0,0	0,1	-0,8	1,1	0,3
163	0,0	-0,5	-0,3	-0,4	-0,2	0,4	0,7	-0,1	0,3	-0,2	0,2	-0,5	-0,2	-0,5	0,0	-0,5	-0,2	-0,5	-0,5	0,0	0,0	1,1	1,1	0,3
169	-0,6	-0,4	-0,3	-0,3	-0,6	0,0	0,5	-0,8	0,3	-0,2	0,0	-0,3	-0,9	-1,0	-0,6	-0,9	-0,5	-0,5	-0,5	0,0	-0,5	-0,9	0,0	-1,8
171	0,0	-0,2	0,1	-0,3	0,1	0,4	1,7	0,9	-0,2	0,5	0,6	-0,4	0,2	-0,5	0,0	-0,2	0,5	-0,1	0,3	0,0	1,5	0,3	1,1	0,3
175	0,6	0,1	0,5	-0,4	1,5	1,6	2,7	0,2	0,3	1,3	1,5	-0,5	0,7	0,0	1,9	-0,1	1,5	0,2	1,1	1,1	1,5	-0,6	2,2	-1,3
181	-0,6	-0,3	-0,3	0,6	-1,0	-0,5	0,8	-0,8	0,3	-1,0	-0,5	-0,3	-1,6	-1,0	-0,6	-0,7	-0,2	-0,5	-0,5	0,0	-0,5	0,0	1,1	-1,8

C.

Ēminio ģimeno vieta	Al	Ca	Mg	Na	Fe	K	P	Ti	As	Co	Cr	Cu	Pb	Zn	Ni	Mn	Sr	Ba	V	Ga	La	Th	U	Sc
1	-0.3	-0.2	-0.7	-0.6	-0.8	0.8	-0.9	-1.2	-1.1	-0.3	0.0	0.2	0.6	-1.3	-0.2	-1.3	0.9	0.2	0.8	0.0	-0.3	-1.3	-0.8	-1.0
7	-0.1	-0.1	0.9	0.9	0.6	1.3	0.7	0.0	-0.4	0.2	0.2	0.9	0.8	-1.1	0.2	-0.9	1.0	-0.2	2.6	1.0	1.3	-0.8	1.0	0.2
11	-0.3	-0.2	-0.4	-1.1	-0.8	0.0	-0.7	-1.2	-1.1	-0.5	-0.4	0.2	0.0	-1.0	-0.5	-1.0	0.3	-0.4	-0.3	0.0	-1.0	-0.8	0.1	0.2
13	-0.2	-0.1	0.4	0.9	-0.8	1.3	-0.1	0.2	-0.4	-0.1	0.9	0.9	1.2	-0.7	-0.1	-0.6	1.4	0.3	0.2	0.0	-0.9	-0.8	0.1	0.2
19	-0.3	-0.2	-0.5	-0.1	-0.8	-0.1	-0.9	-0.6	-0.4	-0.5	-0.4	0.2	0.1	-0.9	-0.6	-0.7	-0.1	-0.3	-0.3	-0.5	-0.4	-0.8	-0.8	-1.0
21	-0.1	-0.2	-0.8	-0.6	-0.8	-0.1	-1.0	0.0	-1.1	-0.1	-0.4	0.2	-0.1	-0.8	-0.7	-0.6	-0.1	2.1	-0.3	-1.0	-0.8	-0.8	-0.8	-1.0
25	-0.3	-0.1	-0.2	0.4	-0.1	0.7	-0.4	-1.2	-0.4	-0.3	0.5	0.9	0.5	-0.2	0.0	-0.6	0.7	2.5	0.2	-0.5	0.4	-0.8	0.1	-1.0
31	-0.2	-0.2	-0.4	0.4	-0.1	0.3	-0.2	0.8	-0.4	-0.5	-0.2	0.9	0.0	-0.5	0.0	-0.6	-0.3	-0.3	-0.3	-0.5	0.4	-0.8	-0.8	-1.0
37	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	0.5	-0.4	-0.6	-0.4	-0.5	0.6	0.2	0.7	-0.6	-0.4	-0.6	0.1	0.4	-0.3	0.0	0.4	-0.8	0.1	-1.0
41	-0.3	-0.2	-1.1	-1.6	-1.5	-0.2	-1.2	-0.9	-1.1	-0.6	-0.1	0.2	0.3	-0.9	-0.7	-1.0	-0.1	-0.3	-0.9	-0.5	1.4	-0.8	-0.8	-1.0
43	-0.3	-0.2	-0.9	-1.1	-0.8	-0.3	-1.4	-1.2	-1.1	-0.6	-0.6	0.2	-0.1	-0.9	-0.7	-0.8	-0.4	-0.6	-0.3	-1.0	-1.0	-0.8	-0.8	-1.0
49	0.1	-0.2	5.0	0.4	0.6	1.4	-0.2	-0.6	-0.4	-0.5	1.4	0.9	1.9	-0.7	-0.1	-0.6	1.4	1.8	1.4	0.0	0.4	-0.8	0.1	0.2
51	-0.2	-0.2	-0.6	-0.6	-0.1	2.0	-0.2	-1.8	-0.4	0.0	1.7	0.9	2.4	-0.7	0.0	-0.8	2.5	4.1	1.4	0.5	-0.4	-0.8	-0.8	1.3
55	-0.1	-0.2	0.0	1.9	0.6	1.8	-0.2	0.0	-0.4	0.4	2.0	0.9	2.0	-1.0	-0.3	-0.2	1.6	1.0	0.8	1.0	2.2	-0.8	0.1	-1.0
61	0.3	-0.1	1.2	2.4	2.1	3.9	1.6	0.8	0.4	0.4	4.1	1.6	3.9	-0.9	0.2	-0.5	4.0	0.2	2.6	2.9	-0.8	-0.4	2.9	1.3
67	-0.3	-0.2	-0.8	-0.6	-0.8	-0.5	-1.2	-0.3	-0.4	-0.3	-0.8	0.2	-0.4	-0.7	-0.5	-0.8	-0.8	-0.6	-0.9	-1.0	1.1	-0.8	-0.8	-2.1
71	0.1	-0.1	0.7	-0.1	0.6	1.1	0.7	-0.3	3.9	5.7	0.6	0.9	1.1	-0.8	4.7	-0.8	0.7	0.2	1.4	1.9	-0.5	-0.4	2.9	1.3
73	-0.1	-0.1	0.1	0.4	1.3	-0.1	-0.2	0.2	-1.1	0.4	0.9	0.9	-0.2	-1.1	-0.4	-0.9	-0.6	-0.3	0.2	0.0	-0.8	0.1	-1.0	
Klaipēdas sasiuris																								
79	-0.3	-0.1	0.4	0.4	0.6	-0.1	1.6	1.1	0.4	-0.5	-0.4	1.6	-0.5	0.5	0.0	2.0	-0.1	-0.6	-0.9	0.5	-0.6	1.8	1.0	0.2
81	-0.3	-0.2	-0.3	-0.6	-0.8	-0.5	1.1	-0.3	-0.4	0.7	-0.8	1.6	-0.6	0.0	-0.4	1.3	-0.4	-0.5	-0.9	0.5	-0.5	1.8	0.1	1.3
85	-0.3	-0.1	1.0	0.9	1.3	-0.2	2.5	1.4	0.4	-0.5	-0.2	2.3	-0.5	0.8	0.4	3.1	-0.3	-0.6	-0.9	1.0	-0.1	2.7	1.0	1.3
91	-0.2	-0.1	0.3	-0.1	-0.1	-0.7	0.6	0.8	-0.4	-0.5	-0.9	1.6	-0.7	-0.1	-0.3	1.1	-0.8	-0.6	-0.9	0.0	-0.2	0.9	0.1	0.2
97	-0.3	-0.2	0.0	-0.1	-0.1	-0.8	0.3	0.8	-0.4	-0.6	-0.9	0.9	-0.8	-0.2	-0.4	0.9	-0.8	-0.7	-0.9	-0.5	-0.5	0.5	0.1	-1.0
101	-0.3	-0.2	-0.4	-0.6	-0.1	-0.9	0.1	-1.8	-0.4	-0.1	-1.0	1.6	-0.8	-0.3	-0.6	0.6	-0.8	-0.3	-0.9	0.0	-0.3	0.9	0.1	0.2
103	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.8	0.3	0.2	-0.4	-0.6	-0.9	0.9	-0.7	-0.1	-0.4	0.9	-0.8	-0.8	-0.9	-0.5	-0.2	0.5	0.1	0.2
109	-0.3	-0.2	-0.4	-0.6	-0.1	-0.9	-0.1	-0.3	-0.4	-0.5	-0.8	0.9	-0.7	0.2	-0.4	0.4	-0.8	-0.7	-0.9	-0.5	-0.5	0.5	-0.8	-1.0
111	-0.3	-0.2	-0.5	-1.1	-0.8	-0.9	-0.7	-0.9	-0.4	0.7	-1.0	0.9	-0.8	-0.6	-0.7	-0.2	-0.8	-0.2	-0.9	-0.5	2.1	0.0	-0.8	0.2
115	-0.3	-0.2	-0.5	-0.1	-0.1	-0.7	-0.6	0.0	-0.4	-0.6	-0.7	0.9	-0.8	0.0	-0.4	-0.1	-0.8	-0.4	-0.3	-0.5	4.2	0.0	-0.8	-1.0
121	-0.4	-0.2	-0.7	-1.1	-0.8	-0.9	-0.7	-0.3	-0.4	-0.6	-0.4	0.2	-0.7	0.5	-0.8	-0.4	-1.0	-0.5	-0.9	-1.0	0.1	-0.4	-0.8	-1.0
127	6.0	6.5	1.7	1.9	0.6	-0.3	0.6	2.2	-1.8	0.5	0.6	1.6	-0.5	1.6	-0.3	-0.1	-0.8	1.8	1.4	2.4	-0.1	0.5	-2.7	0.2
131	1.1	-0.2	0.0	-0.6	-0.8	-0.7	-0.7	0.0	0.4	0.5	-0.8	0.2	-0.8	-0.2	-0.5	-0.7	-1.0	-0.3	-0.3	-0.5	-0.5	-0.4	0.1	0.2
133	0.0	0.0	1.6	3.4	4.2	0.7	3.5	3.7	3.2	0.7	1.5	3.0	-0.2	3.4	1.5	2.1	0.1	0.0	2.0	2.9	-0.4	2.3	2.9	2.4
139	-0.3	-0.1	-0.4	-0.6	-0.1	-0.8	-0.1	0.0	0.4	-0.6	-0.5	0.9	-0.7	0.7	0.2	0.4	-0.6	-0.6	-0.3	-0.5	0.6	0.5	0.1	0.2
141	1.7	-0.2	-0.6	-1.1	-0.8	-1.1	-1.2	-0.3	-0.4	0.0	-1.0	0.2	-0.8	-0.4	-1.0	-0.4	-1.0	-0.5	-1.5	-1.5	-0.7	-0.4	-0.8	-1.0
145	-0.3	-0.1	-0.2	-0.1	-0.1	-0.8	0.4	0.5	0.4	-0.3	-0.2	0.9	-0.6	0.7	0.3	0.7	-0.6	-0.5	-0.3	-0.5	-0.5	0.9	0.1	1.3
151	-0.3	0.0	0.2	0.4	1.3	-0.3	1.7	1.1	1.1	-0.1	1.1	2.3	-0.4	1.6	1.2	2.2	-0.1	-0.6	0.8	0.5	-0.6	2.3	1.0	2.4
157	-0.2	-0.2	0.2	0.4	0.6	-0.2	-0.4	0.5	0.4	0.2	-0.5	0.9	-0.6	0.3	-0.5	-0.5	-0.4	-0.2	0.8	0.5	-0.6	-0.4	0.1	0.2
161	-0.3	-0.2	-0.7	-0.6	-0.8	-0.8	-0.9	-1.2	-0.4	0.0	-0.8	0.2	-0.7	-0.2	-0.5	-0.5	-0.6	-0.2	-0.3	-1.0	-0.6	-0.4	-0.8	0.2
163	-0.3	-0.2	-0.4	-0.1	0.6	-0.5	-0.1	0.0	0.4	-0.5	-0.2	0.9	-0.5	0.6	0.0	0.3	0.1	-0.6	-0.3	-0.5	-0.2	0.5	-0.8	0.2
169	-0.2	-0.2	-0.2	0.4	-0.1	0.0	-0.2	0.2	1.8	-0.5	0.9	1.6	-0.2	2.5	-0.5	-0.1	0.1	-0.4	0.8	0.0	-0.2	-0.8	0.1	1.3
171	-0.1	-0.2	-0.4	-1.1	-0.8	-0.7	-0.2	0.0	-0.4	0.2	-0.4	0.9	-0.5	0.4	-0.1	0.1	-0.1	-0.4	-0.9	-0.5	-0.1	0.5	-0.8	0.2
175	-0.2	-0.2	-0.7	-0.6	-0.8	-0.5	-0.4	0.2	0.4	-0.6	0.3	0.9	-0.3	1.2	1.0	0.1	-0.3	-0.7	-0.3	-1.0	-0.2	0.0	-0.8	0.2
181	-0.2	-0.2	-0.4	-0.1	-0.1	-0.2	0.1	0.5	1.1	1.5	0.7	0.9	-0.1	1.5	2.9	0.5	0.3	-0.4	0.2	-0.5	0.9	0.5	0.1	0.2

3 priedas. Galimai pavojingų cheminių elementų (Cu, Mn, Zn, Cr) koncentracijos koeficientai (K_k) 2011, 2014 ir 2018 m.

Ėminio ėmimo vieta	K _k (Cu)			K _k (Mn)			K _k (Zn)			K _k (Cr)		
	2011	2014	2018	2011	2014	2018	2011	2014	2018	2011	2014	2018
1	2,00	8,18	1,00	1,11	1,95	1,71	0,81	1,53	0,81	0,48	0,67	0,47
7	1,97	10,38	1,57	1,89	2,20	2,10	1,72	1,40	1,59	0,81	0,67	0,71
11	0,60	6,20	0,96	1,37	1,00	1,14	1,00	1,05	0,95	0,95	0,90	0,65
13	1,00	9,68	1,07	1,05	1,15	2,10	1,06	1,16	1,39	0,76	0,67	0,88
19	1,13	1,20	0,93	1,16	1,60	1,10	0,91	1,09	0,92	0,76	0,76	0,82
21	1,27	0,93	1,68	1,26	1,85	1,05	0,97	1,00	0,78	0,76	0,86	0,88
25	1,13	8,28	1,00	1,32	1,30	1,67	1,13	1,19	1,05	0,76	0,71	0,88
31	1,10	1,30	1,18	1,58	1,30	1,33	0,91	0,88	0,95	0,86	0,52	0,88
37	0,97	0,93	1,21	1,37	1,25	1,52	1,03	0,74	1,05	0,81	0,67	0,88
41	0,67	1,38	0,75	1,11	1,25	1,00	0,75	0,91	0,64	0,67	1,00	0,65
43	1,07	0,70	0,71	1,63	1,35	0,90	0,94	1,07	0,71	0,71	1,24	0,76
49	2,33	1,33	2,68	1,95	2,70	2,14	1,06	1,63	3,63	0,95	0,71	0,88
51	0,80	2,25	1,18	1,53	3,30	2,52	0,97	1,33	0,88	0,67	1,76	0,76
55	1,80	1,58	1,64	2,42	2,60	2,43	1,25	1,02	1,15	0,95	0,76	1,12
61	1,23	1,23	3,71	1,11	1,15	3,90	0,88	0,67	1,76	0,90	0,62	0,94
67	0,90	0,75	0,96	0,95	1,00	0,76	0,84	3,02	0,78	0,71	0,71	0,76
71	0,70	1,00	2,96	1,26	1,05	1,95	0,81	1,60	1,53	0,52	0,52	0,76
73	2,07	1,60	1,54	1,16	2,15	1,10	1,22	1,35	1,22	0,52	0,71	0,71
Klaipėdos sąsiauris												
79	1,07	0,48	0,68	1,32	0,95	1,05	1,94	0,86	1,36	2,67	1,52	2,47
81	0,70	0,53	0,61	0,89	0,75	0,76	1,16	0,65	1,02	1,57	0,86	2,06
85	0,97	0,60	0,61	1,00	0,7	1,00	1,72	0,81	1,66	2,48	1,33	3,12

Ēminio ģimimo vieta	K _k (Cu)			K _k (Mn)			K _k (Zn)			K _k (Cr)		
	2011	2014	2018	2011	2014	2018	2011	2014	2018	2011	2014	2018
91	0,73	0,58	1,04	0,84	0,75	0,67	1,19	1,00	1,32	2,24	1,86	1,94
97	0,77	0,45	0,57	0,63	0,7	0,57	1,34	0,98	1,19	1,43	1,76	1,82
101	x	0,40	0,57	x	0,65	0,52	x	0,88	0,95	x	1,67	1,65
103	1,23	0,78	0,57	0,79	0,65	0,57	1,59	1,00	1,12	2,48	1,86	1,82
109	0,93	0,75	0,57	0,79	1,00	0,52	1,59	1,19	0,98	2,24	2,38	1,53
111	0,73	0,78	0,96	1,11	0,75	0,48	2,00	1,02	0,92	4,29	2,24	1,12
115	1,30	1,08	0,89	0,58	0,85	0,62	1,13	0,77	0,92	1,43	0,81	1,24
121	0,73	1,23	0,50	0,68	0,80	0,52	1,09	0,84	0,85	1,48	0,86	1,00
127	1,13	3,28	x	0,63	1,00	x	1,00	1,00	x	0,95	1,00	x
131	1,33	1,43	7,89	0,84	1,45	0,62	1,00	1,28	1,15	1,10	2,05	0,82
133	0,90	0,83	2,14	0,89	0,70	1,62	1,69	0,74	1,97	1,10	0,81	2,53
139	0,77	0,58	0,68	0,53	0,70	0,57	1,00	0,74	0,98	1,24	1,33	1,53
141	0,57	0,43	11,07	0,53	0,50	0,38	0,91	0,72	0,88	1,05	1,33	1,00
145	1,00	0,80	0,82	1,11	1,15	0,57	1,78	1,21	1,08	2,90	3,10	1,71
151	0,60	1,18	0,86	0,53	0,80	0,90	0,81	0,88	1,25	1,00	0,90	2,59
157	0,73	2,33	1,25	0,68	0,70	1,00	1,00	0,93	1,29	1,29	1,62	0,94
161	0,70	0,88	0,89	0,68	0,80	0,57	0,72	0,67	0,81	1,00	1,29	0,94
163	1,50	0,75	0,89	0,63	0,85	0,76	0,94	0,84	0,95	1,10	1,33	1,47
169	1,40	1,23	1,11	0,68	0,65	1,14	0,97	0,65	1,05	0,81	1,19	1,24
171	0,77	0,85	1,64	0,74	1,05	0,62	0,69	0,84	0,95	0,86	1,57	1,35
175	1,23	0,65	1,04	0,63	1,15	0,76	1,00	1,05	0,81	1,00	2,10	1,35
181	0,67	1,25	1,04	1,00	0,75	1,00	0,88	0,63	0,98	1,24	0,90	1,59

4 priedas. Galimai pavojingų cheminių elementų (Pb, As, Ni, Co) koncentracijos koeficientai (K_k) 2011, 2014 ir 2018 m.

Ėminio ėmimo vieta	K_k (Pb)			K_k (Ni)			K_k (Co)			K_k (As)		
	2011	2014	2018	2011	2014	2018	2011	2014	2018	2011	2014	2018
1	0,60	1,31	0,79	0,70	1,14	0,83	1,00	1,00	0,75	0,90	0,71	0,43
7	1,60	1,19	1,15	1,50	1,14	1,33	1,00	1,25	1,25	0,90	1,14	1,00
11	1,00	0,92	1,00	0,70	0,71	0,67	0,80	0,75	0,75	0,90	0,71	0,43
13	1,00	1,06	1,13	1,00	0,86	1,33	0,80	0,75	0,75	1,10	0,71	1,14
19	1,20	0,92	0,90	1,00	1,14	1,00	0,80	1,00	0,75	0,90	0,71	0,71
21	0,80	0,96	0,85	0,80	1,00	0,83	0,80	1,00	0,75	0,90	1,00	1,00
25	1,00	0,90	1,09	1,20	0,86	1,17	0,80	0,75	1,00	1,30	0,71	0,43
31	1,10	0,90	0,97	0,70	1,00	1,17	0,80	1,00	1,00	0,60	0,86	1,43
37	1,30	0,95	0,94	1,00	0,71	1,00	0,80	1,00	1,00	0,70	1,00	0,71
41	0,70	1,46	0,77	0,70	0,86	0,50	0,50	0,75	0,50	0,70	0,71	0,57
43	1,00	1,16	0,81	1,00	1,00	0,67	0,80	0,75	0,75	1,00	0,86	0,43
49	1,30	0,80	1,02	1,20	1,14	1,17	1,00	1,25	1,25	1,10	0,86	0,71
51	0,90	1,33	0,99	0,70	1,43	0,83	0,80	2,00	1,00	0,30	1,00	0,14
55	1,30	1,16	1,00	1,50	1,14	1,67	1,30	1,25	1,25	0,90	1,00	1,00
61	0,80	1,10	1,40	1,00	0,71	1,83	0,80	0,75	1,75	0,90	0,86	1,43
67	1,20	0,97	0,77	0,80	0,71	0,83	0,80	0,75	0,75	0,70	0,57	0,86
71	0,70	0,95	1,41	1,00	0,86	1,00	0,80	0,75	1,25	1,00	1,29	0,86
73	1,70	1,53	1,08	1,20	1,14	1,17	1,00	1,25	1,50	1,30	1,00	1,14
Klaipėdos sąsiauris												
79	1,50	1,17	1,26	1,50	0,71	1,17	1,50	1,00	1,25	2,30	0,71	1,57
81	1,00	0,67	1,04	1,20	0,71	0,83	1,00	0,75	0,75	1,00	1,00	0,86
85	1,50	1,10	1,57	1,50	1,00	1,33	1,50	1,00	1,50	2,00	1,00	1,71

Èminio èmimo vieta	K _k (Pb)			K _k (Ni)			K _k (Co)			K _k (As)		
	2011	2014	2018	2011	2014	2018	2011	2014	2018	2011	2014	2018
91	1,20	1,07	1,15	1,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,10	1,29	1,43
97	1,10	0,99	1,07	1,00	0,86	1,00	1,00	1,00	1,00	1,30	1,00	1,43
101	x	0,91	1,02	x	0,86	0,83	x	1,00	1,00	x	1,14	0,14
103	1,50	1,16	1,11	1,50	1,00	1,00	1,50	1,00	1,00	2,40	1,14	1,14
109	1,40	1,31	1,02	1,50	1,43	0,83	1,50	1,75	1,00	1,90	1,86	0,86
111	1,90	1,18	0,90	1,80	1,00	0,67	2,50	1,25	0,75	2,40	1,57	0,57
115	1,10	0,78	0,99	1,20	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00	1,10	1,14	1,00
121	1,00	1,03	0,85	1,00	0,86	0,67	1,00	1,00	0,75	0,60	1,00	0,86
127	0,80	0,93	x	1,00	1,00	x	0,80	1,25	x	1,40	1,14	x
131	0,90	1,51	0,86	1,0	1,57	0,83	1,00	2,00	0,75	1,10	1,57	1,00
133	0,90	0,79	1,88	1,2	0,71	2,17	1,30	0,75	2,50	1,00	0,86	2,86
139	1,40	0,89	1,09	1,0	1,00	0,83	1,00	1,00	1,00	1,30	1,29	1,00
141	0,70	0,85	0,73	0,7	0,71	0,67	0,80	0,75	0,75	0,00	1,00	0,86
145	2,20	2,01	1,26	1,8	1,57	1,00	2,00	2,00	1,00	2,00	1,86	1,29
151	0,70	0,81	1,75	0,8	0,86	1,17	0,80	1,00	1,50	0,00	1,00	1,57
157	1,00	1,10	0,92	1,0	1,00	1,17	1,00	1,00	1,25	1,30	1,29	1,29
161	0,70	0,89	0,76	0,8	1,00	0,83	1,00	1,25	0,75	0,60	1,00	0,43
163	0,90	1,00	1,00	1,0	1,00	1,00	0,80	1,00	1,25	1,00	1,14	1,00
169	0,80	0,82	0,86	1,0	0,86	1,17	0,80	1,00	1,00	0,70	1,14	1,14
171	0,60	1,10	0,92	0,7	1,00	0,67	0,80	1,25	0,75	0,70	1,00	1,00
175	0,90	1,24	0,92	1,0	1,43	0,83	0,80	1,50	0,75	1,00	1,14	1,14
181	1,20	0,66	1,07	0,8	0,86	1,00	1,00	0,75	1,00	0,70	1,14	1,29

SUMMARY

1. INTRODUCTION

The granulometric, mineral and geochemical composition of the beach sand sediments depends on the prevailing hydrometeorological conditions, lithomorphological properties, and sources of sediments (Gudelis, 1998). About 50% of the world's beaches are made of sand and gravel deposits transported from land by rivers or entered the coastal zone during cliff abrasion (Bird, 2000).

The sandy shores of the sea are very sensitive to human-induced threats. Traditionally, coastal science has focused on the threats of coastal erosion (Nordstrom et al., 2000) and recreational needs (Ariza et al., 2012). However, beach pollution with potentially harmful chemical elements (PHEs) such as metals (Cu, Pb, Zn, Ni, Cu, Mn, As, Cr) still does not receive much attention from researchers (Defeo et al., 2009). Natural processes such as atmospheric effects, erosion, and the dissolution of water-soluble salts form background concentrations of metals, and anthropogenic activity can significantly increase it (Antonowicz et al., 2017; Beldowska, 2015; Beldowska et al., 2016; Kwasigroch et al., 2018). Due to their sources, such as fossil fuel combustion (transport and energy production), municipal and industrial wastewater treatment, agriculture (fertiliser impurities, pesticide components), production processes (paper, metallurgy, etc.), tourism or military activities (chemical weapons buried after the Second World War, or operating military landfills), these elements are probably one of the most common pollutants in the environment (Vidinha et al., 2009; Guedes et al., 2011; Kriauciūnienė et al., 2013; Díaz Rizo et al., 2015; Beldowska et al., 2016; Bigus et al., 2016). PHEs enter the Baltic Sea coastal zone mostly via rivers from the entire Baltic Sea basin, four times the sea area, or other pathways (precipitation, wind, erosion).

Global studies that analyse trace elements on beaches focus on assessing changes in concentrations in the context of local pollution sources, such as mining sites, urban areas, and industrial complexes (Caredda et al., 1999; Ra et al., 2013; Vidinha et al., 2009; Yalcin, 2009) or tourism activities (Jonathan et al., 2011; Nagarajan et al., 2013; Vetrimurugan et al., 2017). Analytical studies that identify a source of pollution or how a particular source of pollution affects beach sediments are conducted without analysing the geological framework – all overviewed studies intended to identify the pollution source and effect on beach sediments. However, the coastal

processes, and how they impact the accumulation of potentially harmful elements, were not profoundly explored.

Thus, more in-depth insights into beach dynamics are essential. Any changes in beach morphology and quality have an economic and social impact, especially in Lithuania, where the coast is only 90,6 km long (Kairyte and Stevens, 2009; Žilinskas, 1997). Furthermore, there is insufficient information about the condition of Lithuanian beach sediments. For example, there is no information about the background concentrations of potentially harmful chemical elements in beach sediments and their distribution along the coast. In addition, the distinctions in the geochemical composition and sources of the Curonian Spit and the mainland coast beach sediments are yet unclear. The shortage of such data does not allow a reliable assessment of the impact of anthropogenic activities on sandy beaches in Lithuania and neighbouring countries.

The object of this work is potentially harmful chemical elements in the sediments of Lithuanian seacoast beaches.

The work aims to assess the change of potentially harmful chemical elements in the Lithuanian seacoast beach sediments.

The objectives of the work:

1. To determine the concentrations of macro- and microelements in beach sediments and assess the differences between the mainland and the Curonian Spit coast sediments.

2. To identify macro- and microelements and their ratios that allow assessing the transport of sediments along the south-eastern Baltic Sea coast.

3. To calculate the concentration coefficients (K_k) of potentially harmful elements (As, Cu, Cr, Co, Ni, Pb, Zn) to evaluate their change along the Lithuanian seacoast and identify the accumulations as their origin.

4. To evaluate the influence of changes in the lithological properties of beach sediments (granulometry, mineral composition, magnetic susceptibility) and the budget of beach sediments on the change of potentially harmful chemical elements in beaches.

5. To evaluate the possibility of applying the magnetic susceptibility method to identify the accumulation sites of potentially harmful chemical elements on beaches.

Novelty

The mineralogical and geochemical composition of the bottom sediments of the Lithuanian territorial waters of the Baltic Sea and their distribution are already well-analysed (Kairyte et al., 2005; Radzevicius, 2002; Remeikaitė-Nikienė et al., 2018). However, the detailed geochemical composition of

beach sediments has not been investigated so far. The individual studies (Galkus and Jokšas, 1997; Pustelnikovas, 1998) cannot determine the distribution pattern of common elements. This complex study will help identify the background content of elements in the mainland and Curonian Spit seacoast and the main coastal processes that affect the formation of accumulations of these elements along the Lithuanian seacoast.

The study also seeks to quantify the application of the magnetic susceptibility method in long-term geochemical surveys of sandy beaches. Some of the heavy mineral particles can be emitted during industrial processes (burning fossil fuels) jointly with potentially harmful chemical elements incorporated in their grids (Lourenço et al., 2014; Petrovský et al., 2001; Rachwał et al., 2017; Wang et al., 2017; Zhang et al., 2012). Once the relationships between magnetic susceptibility and the elements have been established, this research method was introduced to assess site contamination status or optimise sediment sampling for geochemical analysis. However, its application in analysing coastal sediments is still new and undeveloped (Chaparro et al., 2017).

Relevance

Various economic activities need to be balanced in the seacoast to avoid harmful effects on the natural environment. In 2021 the Baltic Sea Action Plan (BSAP) was approved. One of the four main goals was that the “Baltic Sea [be] unaffected by hazardous substances and litter”, and one of the objectives was to maintain the concentrations of hazardous substances close to their natural levels (HELCOM, 2021). However, according to the latest HELCOM assessments, due to the absence of data on contaminants, it is currently hard to obtain a comprehensive picture of the extent of the contamination of the Baltic Sea.

In addition, with incomplete information, for example, on beaches and their quality, we cannot reliably assess whether this balance is maintained, which is especially relevant for coastal residents and tourists. The data on the distribution of background values of elements in beach sediments on the Lithuanian Baltic Sea coast could help to better disclose the possible negative impact on the environment.

Equally important are more profound insights into beach morphology changes, as noted earlier. This study contains comprehensive research that contributes to a better understanding of the coastal processes taking place and is particularly relevant in addressing various practical issues of coast management related to the improvement of the condition of beaches.

Applicability

Granulometric, mineralogical, and geochemical analyses of beach sand sediments can provide valuable information on sediment transport, onshore distribution, origin, and condition (Hanamgond et al., 2017). In order to ensure a safe environment and carry out efficient coast management, it is vital to assess the origin of sediments and their transport routes to identify the sources that have the most significant impact on onshore recharge (Saitoh et al., 2017). Geochemical research allows detailed analysis of sediments' possible sources and provenance. The study results provide new knowledge to the public and government on beach sediments, which would help assess potential future threats to public health. It also will help select clean beach sites that meet the Blue Flag quality standards and optimize the coastal management strategy.

Defending arguments

1. The primary sediment sources determine the granulometric, mineral and geochemical composition of the sandy sediments of the mainland and the Curonian Spit coast.
2. The geochemical composition of beaches and the accumulations depends on lithodynamic and morphodynamic processes.
3. The content and ratio of macro-and microelements change along the coast could be used to confirm longitudinal sediment transport.
4. The magnetic susceptibility in situ measurements may be used to identify the mineral composition of sediments and potentially harmful chemical element accumulation sites on sandy beaches.

Structure of thesis

In the thesis, the following information is analysed:

1. Firstly, the evaluation of granulometry parameters of beach sediments and magnetic susceptibility values for 2011, 2014, and 2018 was performed. Additionally, the assessment of the composition of heavy mineral beach sediments and the change in the budget of beach sediments during the analysed period was conducted.
2. Secondly, the positive anomalies of the elements and the tendency of their distribution along the coast were identified. Thirdly, an evaluation of the relationships between elements was performed using cluster analysis. After the principal component analysis, the associations of the elements were determined. Finally, the calculation of concentration coefficients for the selected potentially harmful chemical elements (As, Cu, Cr, Co, Mn, Ni, Pb, Zn) was performed, and the element accumulation sites were identified.
3. The research results were summarized in the discussion section, which described the differences between the beach sediments of the mainland and

Curonian Spit coast. In addition, the impact of onshore processes on the distribution of potentially harmful chemical elements along the coast and their accumulation has been assessed by defining the interconnections between elements and beach parameters.

2. STUDY AREA AND METHODS

The study area covers the entire Lithuanian coast, which is divided by the 1.1 km-wide Klaipėda Strait into two parts: the Curonian Spit seacoast (51 km) and the mainland coast (39 km) (Figure 1). The mainland and the coast of the spit differ geologically and geo-morphologically, as the mainland coast is more geologically diverse (Bitinas et al., 2005).

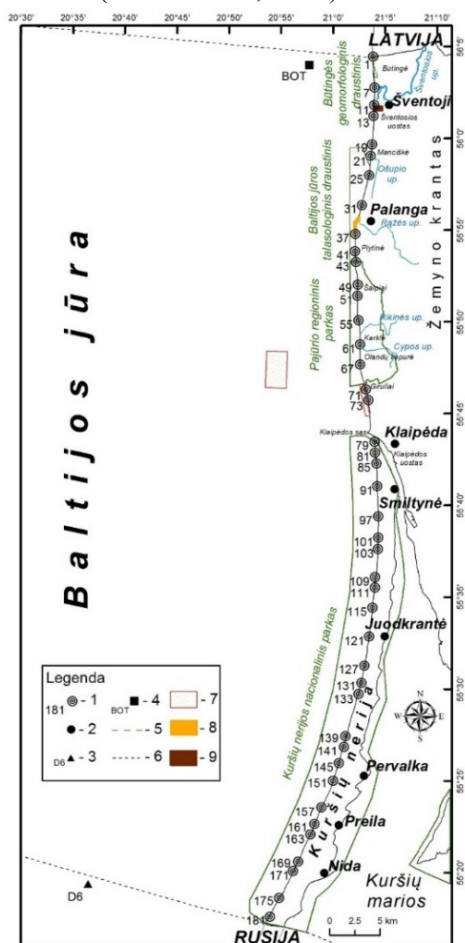


Figure 1 Study area. 1 – surface sand sampling site, 2 – main settlements, 3 – D6 oil platform (Ru); 4 – Būtingė oil terminal; 5–6 – country border; 7 – offshore and nearshore dumping area; 8 – beach nourishment site in Palanga; 9 – storage site of dredged bottom sediments. Modified by author according to Karloniene et al., 2021 a.

In the analysis, we focus on trace elements which are considered of anthropogenic origin (As, Cu, Cr, Co, Ni, Pb, Zn). In addition, the macro elements, lithological and beach morphological parameters were used for the data interpretation. (Figure 2)

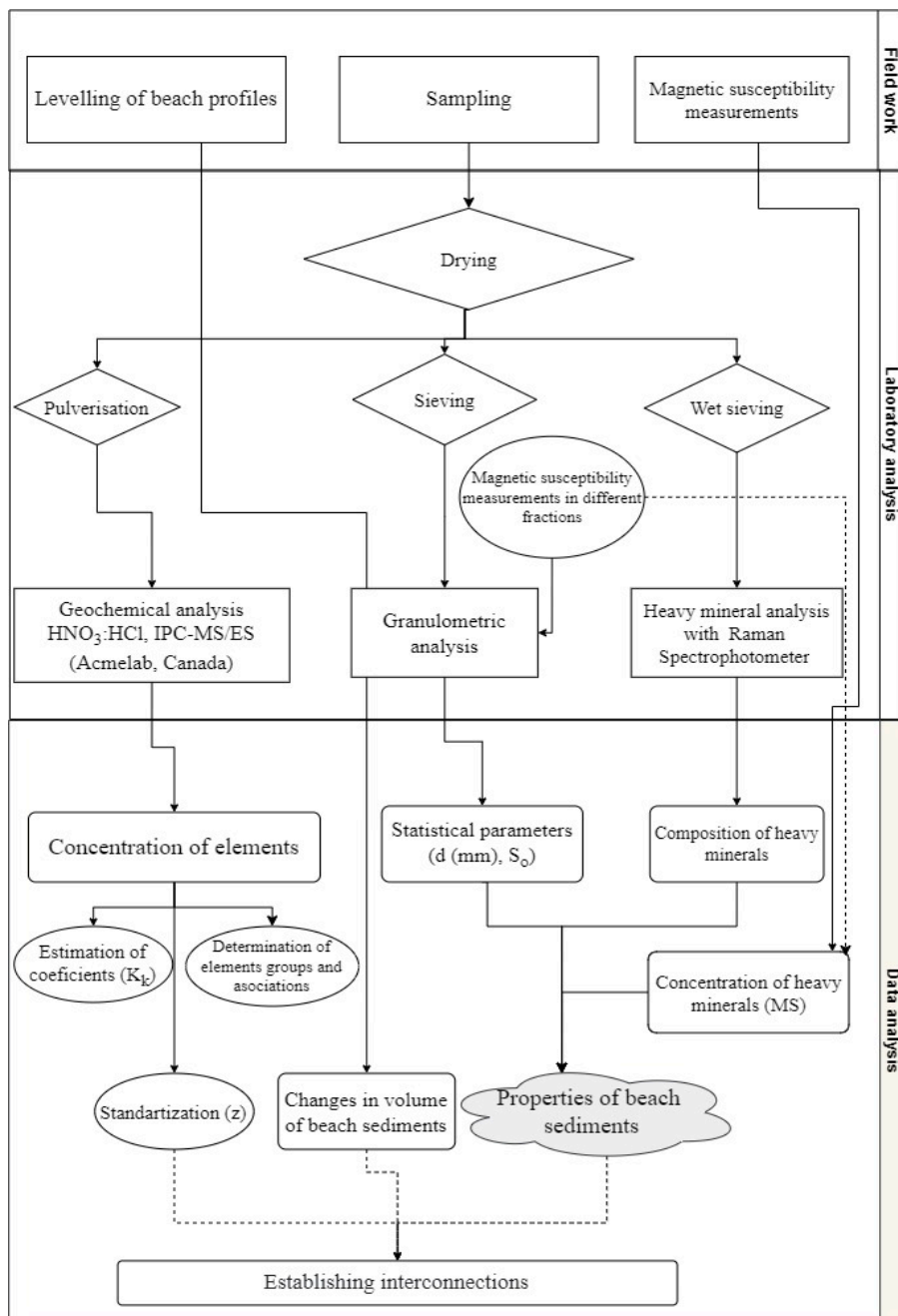


Figure 2 The scheme represents the research methods used during the study.

3. DATA AND RESULTS

3.1 The comparison of the elemental composition of the mainland and Curonian Spit coast beach sediments

The study results showed that the beach sediments of the mainland and the Curonian Spit differ in their elemental composition (Figure 3).

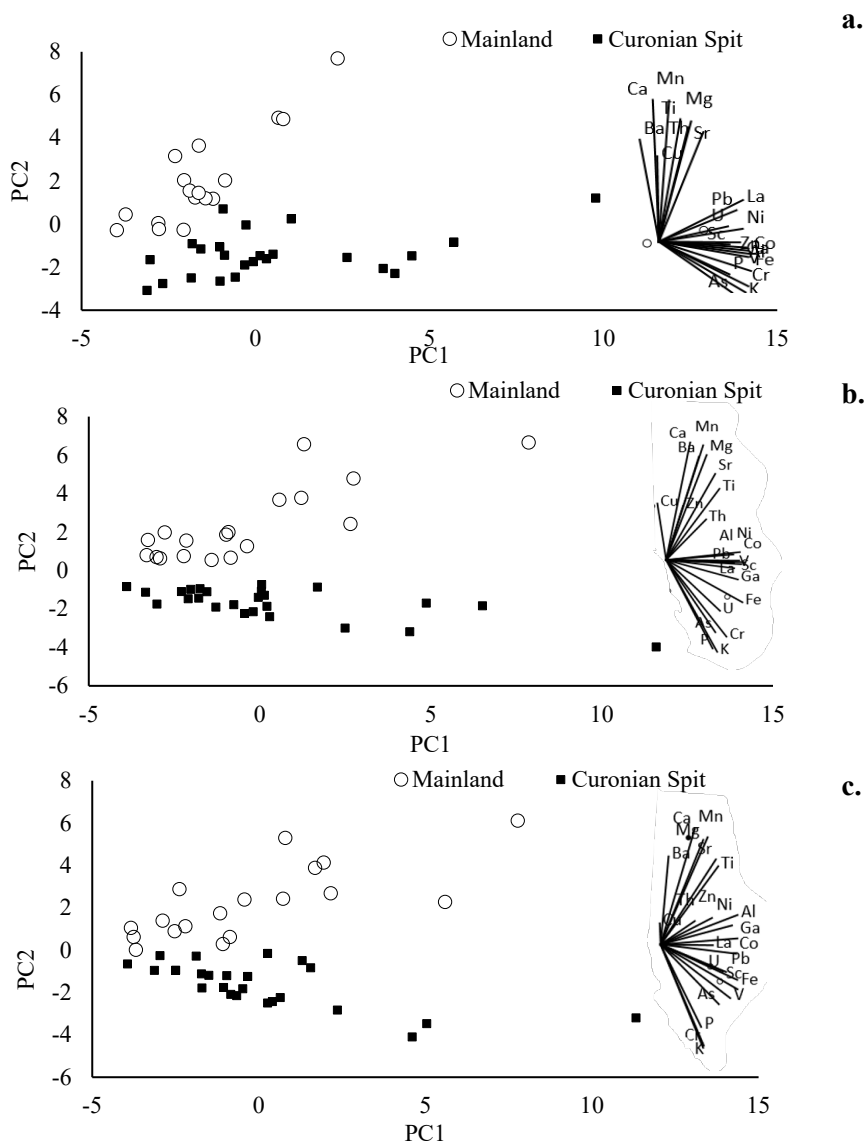


Figure 3 Principal component analysis after normalized varimax rotation and factor scores showed according to geographical location (Curonian Spit and mainland coast) in a) 2011, b) 2014, and c) 2018.

Based on various previous studies, three primary sources of sediments determine the geochemical and lithological composition of the sediments in the Lithuanian seacoast, which was also reflected in this study's results.

The first source is the Neogene-Paleogene period sediments from the Sambian Peninsula. These deposits are rich in glauconite, mica, orthoclase and biotite and are dominant in the Curonian Spit (Bitinas et al., 2005b; Jarmalavičius et al., 2017; Kairyte et al., 2005; Krek et al., 2018a). The second source is the Nemunas River, which supplies the Baltic Sea coast with feldspar minerals: especially microcline and albite (Kairyte et al., 2005). M. Kairyte (2005) states that sediments entering the Baltic Sea through the Klaipėda Strait are transported northwards along the mainland coast. The average annual flow of the Nemunas, measured at Smalininkai, is about $536 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, and according to O. Pustelnikov (1998), the average yearly flow of the Nemunas is $23.1 \text{ km}^3 \cdot \text{m}^{-1}$ or $732 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. The river discharges about 600 kt of suspended solids, of which 78% are of terrigenous origin, 10% are organic, and 12% are silica. Furthermore, the third one is also a source of mainland coast sediments, which is the abraded section of the moraine cliffs at Šaipiai-Olando Kepurė. The sediments of the moraine cliffs are distinguished by the abundance of quartz, feldspar and dolomite.

In addition, the coast is supplemented by nearshore sediments resulting from wave-generated transverse and longitudinal transport during storms. For example, in the southern part of the Curonian Spit (part of Russia), the exposed moraine loams of the late Pleistocene are being destroyed on the seabed during storms (Sergeev et al., 2017).

The study results revealed that the increased levels of Ca, Mg and Sr found in the sediments of the mainland coast may be related to carbonates rich in dolomite and biogenic calcite-enriched sediments (Nagarajan et al., 2013). Sediments rich in calcite are found on the mainland coast in the section close to the Klaipėda Strait and about 20 km north. In addition, another zone of calcite-enriched sediment extends along the Latvian-Lithuanian border (Kairyte et al., 2005). This study also found that minerals such as garnets dominated the deposits of moraine of the Šaipiai and Olando kepurė cliffs on the mainland coast (Figure 4).

Pyrope ($\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$) predominated among the minerals in the garnet group. Amphiboles (actinolite (Ca), pargasite (Na, Ca, Mg), tremolite (Ca, Mg, Fe)), which are also a source of Ca and Mg, are one of the most abundant groups of heavy minerals in beach sediments.

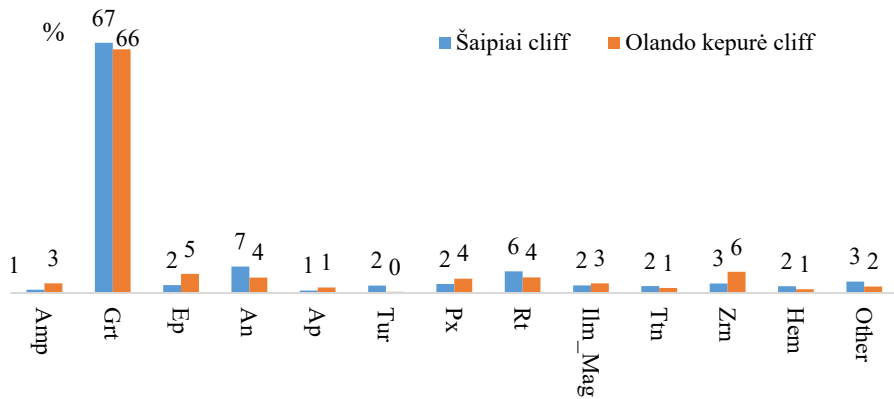


Figure 4 Distribution of heavy minerals (%) in the moraine sediments of Šaipiai and Olando kepturė cliffs. Amp – Amphiboles, Grt – Garnets, Ep – Epidotes, An – Andalusite, Ap – Apatite, Tur – Tourmalines, Px – Pyroxene; Rt – Rutile, Ilm_Mag – Ilmenite and magnetite, Ttn – Titanite, Zrn – Zircon.

However, the percentage of amphiboles did not differ significantly in the Curonian Spit and mainland coasts (Figure 5). A similar group of elements was found in Poland, with a strong positive correlation between Ca, Sr, Mg, Ba, Li and K, which, as in this study, was related to the mineral composition of the sediments (Bigus et al., 2016). Other authors, such as M. G. Yalcin (2009), suggest that the elements TiO₂, MnO, Ni, Pb, Zn, and W are associated with carbonates (CaO, MgO) and may be of anthropogenic origin.

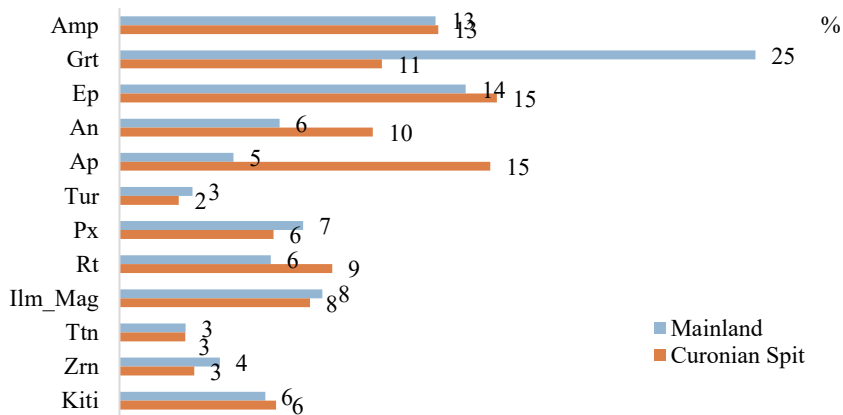


Figure 5 Distribution (%) of heavy minerals in the sandy sediments of the mainland and the Curonian Spit beach (2014). Amp – Amphibole, Grt – Garnets, Ep – Epidote, An – Andalusite, Ap – Apatite, Tur – Tourmalines, Px – Pyroxene; Rt – Rutile, Ilm_Mag – Ilmenite and magnetite, Ttn – Titanite, Zrn – Zircon.

A comparison of the Ca and Mg ratio in the coastal sediments of the mainland and the Curonian Spit seacoast shows that calcium dominates on the mainland (Figure 6). Russian scientists (Emelyanov and Lukashina, 1986) state that the origin of calcium is usually biogenic. Also, the predominance of Ca found on the mainland may be related to the suspended sediments transported from the continent by the rivers and streams flowing into the Baltic Sea.

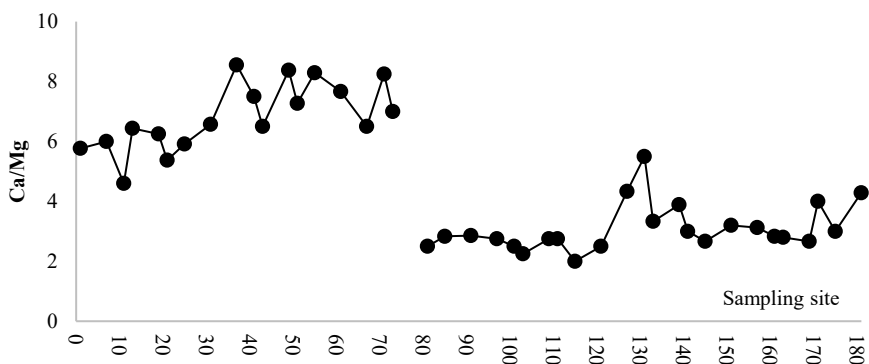


Figure 6 Distribution of Ca/Mg ratio in beach sediments along the Baltic Sea coast

During the study, a relatively higher concentration of Ba and a lower concentration of K were found in the mainland beach sediments, and the highest Ba concentration was recorded in the cliff section throughout the study period (Table 1). Ba ions are approximately the same size as K and form a strong ionic bond with oxygen, which results in their noticeable retention in earlier formed feldspars (Heier, 1962). Therefore, the concentration of Ba in sedimentary rocks depends on the mineral content of feldspar and clay. As mentioned earlier, quartz minerals and feldspar predominate on the mainland coast, and glauconite with quartz predominates in the sediments of the Sambia Peninsula.

The concentration of Mn on the mainland coast was higher than on the coast of the Curonian Spit (Table 1). The analysis showed that its primary source comes from moraine deposits of the Šaipiai-Olando kepurė cliff (Figure 7). A detailed study of the mineral composition of moraine of these cliffs revealed that one of the garnets that dominated the sediments was spessartine ($Mn_3Al_2(SiO_4)_3$). In addition, the increase in Mn concentration in 2018 in the mainland beach sediments may be related to a more intensified erosion of the mainland coast.

Table 1. Comparison of mean values, standard deviations (σ) and median (M) of the major or trace elements and PHEs concentrations ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) in beach sediments between the mainland and the Curonian Spit in 2011, 2014 and 2018.

Element	Year	Mainland			Curonian spit			Kruskal–Wallis H significance of the criterion*
		Mean	σ	M	vid.	σ	M	
Cu	2011	0.38	0.16	0.34	0.28	0.08	0.25	0.06
	2014	1.31	1.39	0.54	0.38	0.25	0.31	0.00
	2018	0.42	0.23	0.33	0.45	0.70	0.25	0.13
Pb	2011	1.26	0.35	1.19	1.33	0.47	1.18	0.89
	2014	1.46	0.28	1.36	1.39	0.38	1.34	0.29
	2018	0.96	0.18	0.96	1.04	0.28	0.98	0.47
Zn	2011	3.24	0.71	3.10	3.91	1.27	3.35	0.11
	2014	5.41	2.23	4.85	3.82	0.76	3.70	0.00
	2018	3.57	2.01	2.95	3.25	0.80	2.95	0.67
Ni	2011	0.58	0.16	0.60	0.68	0.20	0.60	0.12
	2014	0.68	0.14	0.70	0.70	0.17	0.70	0.98
	2018	0.63	0.21	0.60	0.59	0.19	0.60	0.39
Co	2011	0.33	0.07	0.30	0.46	0.18	0.40	0.00
	2014	0.40	0.13	0.40	0.45	0.14	0.40	0.14
	2018	0.40	0.13	0.40	0.42	0.15	0.40	0.73
Mn	2011	26.61	7.20	24.50	14.96	3.98	13.50	0.00
	2014	33.50	13.51	26.50	16.64	4.14	15.00	0.00
	2018	35.50	16.33	33.50	15.58	5.86	13.00	0.00
Cr	2011	1.58	0.31	1.60	3.47	1.80	2.65	0.00
	2014	1.69	0.62	1.50	3.16	1.20	2.80	0.00
	2018	1.36	0.24	1.35	2.75	1.01	2.60	0.00
As	2011	0.62	0.17	0.60	0.84	0.48	0.80	0.07
	2014	0.61	0.13	0.60	0.82	0.19	0.80	0.00
	2018	0.56	0.25	0.55	0.80	0.36	0.75	0.02
Sr	2011	9.30	2.54	8.75	8.24	2.52	7.65	0.07
	2014	12.55	5.18	11.10	8.94	2.72	7.90	0.03
	2018	12.41	6.31	10.45	8.18	3.31	7.45	0.01
V	2011	1.72	0.67	2.00	2.96	1.30	2.00	0.00
	2014	2.39	1.54	2.00	2.84	0.99	3.00	0.03
	2018	1.56	0.62	1.50	2.33	1.01	2.00	0.01
Ba	2011	6.03	2.38	5.70	3.13	0.41	3.15	0.00
	2014	7.22	4.62	5.10	3.86	0.75	3.70	0.00
	2018	6.81	5.31	5.30	2.69	0.81	2.45	0.00
P	2011	0.02	0.01	0.03	0.05	0.02	0.04	0.00
	2014	0.02	0.01	0.02	0.05	0.02	0.05	0.00
	2018	0.02	0.01	0.02	0.04	0.02	0.04	0.00
Fe	2011	0.13	0.02	0.13	0.22	0.12	0.18	0.00

Element	Year	Mainland			Curonian spit			Kruskal–Wallis H significance of the criterion*
		Mean	σ	M	vid.	σ	M	
	2014	0.16	0.04	0.15	0.21	0.07	0.19	0.01
	2018	0.14	0.05	0.15	0.18	0.07	0.16	0.05
	Mg	2011	0.09	0.03	0.08	0.06	0.02	0.06
	2014	0.12	0.06	0.10	0.06	0.02	0.06	0.00
	2018	0.12	0.07	0.11	0.06	0.02	0.05	0.00
	Ca	2011	0.56	0.24	0.45	0.20	0.07	0.19
	2014	0.75	0.42	0.62	0.21	0.09	0.17	0.00
	2018	0.84	0.53	0.73	0.18	0.09	0.16	0.00
	Ti	2011	0.005	0.002	0.004	0.003	0.001	0.004
	2014	0.01	0.004	0.007	0.004	0.002	0.007	0.01
	2018	0.004	0.002	0.004	0.003	0.001	0.004	0.00
	K	2011	0.02	0.01	0.02	0.06	0.04	0.05
	2014	0.02	0.00	0.02	0.05	0.02	0.05	0.00
	2018	0.02	0.00	0.02	0.05	0.02	0.05	0.00

* significance level when $p < 0.05$.

Accumulations of Zn concentrations at the cliff section have also been identified in the beach sediments of the mainland coast (Figure 7). This increase may be due to carbonates found on the mainland, which tend to adsorb divalent cations such as Zn, Mn, Sr and Pb more easily (Galkus and Jokšas, 1997). Besides, the geochemical analysis of the Šaipiai cliff sediments showed that they were enriched in Zn, up to $197 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (Figure 7). Thus, it can be assumed that the sediments of the Šaipiai cliff are one of the primary sources of Zn in the beach sediments on the mainland coast.

Results also revealed that Zn concentration on the mainland in 2011 and 2018 was associated with increased levels of heavy minerals, which increase with the intensification of coastal erosion. The results of the beach budget showed that from 2011 to 2014, an accumulation of sediments prevailed almost in the entire mainland coast (Figure 9); therefore, in 2014, there was no relationship between Zn concentration and magnetic susceptibility (Table 2). This period's beach budget increase is related to the beach nourishments projects (2011–2012) performed at the Palanga coast section. However, Zn concentration on the mainland coast was higher in almost all samples in 2014 compared to 2011 and 2018, highest in the cliff section (Figure 8).

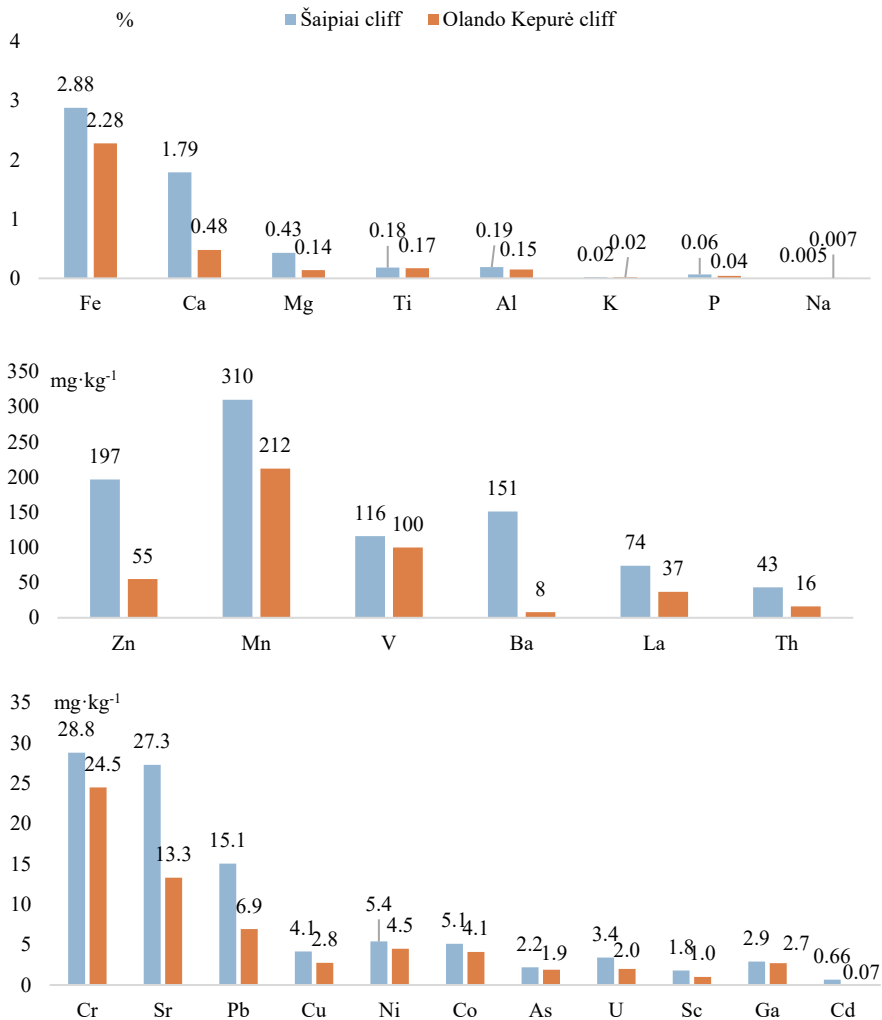


Figure 7 Geochemical composition of Šaipiai and Olando kepurė moraine sediments.

It cannot be ruled out that the increase in Zn at Šaipiai may be linked to previous military activities on the coast of the Šaipiai region. A military training ground was built in the Seaside Regional Park more than 30 years ago (Baubinas and Taminskas, 1998). Previous research has shown that PHEs released into the environment in the past can migrate to deeper layers and, due to coastal erosion, enter beach sediments (Beldowska et al., 2016).

The same as Zn, the higher Cu concentration on the mainland is associated with higher magnetic susceptibility values in 2011 and 2018 (Table 2).

Table 2. Correlation coefficients and their significance level between trace elements, granulometric indices (d , mm and S_o), magnetic susceptibility (MS, μSI) and **mainland beach** sediment budget (Q , m^3 / m) in 2011, 2014 and 2018.

Element	2011				2014				2018			
	d	S_o	Q	MS	d	S_o	Q	MS	d	S_o	Q	MS
Cu	0,25	0,42	-0,23	0,54*	-0,08	-0,02	0,05	0,22	0,75**	0,27	-0,20	0,73**
Pb	0,52*	0,59**	0,09	0,56*	0,41	0,07	-0,22	0,41	0,73**	0,55*	-0,08	0,49*
Zn	0,46	0,75**	-0,20	0,56*	0,15	-0,08	-0,16	0,21	0,26	0,13	-0,03	0,50*
Ni	0,34	0,60**	-0,18	0,77**	0,43	0,58*	-0,47*	0,63**	0,52*	0,27	-0,38	0,46
Co	0,37	0,61**	-0,34	0,78**	0,44	0,59*	-0,30	0,79**	0,82**	0,42	-0,37	0,63**
Mn	0,01	0,40	-0,29	0,85**	0,45	0,62**	-0,45	0,70**	0,54*	0,00	-0,39	0,53*
Cr	-0,23	0,04	0,04	0,37	-0,21	0,07	-0,07	0,54*	0,05	0,18	-0,14	0,16
As	0,46	0,28	0,34	0,10	0,59**	0,72**	-0,02	0,29	0,46	0,32	-0,07	0,35
d	1,00	0,73**	-0,15	0,56*	1,00	0,61*	-0,13	0,28	1,00	0,48*	-0,35	0,54*
S_o	0,73**	1,00	0,25	0,21	0,61*	1,00	0,10	0,36	0,48*	1,00	0,09	0,23
Q	0,25	-0,15	1,00	-0,27	-0,13	0,10	1,00	-0,18	-0,35	-0,09	1,00	-0,48*

* The correlation is significant at 0.05 level ($p < 0.05$).

** The correlation is significant at 0,01 level ($p < 0.01$).

However, no correlation was found in 2014, but the concentration was significantly higher than in all study years. In 2014, a significant increase in Cu concentration north of the port of Šventoji (Figure 10) may be due to the reconstruction of the Šventoji port carried out in the 2011–2012 period. The port bottom sediments enriched in Pb, Ni, Cu, and Zn (Galkus et al., 2012) were dredged from the entrance channel, stored on the beach, and washed away after storm “Xaver” in 2013. The washed particles could have been transported northwards. The increase of trace elements in the Būtingė-Šventoji coastal section may also be related to peat formed under a thin layer of sand sediments, which has a higher metal absorption capacity and tends to be exposed after storms (Bitinas et al., 2005a). On the Latvian-Lithuanian border near Būtingė, there is also a discharge of municipal water from Palanga, which was repeatedly damaged during storms.

Finally, it cannot be excluded that the higher content of Zn, Mn, and Cu detected on the Melnragė-Giruliai shore section may be related to the dumping of bottom sediments excavated from the Klaipėda port on the nearshore. These sediments tend to be more enriched with potentially harmful elements than the beach sediments (Galkus et al., 2012; Remeikaitė-Nikienė et al., 2018).

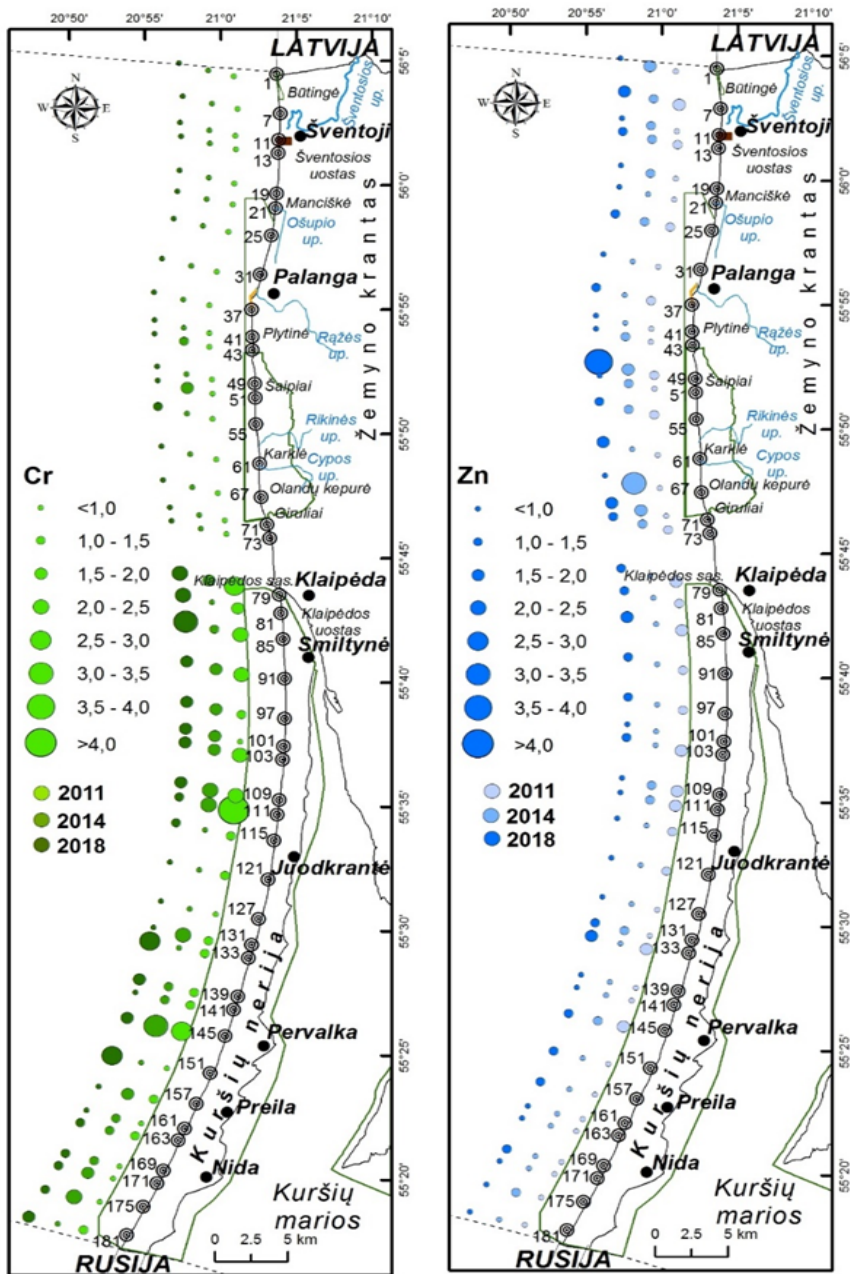


Figure 8 Distribution of concentration coefficients (K_k) of elements (Cr, Zn) along the Baltic Sea coast in Lithuania. Modified by author according to Karlioniene et al., 2021 a.

Meanwhile, on the sea coast of the Curonian Spit, higher concentrations of Fe, V, P, Cr and Pb were found compared to the mainland coast. The principal components analysis showed that Cr, together with Pb, Ni, and Co,

form a group of metals bound to Al and Fe (Pb-Ni-Co-Fe-As-Cr-Al). The identified main elements are included in the composition of the mineral glauconite, which is common to the spit (Pupienis et al., 2017; Thompson and Hower, 1975). In addition, the predominant Fe in the Curonian Spit is associated with amphibole minerals, which are particularly abundant at the distal end of the Curonian Spit (Stauskaitė, 1966, 1962).

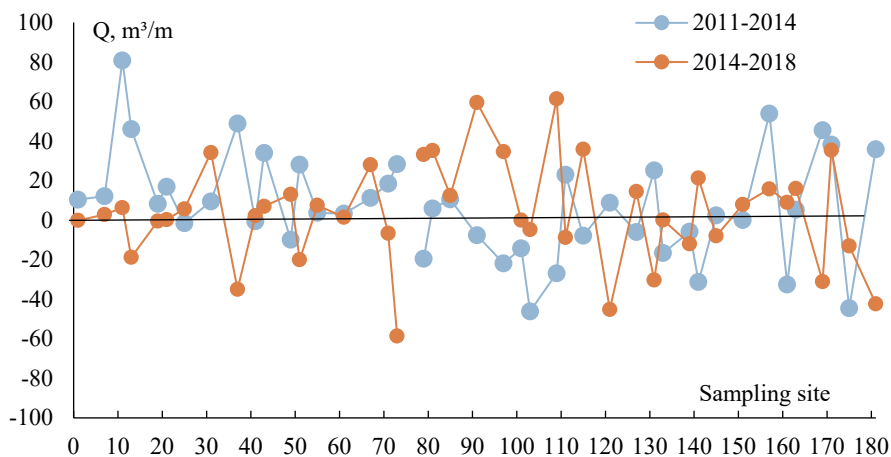


Figure 9 Changes in the beach sediment budget (Q , m^3/m) along the Baltic Sea coast in 2011–2014 and 2014–2018.

The amphibole group minerals show the longitudinal flow of sediments predominant along the Curonian Spit seacoast. The longitudinal flow is saturated with sediments from the Sambian Peninsula and the southern part of the Curonian Spit (Lukoševičius and Gudelis, 1974; Kairyte, Stevens and Trimonis, 2005; Ryabkova, 2009; Pupienis et al., 2017; Žilinskas, Jarmalavičius and Pupienis, 2018). The research results also revealed that the beach sediments of the Curonian Spit contained more apatite than the mainland coast, which is composed of Ca, P and F.

3.2 The analysis of factors determining the change of potentially harmful chemical elements in beach sediments

The coarse-grained sand on the beaches near the Olando kepturė and north of the Klaipėda port pier is associated with coastal erosion. Here finer particles of sand are washed away and transferred to adjacent coast sections. On the Baltic Sea coast in Lithuania, erosive processes dominate where intensive human activities develop or a natural abrasion of moraine cliffs occurs. Meanwhile, the coarse-grained sand found at Juodkrantė is a relict and not associated with coastal erosion (Jarmalavičius et al., 2017).

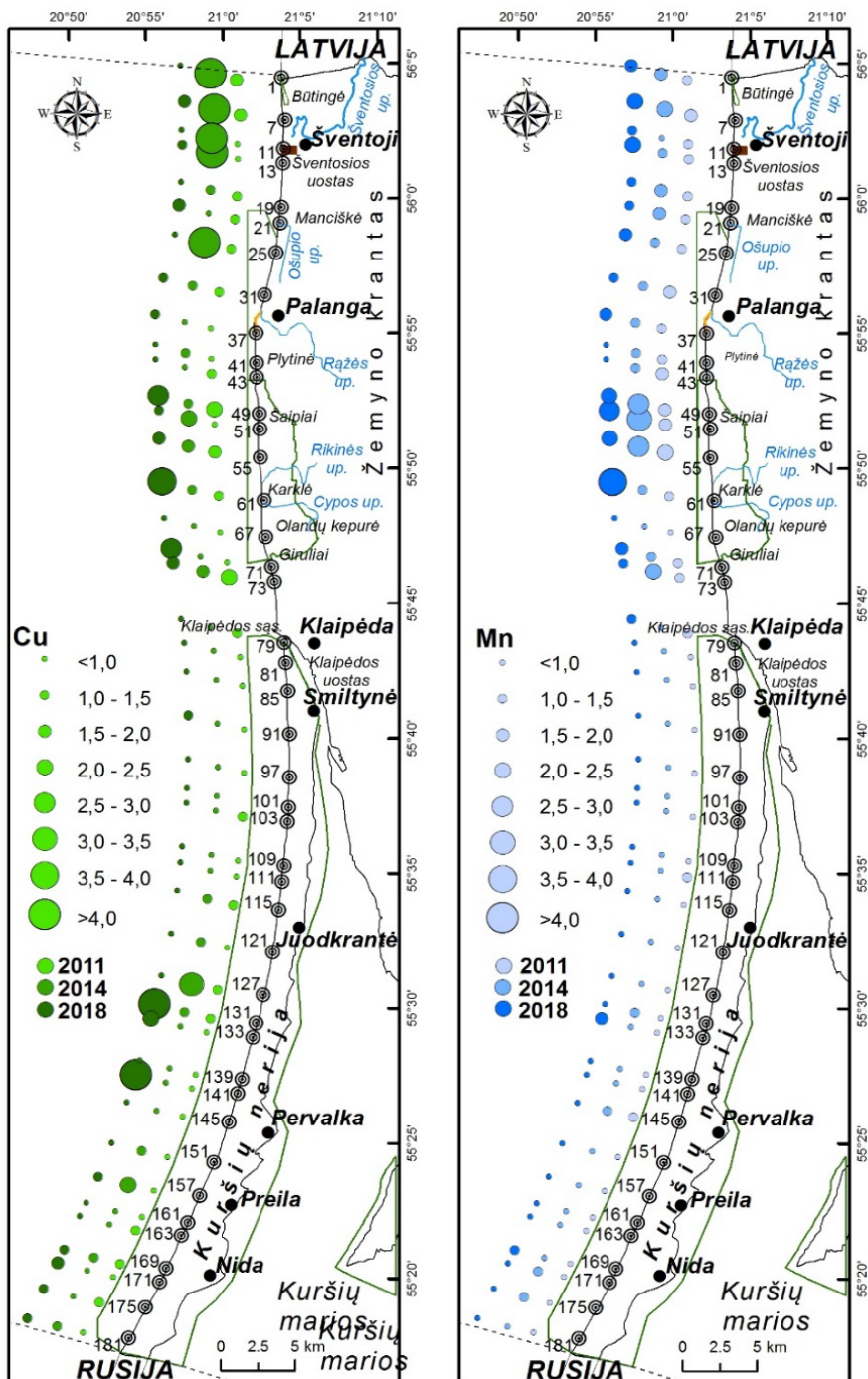


Figure 10 Distribution of concentration coefficients (K_k) of elements (Cu, Mn) along the southeastern shore of the Baltic Sea in Lithuania. Modified by author according to Karloniene et al., 2021 a.

The distribution of beach sand particles shows that the average particle diameter decreases from south to north on the mainland and the Curonian Spit. However, these tendencies on the mainland are distorted by barriers such as the Šventoji port pier and Būtingė sewage release pipe.

Accumulations of elements (Ti, Ca, Mn, Zn, Cu, etc.) on the mainland coast have been identified in those sections of the coast (Būtingė–Šventoji, Šaipiai–Olando kepurė, I Melnragė) where coastal erosion predominates. Besides, poorly sorted, medium-grained, coarse-grained sand is often found in erosive coastal areas, where higher magnetic susceptibility is measured, indicating an increase in heavy minerals.

Higher magnetic susceptibility values measured in the coarse-grained fraction indicated that the light fine-grained fraction in the erosive coast is washed due to the more intense hydrodynamic processes. In this case, the fine-grained light minerals quartz, feldspar, and muscovite mica are easily transported, while the fine heavy minerals remain (Tanner, 1990; Pupienis et al., 2017). The significant positive correlation between the magnetic susceptibility and the particle size showed that minerals with ferromagnetic properties were more abundant in these sites, such as almandine, ilmenite and magnetite (Kairyte et al., 2005; Lennan et al., 2003; Scofield and Roggenthen, 1986). These patterns were also identified in J. Apanaviciūtės and P. Šimkevičiaus (2001) study. However, previous studies have found that heavy minerals mostly accumulate in fine-grained sand fractions (Komar and Wang, 1984; Linčius, 1991; Stauskaitė, 1962). Research by M. Gandhi and M. Raja (2014) also found that the distribution of heavy minerals depended on the amount of small particles of beach sediments due to the larger adsorption surface. This study confirmed such tendencies by obtaining magnetic susceptibility measurement results in different fractions (Figure 11).

However, *in situ* magnetic susceptibility measurements of beach sediments showed that locations with a predominance of fine-grained sand often have lower magnetic susceptibility values than sediments with coarse-grained sand (Pupienis et al., 2013; 2017). In addition, the seashore sediments are often differentiated by size or shape and relative weight. In this case, the smaller but heavier particles accumulate between coarser quartz particles. Scientists have found that wave-generated currents in the coastal stretches with intense erosion first carry the lightest heavy minerals: kyanite, tourmaline, amphibole, and epidote group minerals (Frihy and Dewidar, 2003; Lennan et al., 2003). However, smaller but higher density heavy minerals (ilmenite, magnetite, hematite, almandine, and others) remain in the sediments of erosive beaches (Stauskaitė, 1962; Gudelis et al. 1966).

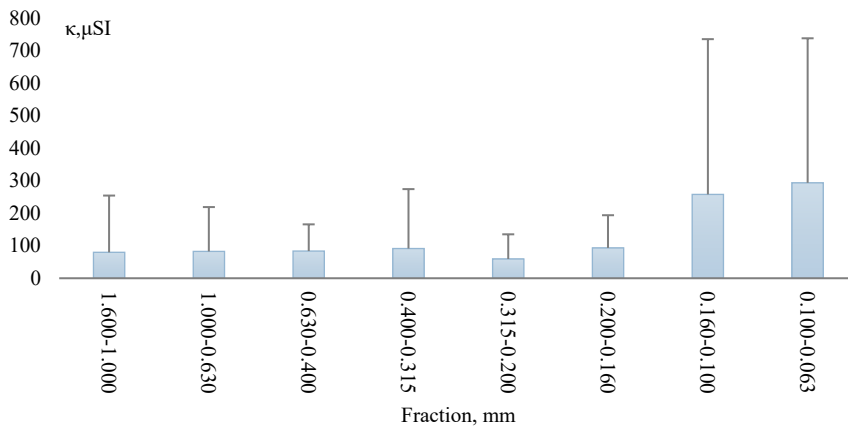


Figure 11 Average magnetic susceptibility values in different fractions.

The processes taking place on the shores of the Curonian Spit strongly depend on the longitudinal transport of sediments. Accumulation of sediments predominates in the Smiltynė-Kopgalis section due to the sediment flow from the southern part of the Curonian Spit and Klaipėda Port piers in the north (Pupienis et al., 2017; Žilinskas et al., 2020, 2018). As it was mentioned before, the beaches of the Curonian Spit are enriched with glauconite (green sand) from the Neogene-Paleogene sediments of the Sambian Peninsula (Bitinas et al., 2005a; Pupienis et al., 2017; Krek et al., 2018a). Trace elements often tend to adhere to clay particles and layered silicates, such as glauconite, mica, and biotite, which are often found in accumulating stretches of the coast (Apanavičiute and Simkevicius, 2001; Sergeev, 2015; Pupienis et al., 2017; Krek, Ulyanova and Koschavets, 2018). However, the beach sediments of the Curonian Spit are rich in elements such as Fe, Cr, Pb, and As; the sediments do not have a higher magnetic susceptibility, which would indicate the dominance of heavy minerals. It is possible that the low values of magnetic susceptibility, despite the abundance of microelements, are related to the intensive accumulation in the Smiltynė-Kopgalis coastal section. Due to the extreme accumulation, heavy minerals can be clogged with lighter and finer quartz minerals, causing lower *in situ* magnetic susceptibility values.

The highest accumulation of Fe, Cr, K, P, Pb, and Cu on the seacoast of the Curonian Spit has been identified near Kopgalis, dominated by fine and very fine sand, and Juodkrantė, where coarse and medium relict sand predominates (Jarmalavicius et al., 2020; Jarmalavičius et al., 2017). Furthermore, the large sand anomaly in the Curonian Spit near the Juodkrantė-Pervalka section has formed during the Post-Litorina period (Jarmalavičius et al., 2017a). Therefore, higher concentrations of the investigated elements

found in this coast section may be associated with heavy mineral abundance throughout the study year (Salomons and Förstner, 1984).

The analysis of the distribution of some elements along the Baltic Sea coast revealed that they represent predominant longitudinal sediment transport. For example, the Cr was the best of the analysed potentially harmful chemical elements, showing the longitudinal transport of sediments from the Sambian Peninsula (Kaliningrad, Russia) along the coast of the Curonian Spit. Chromium content increased significantly in the northern direction (2011 and 2018), especially at Smiltynė-Kopgalis, where the most significant sediment discharge occurs (Figure 8). Chromium is one of the elements rich in abrasive deposits from the Sambian Peninsula. Studies by Russian scientists have shown that the sediments of the Sambian Peninsula are rich in quartz and glauconite, with impurities of chromite, troilite, ilmenite, diopside, and zircon (Krek et al., 2018a).

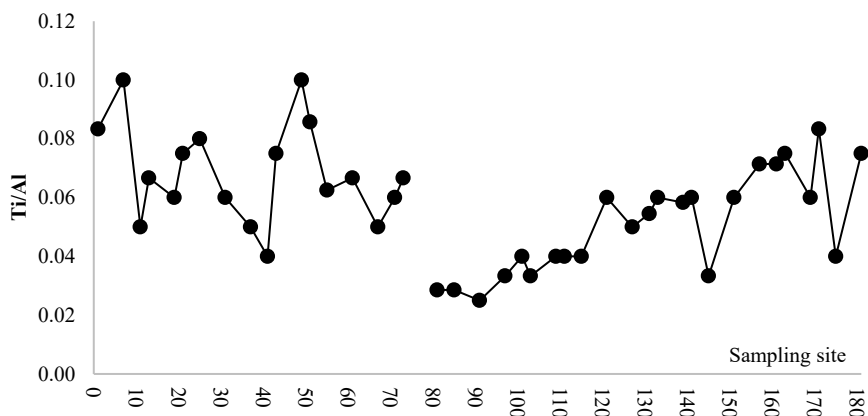


Figure 12 Distribution of Ti/Al ratio in beach sediments along the Baltic Sea coast

In addition, the distribution of Ti/Al ratio revealed a significant northward trend on the Curonian spit coast (Figure 12). As heavy minerals differentiate in density during transport, the Ti/Al ratio decreases further away from the sediment source (Chen et al., 2013). Besides, the Ti/Al ratio pattern indicated one more primary sediment source on the mainland coast, as it increased in sections where erosion is dominant (sampling sites 1st – 7th , 49th–61st and 73rd).

Finally, Zn, Co, Ni, Mn and Pb content correlated with *in situ* magnetic susceptibility measures values and with values measured in the 0.315–0.200 mm fraction of sand (Table 3).

Table 3. Correlation coefficients and their significance level between trace elements and magnetic susceptibility (MI) values in different fractions (2018).

Fraction, mm	MI	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Mn	As	Cr
1.600–1.000	0.13	0.01	0.12	0.13	0.13	0.29	0.09	0.08	-0.17
1.00–0.630	0.31*	0.03	0.39*	0.16	0.23	0.32*	0.12	0.22	0.18
0.630–0.400	-0.01	-0.14	0.22	-0.01	0.06	0.13	0.21	-0.07	-0.01
0.400–0.315	0.05	-0.08	0.29	0.09	0.13	0.25	0.05	0.15	0.16
0.315–0.200	0.30	0.12	0.38*	0.79**	0.54**	0.65**	0.55**	0.27	-0.03
0.200–0.160	0.00	-0.04	0.30	0.14	0.16	0.33*	-0.01	0.22	0.15
0.160–0.100	0.30	0.05	0.09	0.69**	0.10	0.19	0.35*	-0.13	-0.11
0.100–0.063	0.33*	0.01	0.14	0.61**	0.03	0.12	0.25	-0.09	-0.10

* The correlation is significant at 0.05 level ($p < 0.05$).

** The correlation is significant at 0,01 level ($p < 0.01$).

Notice that the beach mean particle size is about 0.29 mm, so it could be stated that magnetic susceptibility measurements might detect the higher content of metals in beach sediments.

CONCLUSIONS

The geochemical composition of the sediments of the beaches on the mainland and the Curonian Spit coast depends on the primary sources. The association of As, Cr, Fe, K, P, U, Ga and V dominated in beach sediments of the Curonian Spit, and Ba, Ca, Mg, Mn, Sr, Ti in the sediments of the mainland coast beaches; the pattern remained stable throughout the study period. The established associations show that the mainland coast is dominated by carbonates (calcite, dolomite), the main source of which are the sediments of the moraine cliffs. In contrast, the shores of the Curonian Spit are dominated by sediments enriched with apatite, biotite and chromite in origin from the Sambian peninsula.

The distribution of potentially harmful elements in the southeastern Baltic Sea depends on the dynamic coastal processes (sediment transport on the coast, coastal erosion and accumulation). The formation of element assemblages on the mainland and the Curonian Spit coast depended on different litho-morphodynamic processes. On the mainland coast, geochemical assemblages (Cu, Co, Zn, Mn, Ni, Pb) were found in erosive stretches, and in the Curonian Spit – in accumulative (Cr and Pb) stretches of the coast and in sections dominated by relict, coarse-grained sand (Mn, Cu, Pb).

The concentration of some potentially harmful elements (Zn, Ni, Pb and Cu) in 2014 was significantly higher than in 2011 or 2018. In addition, the concentration of copper and zinc on the mainland coast was substantially higher than on the Curonian Spit coast. The temporal increase in the concentration of these chemical elements on the mainland coast could be influenced by the nourishment of the beaches of Palanga (2011–2012) and the Šventoji port reconstruction during the same period.

The distribution of Cr (Curonian Spit), Ti/Al (Curonian Spit) and Ca/Mg (mainland coast) ratio confirms the predominant longitudinal sediment transport on the southeast coast of the Baltic Sea. It may therefore be used as an indicator of longitudinal sediment flow.

Zn, Co, Ni, Mn and Pb content correlated with the magnetic susceptibility values measured in the 0.315–0.200 mm fraction of sand. Therefore, it was concluded that *in situ* magnetic susceptibility measurements at the beach, as the mean particle size was about 0.29 mm, can be used to locate geochemical anomalies. In addition, magnetic susceptibility measurements efficiently identify heavy mineral accumulation sites and assess the dynamic processes prevailing onshore.

LITERATŪROS SĄRAŠAS / REFERENCES

Abraham, G., Parker, R., 2008. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *An Int. J. Devoted to Prog. Use Monit. Data Assess. Environ. Risks to Man Environ.* 136, 227–238. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9678-2>

Abu, M., Sunkari, E.D., 2020. Geochemistry, Grain Size Characterization and Provenance of Beach Sands along Advanced Research in Chemistry and Applied Science Geochemistry, Grain Size Characterization and Provenance of Beach Sands along the Central Coast of Ghana. *Adv. Res. Chem. Appl. Sci.* 2, 15–26.

Ackermann, F., Bergmann, H., Schleichert, U., 1983. Monitoring of heavy metals in coastal and estuarine sediments – a question of grain-size: <20 µm versus <60 µm. *Environ. Technol. Lett.* 4, 317–328. <https://doi.org/10.1080/09593338309384212>

Adomaitis, T., Mazvila, J., Eitminavicius, L., 2003. A comparative study of heavy metals in the soils of cities and arable lands. *Ekologija* 12–16.

Andò, S., 2020. Gravimetric separation of heavy minerals in sediments and rocks. *Minerals* 10. <https://doi.org/10.3390/min10030273>

Antonowicz, J. P., Grobela, M., Opalińska, M., Motała, R., 2017. Heavy metals in beach deposits, bottom sediments of a Baltic fishing port and surface water. *Balt. Coast. Zo. J. Ecol. Prot. Coastline* 21, 211–224.

Apanaviciute, J., Simkevicius, P., 2001. Distribution of heavy minerals in surficial bottom sediments of the Nida – Klaipėda mapping area in the Baltic Sea. *Geologija* 33, 29–39.

Ariza, E., Jiménez, J. A., Sardá, R., 2012. An interdisciplinary analysis of beach management in the Catalan Coast (North-Western Mediterranean). *Coast. Manag.* 40, 442–459. <https://doi.org/10.1080/08920753.2012.692308>

Armstrong-Altrin, J. S., Lee, Y. Il, Kasper-Zubillaga, J. J., Carranza-Edwards, A., Garcia, D., Eby, G. N., Balaram, V., Cruz-Ortiz, N. L., 2012. Geochemistry of beach sands along the western Gulf of Mexico, Mexico: Implication for provenance. *Geochemistry* 72, 345–362. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemer.2012.07.003>

Armstrong-Altrin, J. S., Nagarajan, R., Lee, Y. Il, Kasper-Zubillaga, J. J., Córdoba-Saldaña, L. P., 2014. Geochemistry of sands along the San Nicolás and San Carlos beaches, Gulf of California, Mexico: Implications for provenance and tectonic setting. *Turkish J. Earth Sci.* 23, 533–558. <https://doi.org/10.3906/yer-1309-21>

Bacardit, M., Camarero, L., 2009. Fluxes of Al, Fe, Ti, Mn, Pb, Cd, Zn, Ni, Cu, and As in monthly bulk deposition over the Pyrenees (SW Europe): The influence of meteorology on the atmospheric component of trace element cycles and its implications for high mountain lakes. *J. Geophys. Res. Biogeosciences* 114. <https://doi.org/10.1029/2008JG000732>

Badyukova, E. N., Zhindarev, L. A., Luk'yanova, S. A., Solov'eva, G. D., 2007. Geological structure of the Curonian Spit (of the Baltic Sea) and its evolution history (revised). *Oceanology* 47, 554–563. <https://doi.org/10.1134/S0001437007040121>

Badyukova, E. N., Zindarev, L. A., Lukyanova, S. A., Solovieva, G. D., 2018. Structure of the South-Western Part of the Curonian Spit. *Arch. Hydroengineering Environ. Mech.* 65, 109–122. <https://doi.org/10.1515/heem-2018-0008>

Bandaru, V. L., Gawali, P. B., Hanamgond, P. T., Kannan, D., 2016. Heavy metal monitoring of beach sands through environmental magnetism technique: A case study from Vengurla and Aravali beaches of Sindhudurg district, Maharashtra, India. *Environ. Earth Sci.* 75. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5477-9>

Barnard, P. L., Foxgrover, A. C., Elias, E. P. L., Erikson, L. H., Hein, J. R., McGann, M., Mizell, K., Rosenbauer, R. J., Swarzenski, P. W., Takesue, R. K., Wong, F. L., Woodrow, D. L., 2013. Integration of bed characteristics, geochemical tracers, current measurements, and numerical modeling for assessing the provenance of beach sand in the San Francisco Bay Coastal System. *Mar. Geol.* 345, 181–206. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.margeo.2013.08.007>

Basu, A., Blanchard, D. P., Brannon, J., 1986. Rare earth elements in the sedimentary cycle: A pilot study of the first leg. *Sedimentology* 737–742.

Baubinas, R., Taminskas, J., 1998. Karinė gamtonauda Lietuvoje sovietmečiu: ekologinės pasekmės. Military nature use in Lithuania in the Soviet years: ecological consequences. *Geografijos institutas, Vilnius.*

Bełdowska, M., 2015. The influence of weather anomalies on mercury cycling in the marine coastal zone of the southern baltic-future perspective. *Water. Air. Soil Pollut.* 226. <https://doi.org/10.1007/s11270-014-2248-7>

Bełdowska, M., Bolałek, J., Bojakowska, I., Burska, D., Cyberski, J., Dudzińska-Huczuk, B., Ebbing, J., Falkowska, L., Graca, B., Kramarska, R., Laban, C., Lidzbarski, M., Miotk-Szpiganowicz, G., Niemirycz, E., Pasieczna, A., Ridgway, J., Skwarzec, B., Sokołowski, K., Staniszevska, M., Szefer, P., Uścińowicz, S., Wagner, R., 2011. Geochemistry of Baltic Sea surface sediments. Polish Geological Institute-National Research Institute, Warsaw.

Bełdowska, M., Jędruch, A., Łęczyński, L., Saniewska, D., Kwasigroch, U., 2016a. Coastal erosion as a source of mercury into the marine environment along the Polish Baltic shore. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23, 16372–16382. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6753-7>

Bełdowska, M., Jędruch, A., Łęczyński, L., Saniewska, D., Kwasigroch, U., 2016b. Coastal erosion as a source of mercury into the marine environment along the Polish Baltic. *Polis. Environ. Sci. Pollut. Res.* 23, 16372–16382. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6753-7>

Bełdowska, M., Saniewska, D., Falkowska, L., 2014. Factors influencing variability of mercury input to the southern Baltic Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 86, 283–290. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.07.004>

Belzunce Segarra, M. J., Szefer, P., Wilson, M. J., Bacon, J., Bolałek, J., 2007. Chemical forms and distribution of heavy metals in core sediments from the Gdańsk Basin, Baltic Sea. *Polish J. Environ. Stud.* 16, 505–515.

Bigus, K., Astel, A., Niedzielski, P., 2016. Seasonal distribution of metals in vertical and horizontal profiles of sheltered and exposed beaches on Polish coast. *Mar. Pollut. Bull.* 106, 347–359. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.03.009>

Bird, E. C. F., 2000. *Coastal Geomorphology: An Introduction*. Wiley.

Bitinas, A., Damušyte, A., 2004. The littorina sea at the Lithuanian maritime region. *Polish Geol. Inst. Spec. Pap.* 11, 37–46.

Bitinas, A., Damušytė, A., Žaromskis, R., Gulbinskas, S., Žilinskas, G., Jarmalavičius, D., 2005a. Baltijos jūros Lietuvos krantų geologinis atlasas. *Geol. akiračiai* 14–22.

Bitinas, A., Dobrotin, N., Buynevich, I. V., Molodkov, A., Damušytė, A., Pupienis, D., 2018. Coastal dune dynamics along the northern curonian spit, Lithuania: Toward an integrated database. *Geol. Q.* 62, 553–562. <https://doi.org/10.7306/gq.1435>

Bitinas, A., Žaromskis, R., Gulbinskas, S., Damušyte, A., Žilinskas, G., Jarmalavičius, D., 2005b. The results of integrated investigations of the Lithuanian coast of the Baltic Sea: Geology, geomorphology, dynamics and human impact. *Geol. Q.* 49, 355–362.

Blott, S. J., Pye, K., 2001. Gradistat: A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surf. Process. Landforms* 26, 1237–1248. <https://doi.org/10.1002/esp.261>

Bramha, S. N., Mohanty, A. K., Satpathy, K. K., Kanagasabapathy, K. V., Panigrahi, S., Samantara, M. K., Prasad, M. V. R., 2014. Heavy metal content in the beach sediment with respect to contamination levels and sediment quality guidelines: A study at Kalpakkam coast, southeast coast of

India. *Environ. Earth Sci.* 72, 4463–4472. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3346-y>

Buzzi, N. S., Menéndez, M. C., Truchet, D. M., Delgado, A. L., Severini, M. D. F., 2022. An overview on metal pollution on touristic sandy beaches: Is the COVID-19 pandemic an opportunity to improve coastal management? *Mar. Pollut. Bull.* 174, 113275. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113275>

Canbay, M., Aydin, A., Kurtulus, C., 2010. Magnetic susceptibility and heavy-metal contamination in topsoils along the Izmit Gulf coastal area and IZAYTAS (Turkey). *J. Appl. Geophys.* 70, 46–57. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2009.11.002>

Caredda, A. M., Cristini, A., Ferrara, C., Lobina, M. F., Baroli, M., 1999. Distribution of heavy metals in the Piscinas beach sediments (SW Sardinia, Italy). *Environ. Geol.* 38, 91–100. <https://doi.org/10.1007/s002540050405>

Carranza-Edwards, A., Kasper-Zubillaga, J. J., Rosales-Hoz, L., Morales-dela Garza, E. A., Lozano-Santa Cruz, R., 2009. Beach sand composition and provenance in a sector of the southwestern Mexican Pacific. *Rev. Mex. Ciencias Geol.* 26, 433–447.

Čekanavičius, V., Murauskas, G., 2002. *Statistika ir jos taikymai*. TEV, Vilnius.

Chaparro, Marcos A. E., Suresh, G., Chaparro, Mauro A. E., Ramasamy, V., Sundarajan, M., 2017. Magnetic assessment and pollution status of beach sediments from Kerala coast (southwestern India). *Mar. Pollut. Bull.* 117, 171–177. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.044>

Chavadi, V. C., Hegde, V. S., 1989. A note on the textural variation of beach sediments in the vicinity of Gangavali River mouth near Ankola, West coast of India. *Mahasagar* 22, 89–98.

Chen, H. F., Yeh, P. Y., Song, S. R., Hsu, S. C., Yang, T. N., Wang, Y., Chi, Z., Lee, T. Q., Chen, M. T., Cheng, C. L., Zou, J., Chang, Y. P., 2013. The Ti/Al molar ratio as a new proxy for tracing sediment transportation processes and its application in aeolian events and sea level change in East Asia. *J. Asian Earth Sci.* 73, 31–38. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jseae.2013.04.017>

Choi, J. Y., Jeong, H., Choi, K. Y. Y., Hong, G. H., Yang, D. B., Kim, K., Ra, K., 2020. Source identification and implications of heavy metals in urban roads for the coastal pollution in a beach town, Busan, Korea. *Mar. Pollut. Bull.* 161, 111724. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111724>

Conrad, S. R., Santos, I. R., White, S. A., Hessey, S., Sanders, C. J., 2020. Elevated dissolved heavy metal discharge following rainfall downstream of

intensive horticulture. *Appl. Geochemistry* 113, 104490. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.104490>

Cox, R., Lowe, D. R., Cullers, R. L., 1995. The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States. *Geochim. Cosmochim. Acta* 59, 2919–2940. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0016-7037\(95\)00185-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0016-7037(95)00185-9)

Da Silva, M. A. M., 1979. Provenance of heavy minerals in beach sands, southeastern Brazil: From Rio Grande to Chui (Rio Grande do Sul State). *Sediment. Geol.* 24, 133–148. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(79\)90033-2](https://doi.org/10.1016/0037-0738(79)90033-2)

Damušytė, A., 2011. Post-glacial geological history of the Lithuanian coastal area: daktaro disertacijos santrauka. Vilniaus universitetas. Prieiga per eLABa – nacionalinę Lietuvos akademinę elektroninę biblioteką, Vilnius.

De Lacerda, L. D., 1985. Intertidal beach sands as monitors for reactivity of metal pollution in coastal water bodies. *Environ. Technol. Lett.* 6, 123–128. <https://doi.org/10.1080/09593338509384327>

Dearing, J., 1999. Environmental Magnetic Susceptibility. Using Bartington MS2 Syst. 43.

Defeo, O., McLachlan, A., Schoeman, D. S., Schlacher, T. A., Dugan, J., Jones, A., Lastra, M., Scapini, F., 2009. Threats to sandy beach ecosystems: A review. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 81, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2008.09.022>

Díaz Rizo, O., Buzón González, F., Arado López, J. O., 2015. Assessment of Ni, Cu, Zn and Pb levels in beach and dune sands from Havana resorts, Cuba. *Mar. Pollut. Bull.* 100, 571–576. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.08.018>

Dickinson, W. R., Suczek, C. A., 1979. Plate Tectonics and Sandstone Compositions I. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.* 63, 2164–2182. <https://doi.org/10.1306/2F9188FB-16CE-11D7-8645000102C1865D>

Đurža, O., 1999. Heavy metals contamination and magnetic susceptibility in soils around metallurgical plant. *Phys. Chem. Earth, Part A Solid Earth Geod.* 24, 541–543. [https://doi.org/10.1016/S1464-1895\(99\)00069-1](https://doi.org/10.1016/S1464-1895(99)00069-1)

Ekoka Bessa, A. Z., Ngueutchoua, G., Kwewouo Janpou, A., El-Amier, Y. A., Njike Njome Mbella Nguetnga, O. A., Kankeu Kayou, U. R., Bisse, S. B., Ngo Mapuna, E. C., Armstrong-Altrin, J. S., 2021. Heavy metal contamination and its ecological risks in the beach sediments along the Atlantic Ocean (Limbe coastal fringes, Cameroon). *Earth Syst. Environ.* 5, 433–444. <https://doi.org/10.1007/s41748-020-00167-5>

El-Kammar, A. M., Arafa, I. H., El-Sheltami, O. R., 2007. Mineral composition and environmental geochemistry of the beach sediments along

the eastern side of the Gulf of Suez, Egypt. *J. African Earth Sci.* 49, 103–114. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2007.08.003>

El-Sorogy, A. S., Tawfik, M., Almadani, S. A., Attiah, A., 2016. Assessment of toxic metals in coastal sediments of the Rosetta area, Mediterranean Sea, Egypt. *Environ. Earth Sci.* 75, 1–11. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4985-3>

Emelyanov, E. M. and Lukashina, V. N., 1986. Geochemistry of the sedimentary process in the Baltic Sea. Nauka, Moscow (in Russian).

Fernández-Severini, M. D., Menéndez, M. C., Buzzi, N. S., Delgado, A. L., Piccolo, M. C., Marcovecchio, J. E., 2019. Metals in the particulate matter from surf zone waters of a Southwestern Atlantic sandy beach (Monte Hermoso, Argentina). *Reg. Stud. Mar. Sci.* 29, 100646. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2019.100646>

Filgueiras, A. V., Lavilla, I., Bendicho, C., 2004. Evaluation of distribution, mobility and binding behaviour of heavy metals in surficial sediments of Louro River (Galicia, Spain) using chemometric analysis: a case study. *Sci. Total Environ.* 330, 115–129. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.03.038>

Foteinis, S., Kallithrakas-Kontos, N. G., Synolakis, C., 2013. Heavy metal distribution in opportunistic beach nourishment: A case study in Greece. *Sci. World J.* 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/472149>

Frihy, O. E., Lotfy, M. F., Komar, P. D., 1995. Spatial variations in heavy minerals and patterns of sediment sorting along the Nile Delta, Egypt. *Sediment. Geol.* 97, 33–41. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0037-0738\(94\)00135-H](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0037-0738(94)00135-H)

Galkus, A., Jokšas, K., 1997. Nuosėdinė medžiaga tranzitinėje akvasistemoje = Sedimentary material in the transitional aquasystem. Geografijos inst., Vilnius.

Galkus, A., Joksas, K., Stakeniene, R., Lagunaviciene, L., 2012. Heavy metal contamination of harbor bottom sediments. *Polish J. Environ. Stud.* 21, 1583–1594.

Gallaway, E., Trenhaile, A. S., Cioppa, M. T., Hatfield, R. G., 2012. Magnetic mineral transport and sorting in the swash-zone: Northern Lake Erie, Canada. *Sedimentology* 59, 1718–1734. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2012.01323.x>

Garnaga, G., 2012. Integrated assessment of pollution in the baltic sea. *Ekologija* 58, 331–355. <https://doi.org/10.6001/ekologija.v58i3.2531>

Garzanti, E., Andò, S., Vezzoli, G., 2009. Grain-size dependence of sediment composition and environmental bias in provenance studies. *Earth*

Planet. Sci. Lett. 277, 422–432.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.epsl.2008.11.007>

Gregorauskienė, V., 2006. Mapping of geochemical contamination in urban areas of Lithuania. *J. Environ. Eng. Landsc. Manag.* 14, 52–57. <https://doi.org/10.1080/16486897.2006.9636879>

Gudelis, V., Kirlyys, V., Stauskaitė, R., Jankevičiūtė-Močiekienė, S., Dynamics, 1966. Dynamics of swash (wave run-up) and the lithodynamics of sand beaches on the Lithuanian coast of the Baltic Sea. *Dev. Sea Coast a Vib. Motion Earth's Crust* 3–20.

Gudelis, V., 1998. Lietuvos jūris ir pajūris: monografija, Lietuvos jūris ir pajūris: monografija, Lietuvos mokslas = Science and arts of Lithuania: iliustruotas mokslo žurnalas Lietuvai ir pasauliui / Lietuvos Mokslų akademija Kn. 17. Lietuvos mokslas, Vilnius.

Guedes, C. C. F., Giannini, P. C. F., Nascimento, D. R., Sawakuchi, A. O., Tanaka, A. P. B., Rossi, M. G., 2011. Controls of heavy minerals and grain size in a holocene regressive barrier (Ilha Comprida, southeastern Brazil). *J. South Am. Earth Sci.* 31, 110–123. <https://doi.org/10.1016/J.JSAMES.2010.07.007>

Gutiérrez-Mosquera, H., Shruti, V. C., Jonathan, M. P., Roy, P. D., Rivera-Rivera, D. M., 2018. Metal concentrations in the beach sediments of Bahía Solano and Nuquí along the Pacific coast of Chocó, Colombia: A baseline study. *Mar. Pollut. Bull.* 135, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.060>

Hakanson, L., 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Res.* 14, 975–1001. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0043-1354\(80\)90143-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0043-1354(80)90143-8)

Hamill, P. F., Ballance, P. F., 1985. Heavy mineral rich beach sands of the waitakere coast, Auckland, New Zealand. *New Zeal. J. Geol. Geophys.* 28, 503–511. <https://doi.org/10.1080/00288306.1985.10421203>

Hanamgond, P. T., Gawali, P. B., Lakshmi, B. V., Babu, J. M., Deendayalan, K., 2017. Sediment texture and geochemistry of beaches between Redi-Vengurla, Sindhudurg, West Coast of India. *J. Coast. Res.* 33, 1135. <https://doi.org/10.2112/jcoastres-d-15-00194.1>

Hannides, A., Elko, N., Humiston, K., 2019. The state of understanding of the effects of beach nourishment activities on coastal biogeochemical processes and conditions. *Shore & Beach* 87, 46–57. <https://doi.org/10.34237/1008734>

Harikrishnan, N., Chandrasekaran, A., Ravisankar, R., Alagarsamy, R., 2018. Statistical assessment to magnetic susceptibility and heavy metal data for characterizing the coastal sediment of East coast of Tamilnadu, India.

Appl. Radiat. Isot. 135, 177–183.
<https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2018.01.030>

Harris, L., Nel, R., Holness, S., Schoeman, D., 2015. Quantifying cumulative threats to sandy beach ecosystems: A tool to guide ecosystem-based management beyond coastal reserves. *Ocean Coast. Manag.* 110, 12–24. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.03.003>

Hatfield, R., 2014. Particle size-specific magnetic measurements as a tool for enhancing our understanding of the bulk magnetic properties of sediments. *Minerals* 4, 758–787. <https://doi.org/10.3390/min4040758>

Haynes, D., Toohey, D., Clarke, D., Marney, D., 1995. Temporal and spatial variation in concentrations of trace metals in coastal sediments from the Ninety Mile Beach, Victoria, Australia. *Mar. Pollut. Bull.* 30, 414–418. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0025-326X\(95\)00058-U](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0025-326X(95)00058-U)

HELCOM, 2021. Baltic Sea Action Plan (BSAP). Helcom.

Heier, K. S., 1962. Trace elements in feldspars – a review. *Norrs Geol. Tidsskr.* 42, 415–454.

Hu, G., Yu, R., Zhao, J., Chen, L., 2011. Distribution and enrichment of acid-leachable heavy metals in the intertidal sediments from Quanzhou Bay, southeast coast of China. *Environ. Monit. Assess.* 173, 107–116. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1374-y>

Hunt, C. P., Moskowitz, B. M., Banerjee, S. K., 1995. Magnetic Properties of Rocks and Minerals. *Rock Phys. Phase Relations*, AGU Reference Shelf. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/RF003p0189>

Hupfer, P., 2010. *Die Ostsee – kleines Meer mit großen Problemen*. Schweizerbart Science Publishers, Stuttgart, Germany.

Ignatavičius, G., Satkūnas, J., Grigienė, A., Nedveckytė, I., Hassan, H. R., Valskys, V., 2022. Heavy metals in sapropel of lakes in suburban territories of Vilnius (Lithuania): Reflections of paleoenvironmental conditions and anthropogenic influence. *Minerals* 12. <https://doi.org/10.3390/min12010017>

Islam, M. S., Ahmed, M. K., Raknuzzaman, M., Habibullah-Al- Mamun, M., Islam, M. K., 2015. Heavy metal pollution in surface water and sediment: A preliminary assessment of an urban river in a developing country. *Ecol. Indic.* 48, 282–291. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.08.016>

Jarmalavičius, D., Pupienis, D., Buynevich, I. V., Žilinskas, G., Fedorovič, J., 2015. Aeolian sand differentiation along the Curonian Spit coast, Baltic Sea, Lithuania. *Coast. sediments, 2015. Proc. Coast. Sediments 2015*, 1–10. https://doi.org/10.1142/9789814689977_0045

Jarmalavičius, D., Pupienis, D., Žilinskas, G., Janušaitė, R., Karaliūnas, V., 2020. Beach-Foredune Sediment Budget Response to Sea Level Fluctuation. Curonian Spit, Lithuania. *Water* 583.

Jarmalavičius, D., Satkūnas, J., Žilinskas, G., Pupienis, D., 2012. The influence of coastal morphology on wind dynamics. *Est. J. Earth Sci.* 61, 120–130. <https://doi.org/10.3176/earth.2012.2.04>

Jarmalavičius, D., Žilinskas, G., Pupienis, D., 2017a. Geologic framework as a factor controlling coastal morphometry and dynamics. Curonian Spit, Lithuania. *Int. J. Sediment Res.* 32, 597–603. <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2017.07.006>

Jarmalavičius, D., Žilinskas, G., Pupienis, D., Kriaučiuniene, J., 2017b. Subaerial beach volume change on a decadal time scale: The Lithuanian Baltic Sea coast. *Zeitschrift für Geomorphol.* 61, 149–158. <https://doi.org/10.1127/zfg/2017/0441>

Järup, L., 2003. Hazards of heavy metal contamination. *Br. Med. Bull.* 68, 167.

Jayasiri, H. B., Vennila, A., Purushothaman, C. S., 2014. Spatial and temporal variability of metals in inter-tidal beach sediment of Mumbai, India. *Environ. Monit. Assess.* 186, 1101. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3441-7>

Jokšas, K., Galkus, A., Stakėnienė, R., 2003. The only Lithuanian seaport and its environment. *Geologijos ir geografijos inst.*, Vilnius.

Jonathan, M. P., Rodriguez-Espinosa, P. F., Sujitha, S. B., Shruti, V. C., Martinez-Tavera, E., 2019. A multi-elemental approach to assess potential contamination in tourist beaches: The case of Loreto Bay (Marine Protected Area), NW Mexico. *Mar. Pollut. Bull.* 146, 729–740. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.083>

Jonathan, M. P., Roy, P. D., Thangadurai, N., Srinivasalu, S., Rodríguez-Espinosa, P. F., Sarkar, S. K., Lakshumanan, C., Navarrete-López, M., Muñoz-Sevilla, N. P., 2011. Metal concentrations in water and sediments from tourist beaches of Acapulco, Mexico. *Mar. Pollut. Bull.* 62, 845–850. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.02.042>

Kadūnas, V., 1998. Technogėnė geochemija = Technogenic geochemistry. *Geology institute*, Vilnius.

Kadūnas, V., Radzevičius, A., Katinas, V., Budavičius, R., Zinkutė, R., 1999. Geochemical Investigation of Urbanised Territories for Nature Protection. *Environ. Technol. Resour. Proc. Int. Sci. Pract. Conf.* 1, 48. <https://doi.org/10.17770/etr1999vol1.1905>

Kairyte, M., Stevens, R. L., 2009. Quantitative provenance of silt and clay within sandy deposits of the Lithuanian coastal zone (Baltic Sea). *Mar. Geol.* 257, 87–93. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2008.11.001>

Kairyte, M., Stevens, R. L., Trimonis, E., 2005. Provenance of silt and clay within sandy deposits of the Lithuanian coastal zone (Baltic Sea). *Mar. Geol.* 218, 97–112. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2005.04.004>

Kaminskas, D., Rudnickaitė, E., Vaikutienė, G., Bitinas, A., Grigienė, A., Buynевич, I. V., Damušytė, A., Pupienis, D., Šinkūnas, P., 2019. Middle and Late Holocene paleoenvironmental development of the Curonian Lagoon, Lithuania. *Quat. Int.* 501, 240–249. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.09.016>

Karlonienė, D., Pupienis, D., Jarmalavičius, D., Dubikaltienė, A., Žilinskas, G. 2021a. The Impact of Coastal Geodynamic Processes on the Distribution of Trace Metal Content in Sandy Beach Sediments, South-Eastern Baltic Sea Coast (Lithuania). *Appl. Sci.* 11, no. 3: 1106. <https://doi.org/10.3390/app11031106>

Karlonienė D., Pupienis D., Jarmalavičius D., Dubikaltienė A., Žilinskas G. 2021b. Lithological and geochemical analyses of sandy beach sediments of different geological frameworks: The south-eastern Baltic Sea (Lithuania). *Arab J Geosci* 14, 279. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06468-x>

Kasper-Zubillaga, J. J., Dickinson, W. W., 2001. Discriminating depositional environments of sands from modern source terranes using modal analysis. *Sediment. Geol.* 143, 149–167. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(01\)00058-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0037-0738(01)00058-6)

Komar, P. D., Wang, C., 1984. Processes of selective grain transport and the formation of placers on beaches. *J. Geol.* 92, 637–655.

Kovaleva, O., Chubarenko, B., Pupienis, D., 2016. Grain size variability as an indicator of sediment transport alongshore the Curonian spit (South-eastern Baltic Sea). *Baltica* 29, 145–155. <https://doi.org/10.5200/baltica.2016.29.13>

Krek, A., Danchenkov, A., Ulyanova, M., Ryabchuk, D., 2019. Heavy metals contamination of the sediments of the south-eastern Baltic sea: The impact of economic development. *Baltica* 32, 51–62. <https://doi.org/10.5200/baltica.2019.1.5>

Krek, A., Krechik, V., Danchenkov, A., Krek, E., 2018a. Pollution of the sediments of the coastal zone of the Sambia Peninsula and the Curonian Spit (Southeastern Baltic Sea). *PeerJ.* 2018, 1–17. <https://doi.org/10.7717/peerj.4770>

Krek, A., Stont, Z., Ulyanova, M., 2016. Alongshore bed load transport in the southeastern part of the Baltic Sea under changing hydrometeorological

conditions: Recent decadal data. *Reg. Stud. Mar. Sci.* 7, 81–87.
<https://doi.org/10.1016/J.RSMA.2016.05.011>

Krek, A., Ulyanova, M., Koschavets, S., 2018b. Influence of land-based Kaliningrad (Primorsky) amber mining on coastal zone. *Mar. Pollut. Bull.* 131, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.03.042>

Kriauciūnienė, J., Žilinskas, G., Pupienis, D., Jarmalavičius, D., Gailiušis, B., 2013. Impact of Šventoji port jetties on coastal dynamics of the Baltic sea. *J. Environ. Eng. Landsc. Manag.* 21, 114–122. <https://doi.org/10.3846/16486897.2012.695736>

Krüger, O., 1996. Atmospheric deposition of heavy metals to North European marginal seas: Scenarios and trend for lead. *GeoJournal* 39, 117–131. <https://doi.org/10.1007/bf00172694>

Kruopienė, J., 2007. Distribution of heavy metals in sediments of the Nemunas river (Lithuania). *Polish J. Environ. Stud.* 16, 715–722.

Kumpienė, J., Brännvall, E., Taraškevičius, R., Aksamitauskas, Č., Zinkutė, R., 2011. Spatial variability of topsoil contamination with trace elements in preschools in Vilnius, Lithuania. *J. Geochemical Explor.* 108, 15–20. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2010.08.003>

Kurian, N. P., Prakash, T. N., Jose, F., Black, K. P., 2001. Hydrodynamic processes and heavy mineral deposits of the Southwest Coast, India. *J. Coast. Res.* 154–163. Kwasigroch, U., Bełdowska, M., Jędruch, A., Saniewska, D., 2018. Coastal erosion – a “new” land-based source of labile mercury to the marine environment. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 25, 28682–28694. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2856-7>

Lee, Y. Il, 2009. Geochemistry of shales of the Upper Cretaceous Hayang Group, SE Korea: Implications for provenance and source weathering at an active continental margin. *Sediment. Geol.* 215, 1–12. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2008.12.004>

Lennan, S. M. M., Bock, B., Hemming, S. R., Hurowitz, J. A., Lev, S. M., Daniel, Mc., 2003. The Roles of Provenance Sedimentary Processes in the Geochemistry of Sedimentary Rocks, in: Lentz, D. R. (Ed.), Geological Association of Canada, Short Course Notes, Geological Association of Canada Short Course Notes. ARRAY(0x834faac), Toronto.

Liaghati, T., Preda, M., Cox, M., 2004. Heavy metal distribution and controlling factors within coastal plain sediments, Bells Creek catchment, southeast Queensland, Australia. *Environ. Int.* 29, 935–948. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(03\)00060-6](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(03)00060-6)

Linčius, A. A., Uginčius, A., 1970. Baltijos jūros kranto zonos smėlis tarp Kopgalio ir Juodkrantės, in: Lietuvos kvarterinių naudingųjų iškasenų

geologijos klausimai // Lietuvos geologijos mokslinio tyrimo instituto darbai, 19 t., p. 7–23.

Linčius, A. A., 1991. Beach placers in the South-east coast of the Baltic Sea as a result of long-term natural processes. *Geogr. Yearb.* 21, 122–127.

Linčius, A. A., 1966. Baltijos pietrytinės pakrantės paplūdimio koncentratų mineraloginė sudėtis, in: Литология и геология полезных ископаемых Южной Прибалтики =: Pietinio Pabaltijo naudingų iškasenų litologija ir geologija = Lithologie und Geologie nutzbaren Ausgrabungen im Südbaltikum, Труды / Институт геологии (Вильнюс). Минтис, Вильнюс, p. 155–170.

Linčius, A. A., 1965. Heavy mineral grain size and distribution on the beach of Curonian Lagoon. *Proceedings Inst. Geol.* (in Russ.)

Liu, D., Ma, J., Sun, Y., Li, Y., 2016. Spatial distribution of soil magnetic susceptibility and correlation with heavy metal pollution in Kaifeng City, China. *Catena* 139, 53–60. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.11.004>

Lopez, P., Navarro, E., Marce, R., Ordoñez, J., Caputo, L., Armengol, J., 2006. Elemental ratios in sediments. *Limnetica* 25, 499–512.

Lourenço, A. M., Sequeira, E., Sant'Ovaia, H., Gomes, C. R., 2014. Magnetic, geochemical and pedological characterisation of soil profiles from different environments and geological backgrounds near Coimbra, Portugal. *Geoderma* 213, 408–418. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.07.035>

Lukoševičius, L., Gudelis, V., 1974. The subaqueous Late-and Post-Glacial shorelines in the South-Eastern area of the Baltic Sea (The paleo-Holocene shorelines). *Baltica* 5, 113–118.

Marcinkonis, S., Karmaza, B., Bakšienė, E., Tripolskaja, L., Ožeraitienė, D., Repšienė, R., 2005. Long-term agrogenic impact on agricultural soil geochemistry in East and West Lithuania. *Agriculture* 1–9.

Medvedev, I. P., Rabinovich, A. B., Kulikov, E. A., 2013. Tidal oscillations in the Baltic Sea. *Oceanology* 53, 526–538. <https://doi.org/10.1134/S0001437013050123>

Miller, C. V., Foster, G. D., Majedi, B. F., 2003. Baseflow and stormflow metal fluxes from two small agricultural catchments in the Coastal Plain of the Chesapeake Bay Basin, United States. *Appl. Geochemistry* 18, 483–501. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(02\)00103-8](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(02)00103-8)

Nagarajan, R., Jonathan, M. P., Roy, P. D., Wai-Hwa, L., Prasanna, M. V., Sarkar, S. K., Navarrete-López, M., 2013. Metal concentrations in sediments from tourist beaches of Miri City, Sarawak, Malaysia (Borneo Island). *Mar. Pollut. Bull.* 73, 369–373. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.05.036>

Nagarajan, R., Roy, P. D., Kessler, F. L., Jong, J., Dayong, V., Jonathan, M. P., 2017. An integrated study of geochemistry and mineralogy of the Upper Tukai Formation, Borneo Island (East Malaysia): Sediment provenance, depositional setting and tectonic implications. *J. Asian Earth Sci.* 143, 77–94. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2017.04.002>

Nallusamy, B., Babu, S., Suresh Babu, D. S., 2013. Heavy mineral distribution and characterisation of ilmenite of Kayamkulam – Thothapally Barrier Island, southwest coast of India. *J. Geol. Soc. India* 81, 129–140. <https://doi.org/10.1007/s12594-013-0012-z>

Nordstrom, K. F., Lampe, R., Vandemark, L. M., 2000. Reestablishing Naturally Functioning Dunes on Developed Coasts. *An Int. J. Decis. Makers, Sci. Environ. Audit.* 25, 37–51. <https://doi.org/10.1007/s002679910004>

Nour, H. E., El-Sorogy, A. S., 2017. Distribution and enrichment of heavy metals in Sabratha coastal sediments, Mediterranean Sea, Libya. *J. African Earth Sci.* 134, 222–229. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.06.019>

Ohta, T., 2004. Geochemistry of Jurassic to earliest Cretaceous deposits in the Nagato Basin, SW Japan: implication of factor analysis to sorting effects and provenance signatures. *Sediment. Geol.* 171, 159–180. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2004.05.014>

Petrovský, E., Kapička, A., Jordanova, N., Borůvka, L., 2001. Magnetic properties of alluvial soils contaminated with lead, zinc and cadmium. *J. Appl. Geophys.* 48, 127–136. [https://doi.org/10.1016/S0926-9851\(01\)00085-4](https://doi.org/10.1016/S0926-9851(01)00085-4)

Pit, I. R., Griffioen, J., Wassen, M. J., 2017. Environmental geochemistry of a mega beach nourishment in the Netherlands: Monitoring freshening and oxidation processes. *Appl. Geochemistry* 80, 72–89. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2017.02.003>

Pourret, O., Hursthouse, A., 2019. It's time to replace the term “Heavy Metals” with “Potentially Toxic Elements” when reporting environmental research. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 16, 4446. <https://doi.org/10.3390/ijerph16224446>

Pupienis, D., Buynevich, I., Ryabchuk, D., Jarmalavičius, D., Žilinskas, G., Fedorovič, J., Kovaleva, O., Sergeev, A., Cichoń-Pupienis, A., 2017. Spatial patterns in heavy-mineral concentrations along the Curonian Spit coast, southeastern Baltic Sea. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 195, 41–50. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2016.08.008>

Pupienis, D., Buynevich, I. V., Bitinas, A., 2011. Distribution and significance of heavy-mineral concentrations along the southeast Baltic Sea coast. *J. Coast. Res.* 1984–1988.

Pupienis, D., Buynevich, I. V., Jarmalavičius, D., Žilinskas, G., Fedorovič, J., 2013. Regional distribution of Heavy-mineral concentrations along the Curonian Spit coast of Lithuania. *J. Coast. Res.* 65, 1844–1849. <https://doi.org/10.2112/SI65-312.1>

Pupienis, D., Jalinskas, P., Vyšniauskas, I., 2007. The influence of currents on possible dispersion of oil products in the south-east baltic. *Acta Zool. Litu.* 17, 160–171. <https://doi.org/10.1080/13921657.2007.10512828>

Pustelnikov, O. S., Nesterova, M. P., 1984. Environmental influence of a black oil spill in the Baltic Sea. *Otdel Geografii AN Litovskoj.*

Pustelnikovas, O., 2002. Sedimentation and geochemical anomalies in the Klaipeda strait : natural origin or human impact ? *Geologija* 40, 3–14.

Pustelnikovas, O., 1998. Geochemistry of sediments of the Curonian lagoon (Baltic Sea). *Inst. of Geography, Vilnius.*

Pustelnikovas, O., 1994. Transport and accumulation of sediment and contaminants in the Lagoon of Kuršių marios (Lithuania) and Baltic Sea. *Netherlands J. Aquat. Ecol.* 28, 405–411. <https://doi.org/10.1007/BF02334210>

Putys, P., 1999. Geocheminiai tyrimai Šilutės plote. = Geochemical analysis in Šilutė area. *Vilnius.*

Ra, K., Kim, E. S., Kim, K. T., Kim, J. K., Lee, J. M., Choi, J. Y., 2013. Assessment of heavy metal contamination and its ecological risk in the surface sediments along the coast of Korea. *J. Coast. Res.* 65, 105–110. <https://doi.org/10.2112/SI65-019.1>

Rachwał, M., Kardel, K., Magiera, T., Bens, O., 2017. Application of magnetic susceptibility in assessment of heavy metal contamination of Saxonian soil (Germany) caused by industrial dust deposition. *Geoderma* 295, 10–21. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.02.007>

Radzevičius, R., 2002. Main trends in accumulation of trace elements from surface sediments of the Baltic Sea (Lithuanian waters). *Baltica* 15, 63–73.

Ramasamy, V., Senthil, S., Paramasivam, K., Suresh, G., 2021. Potential toxicity of heavy metals in beach and intertidal sediments: A comparative study. *Acta Ecol. Sin.* <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2021.03.006>

Remeikaitė-Nikienė, N., Garnaga-Budrė, G., Lujanienė, G., Jokšas, K., Stankevičius, A., Malejevas, V., Barisevičiūtė, R., 2018. Distribution of metals and extent of contamination in sediments from the south-eastern Baltic Sea (Lithuanian zone). *Oceanologia* 60, 193–206. <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2017.11.001>

Remeikaitė-Nikienė, N., Lujanienė, G., Garnaga, G., Jokšas, K., Garbaras, A., Skipytytė, R., Barisevičiūtė, R., Šilobritienė, B., Stankevičius, A., 2012. Distribution of trace elements and radionuclides in the Curonian Lagoon and the Baltic Sea. *Ocean Past, Present Futur.* – 2012 IEEE/OES Balt. Int. Symp. Balt. 2012. <https://doi.org/10.1109/BALTIC.2012.6249205>

Retama, I., Jonathan, M. P., Roy, P. D., Rodríguez-Espinosa, P. F., Nagarajan, R., Sarkar, S. K., Morales-García, S. S., Muñoz-Sevilla, N. P., 2016. Metal concentrations in sediments from tourist beaches of Huatulco, Oaxaca, Mexico: An evaluation of post-Easter week vacation. *Environ. Earth Sci.* 75, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5281-6>

Roca, E., Villares, M., Ortego, M. I., 2009. Assessing public perceptions on beach quality according to beach users' profile: A case study in the Costa Brava (Spain). *Tour. Manag.* 30, 598–607. <https://doi.org/10.1016/J.TOURMAN.2008.10.015>

Ryabkova O. I., 2009. The experience of creating artificial beaches on the Kaliningrad coast of the Baltic Sea. *Konferenciya: sozdaniye i ispolzovaniye iskusstvennykh zemel'nykh uchastkov na beregakh i akvatorii vodnykh ob'yektov.* Novosibirsk, pp. 15–25.

Saha, S., Banerjee, S., Burley, S. D., Ghosh, A., Saraswati, P. K., 2010. The influence of flood basaltic source terrains on the efficiency of tectonic setting discrimination diagrams: An example from the Gulf of Khambhat, western India. *Sediment. Geol.* 228, 1–13. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2010.03.009>

Saitoh, Y., Tamura, T., Nakano, T., 2017. Geochemical constraints on the sources of beach sand, southern Sendai Bay, northeast Japan. *Mar. Geol.* 387, 97–107. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2017.04.004>

Salomons, W., Förstner, U., 1984. *Metals in the Hydrocycle.* Springer Science & Business Media.

Sandgren, P., Snowball, I., 2001. Application of Mineral Magnetic Techniques to Paleolimnology BT – Tracking Environmental Change Using Lake Sediments: Physical and Geochemical Methods, in: Last, W. M., Smol, J. P. (Eds.). Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 217–237. https://doi.org/10.1007/0-306-47670-3_8

Saniewska, D., Bełdowska, M., Bełdowski, J., Saniewski, M., Gębka, K., Szubska, M., Wochna, A., 2018. Impact of intense rains and flooding on mercury riverine input to the coastal zone. *Mar. Pollut. Bull.* 127, 593–602. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.12.058>

Santhiya, G., Lakshumanan, C., Jonathan, M. P., Roy, P. D., Navarrete-Lopez, M., Srinivasalu, S., Uma-Maheswari, B., Krishnakumar, P., 2011. Metal enrichment in beach sediments from Chennai Metropolis, SE coast of

India. Mar. Pollut. Bull. 62, 2537–2542.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.08.019>

Sanz-Prada, L., García-Ordiales, E., Roqueñí, N., Grande Gil, J. A., Loredó, J., 2020. Geochemical distribution of selected heavy metals in the Asturian coastline sediments (North of Spain). *Mar. Pollut. Bull.* 156, 111263. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2020.111263>

Schmidt, A., Yarnold, R., Hill, M., Ashmore, M., 2005. Magnetic susceptibility as proxy for heavy metal pollution: A site study. *J. Geochemical Explor.* 85, 109–117. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2004.12.001>

Scofield, N., Roggenthen, W. M., 1986. Petrologic evolution of plagioclase-rich cumulates from the Wichita Mountains, Oklahoma: Effects upon magnetic remanence properties. *Geology* 14, 908–911. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1986\)14<908:PEOPCF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1986)14<908:PEOPCF>2.0.CO;2)

Seisuma, Z., Kulikova, I., 2012. Distribution of metal concentrations in sediments of the coastal zone of the Gulf of Riga and open part of the Baltic Sea. *Oceanology* 52, 780–784. <https://doi.org/10.1134/S0001437012060112>

Sergeev, A., 2015. The History of Geological Development of the Curonian Spit in the Holocene and Modern Lithodynamic Processes in the Coastal Zone (In Russian). A. P. Karpinsky Russian Geological Research Institute.

Sergeev, A. Y., Zhamoida, V. A., Ryabchuk, D. V., Buynevich, I. V., Sivkov, V. V., Dorokhov, D. V., Bitinas, A., Pupienis, D., 2017. Genesis, distribution and dynamics of lagoon marl extrusions along the Curonian Spit, southeast Baltic Coast. *Boreas* 46, 69–82. <https://doi.org/10.1111/bor.12177>

Siddique, A., Mumtaz, M., Zaigham, N. A., Mallick, K. A., Saied, S., Zahir, E., Khwaja, H. A., 2009. Heavy metal toxicity levels in the coastal sediments of the Arabian Sea along the urban Karachi (Pakistan) region. *Mar. Pollut. Bull.* 58, 1406–1414. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.06.010>

Sonesten, L., Boutrup, S., Svendsen, L. M., Frank-Kamenetsky, D., Haapaniemi, J., 2018. Inputs of hazardous substances to the Baltic Sea. *Balt. Mar. Environ. Prot. Comm.* 1–27.

Stakėnienė, R., Jokšas, K., Galkus, A., Lagunavičienė, L., 2009. Pollution of Bottom Sediments in Šventoji Port. *Environ. Res. Eng. Manag.* 1, 13–23.

Stauskaitė, R., 1966. Lithology and lithodynamic of modern sediments in the coastal zone of south-east the Baltic Sea. Vilnius.

Stauskaitė, R., 1964. Jūros priekrantinės zonos povandeninio šlaito ir paplūdimio smėlių mineraloginė sudėtis bei litodinamika Nidos rajone, in: Lietuvos TSR Geografinė draugija, Geografinis metraštis, p. 439–462.

Stauskaitė, R., 1962. Mineralogical composition of sand from the Baltic sea coastal stretch between Šventoji – Jantarnoe (Palvininkai). Proc. Sci. Acad. Lith. Ser. B 4, 83–105.

Štuopys, A., Adomavičius, R., 2009. Cementinio akmens luitai Kuršių Nerijos kopgalyje: kilmė ir susidarymo aplinkybės. Moksl. ir Tech. raida 1, 245–257. <https://doi.org/10.3846/est.2009.20>

Suresh Gandhi, M., Raja, M., 2014. Heavy mineral distribution and geochemical studies of coastal sediments between Besant Nagar and Marakkanam, Tamil Nadu, India. J. Radiat. Res. Appl. Sci. 7, 256–268. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2014.06.002>

Szuskiewicz, M., Magiera, T., Kapička, A., Petrovský, E., Grison, H., Gołuchowska, B., 2015. Magnetic characteristics of industrial dust from different sources of emission: A case study of Poland. J. Appl. Geophys. 116, 84–92. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2015.02.027>

Taraškevičius, R., Zinkute, R., 2008. Distribution of heavy metals in upper layers of soil from Vilnius sites exposed to different type of pollution. Polish Geol. Inst. Spec. Pap. 24, 111–116.

Taylor, S. R., 1964. Abundance of chemical elements in the continental crust: A new table. Geochim. Cosmochim. Acta 28, 1273–1285. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0016-7037\(64\)90129-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0016-7037(64)90129-2)

Thompson, G. R., Hower, J., 1975. The mineralogy of glauconite. Clays Clay Miner. 23, 289–300. <https://doi.org/10.1346/CCMN.1975.0230405>

Trojanowski J., Bigus K., T. C., 2011. Differences of chemical components in beaches sediments with dissimilar anthropopressure. Balt. Coast. Zo. J. Ecol. Prot. Coastline 109–126.

Turekian, K. K., Wedephol, K. H., 1961. Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust. GSA Bull. 72, 175–192. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1961\)72\[175:DOTEIS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1961)72[175:DOTEIS]2.0.CO;2)

Van Andel, T. H., 1959. Reflections on the interpretation of heavy mineral analyses. SEPM J. Sediment. Res. Vol. 29. <https://doi.org/10.1306/74d708b7-2b21-11d7-8648000102c1865d>

Vetrimurugan, E., Jonathan, M. P., Roy, P. D., Shruti, V. C., Ndwandwe, O. M., 2016. Bioavailable metals in tourist beaches of Richards Bay, Kwazulu-Natal, South Africa. Mar. Pollut. Bull. 105. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.01.045>

Vetrimurugan, E., Shruti, V. C., Jonathan, M. P., Roy, P. D., Kunene, N. W., Villegas, L. E. C., 2017. Metal concentration in the tourist beaches of South Durban: An industrial hub of South Africa. Mar. Pollut. Bull. 117, 538–546. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.02.036>

Vidinha, J. M., Rocha, F., Silva, E., Patinha, C., Andrade, C., 2009. Geochemical beach sediments studies – a contribution to a standard definition useful for public health. *J. Coast. Res.* 905–908.

Vilhena, J. C. E., Amorim, A., Ribeiro, L., Duarte, B., Pombo, M., 2021. Baseline study of trace element concentrations in sediments of the intertidal zone of Amazonian oceanic beaches. *Front. Mar. Sci.* 8, 1–14. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.671390>

Wang, Y., Huang, Q., Lemckert, C., Ma, Y., 2017. Laboratory and field magnetic evaluation of the heavy metal contamination on Shilaoren Beach, China. *Mar. Pollut. Bull.* 117, 291–301. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.080>

Weltje, G. J., 2006. Ternary sandstone composition and provenance: An evaluation of the ‘Dickinson model.’ *Geol. Soc. London, Spec. Publ.* 264, 79 LP – 99. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2006.264.01.07>

Weltje, G. J., von Eynatten, H., 2004. Quantitative provenance analysis of sediments: Review and outlook. *Sediment. Geol.* 171, 1–11. <https://doi.org/10.1016/J.SEDGEO.2004.05.007>

William F. Tanner, 1990. Origin of barrier islands on sandy coasts. *Trans. Gulf Coast Assoc. Geol. Soc.* 40, 819–824. <https://doi.org/10.1306/20b232cd-170d-11d7-8645000102c1865d>

Yalcin, F., Nyamsari, D. G., Paksu, E., Yalcin, M. G., 2016. Statistical assessment of heavy metal distribution and contamination of beach sands of Antalya – Turkey: An approach to the multivariate analysis techniques. *Filomat* 30, 945–952. <https://doi.org/10.2298/FIL1604945Y>

Yalcin, M. G., 2009. Heavy mineral distribution as related to environmental conditions for modern beach sediments from the Susanoglu (Atakent, Mersin, Turkey). *Environ. Geol.* 58, 119–129. <https://doi.org/10.1007/s00254-008-1499-2>

Zhang, C., Qiao, Q., Appel, E., Huang, B., 2012. Discriminating sources of anthropogenic heavy metals in urban street dusts using magnetic and chemical methods. *J. Geochemical Explor.* 119–120, 60–75. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2012.06.014>

Žilinskas, G., 1997. The length of the Lithuanian coast of the Baltic Sea and its determination problems (in Lithuanian). *Geogr. metraštis* 63–71.

Žilinskas, G., Janušaitė, R., Jarmalavičius, D., Pupienis, D., 2020. The impact of Klaipėda Port entrance channel dredging on the dynamics of coastal zone, Lithuania. *Oceanologia* 62, 489–500. <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2020.08.002>

Žilinskas, G., Jarmalavičius, D., Minkevičius, V., 2001. Eoliniai procesai jūros krante = Eolian processes on the marine coast. Geografijos institutas, Vilnius.

Žilinskas, G., Jarmalavičius, D., Damušytė, A. and Pupienis, D., 2016. Where did exist Juodkrante strait during post-Litorina. International Baltic Earth Secretariat Publication, 9, 235–239.

Žilinskas, G., Jarmalavičius, D., Pupienis, D., 2018. The influence of natural and anthropogenic factors on grain size distribution along the southeastern Baltic spits. Geol. Q. 62, 375–384. <https://doi.org/10.7306/gq.1413>

CURRICULUM VITAE

Apie autore

Dovilė Karlonienė (Vaitkutė) gimė 1984 metais Vilniuje. 2003 metais baigė Vilniaus Mykolo Biržiškos gimnaziją. 2007 metais baigė Ekologijos ir aplinkotyros bakalauro studijas Vilniaus universitete. 2009 metais baigė Aplinkos apsaugos vadybos ir švariosios gamybos magistro programą Vilniaus Gedimino technikos universitete (dabar VilniusTech) ir parengė magistro darbą tema „Nuotekų dumblo poveikio vertinimas pušies ir beržo augimui“. 2017 m. pradėjo fizinės geografijos doktorantūros studijas Vilniaus universiteto Geomokslų institute.

About author

Dovilė Karlonienė (Vaitkutė) was born in 1984 in Vilnius, Lithuania. In 2003 she graduated from Vilnius Mykolas Biržiška Gymnasium. On the same year she enrolled at Vilnius University to study Ecology and Environmental Sciences. After graduation, she began her master's program at Vilnius Gediminas Technical University (currently VilniusTech). She began researching potentially harmful chemical elements and prepared a master's thesis on the "Evaluation of sewage sludge impact on pine and birch growth". After graduation, she continued to work at the Vilnius Gediminas Technical University and researched potentially harmful chemical element monitoring based on pine tree ring analysis. In 2017, she started her doctoral studies in physical geography at the Institute of Geosciences of Vilnius University.

PADĖKA

Norėčiau nuoširdžiai padėkoti savo darbo vadovui doc. dr. Donatui Pupieniui visų pirmą už tai, kad patikėjo manimi ir atvėrė galimybę realizuoti savo neįgyvendintą svajonę – tapti mokslininkų bendruomenės dalimi. Ypač esu dėkinga už pagalbą rengiant publikacijas ir disertacijos tekstą, analizuojant duomenis, taip pat įdomias diskusijas. Svarbiausia, norėčiau padėkoti už nuolatinį moralinį palaikymą, dėl kurio man niekada netrūko motyvacijos tęsti pradėtus darbus.

Taip pat noriu padėkoti Gamtos tyrimų centro mokslininkams dr. Dariui Jarmalavičiui ir dr. Gintautui Žilinskui už suteiktas žinias apie Baltijos jūros krantą, jame vykstančius procesus ir problemas. Esu jiems labai dėkinga už pagalbą vykdant tyrimus, taip pat patarimus, palaikymą ir įdomias istorijas.

Esu labai dėkinga recenzentams dr. Rimantei Zinkutei ir dr. Justui Kažiui už patarimus ir teiktas pastabas dėl disertacijos teksto.

Galiausiai norėčiau nuoširdžiai padėkoti už konsultacijas dr. Annai Cichon-Pupienis, dr. Virgilijai Gregorauskieniei, dr. Donatui Kaminskui ir visiems Vilniaus universiteto Hidrologijos ir klimatologijos katedros kolegoms už draugišką atmosferą.

PUBLIKACIJŲ SĄRAŠAS

Pagrindiniai rezultatai buvo publikuoti trijuose straipsniuose *Clarivate Analytics Web of Science* duomenų bazėje:

1. Karlonienė, D., Pupienis, D., Jarmalavičius, D., Dubikaltienė, A., Žilinskas, G. 2021. The impact of coastal geodynamic processes on the distribution of trace metal content in sandy beach sediments, south-eastern Baltic Sea coast (Lithuania). *Appl. Sci.* 11, no. 3: 1106. <https://doi.org/10.3390/app11031106>
2. Karlonienė, D., Pupienis, D., Jarmalavičius, D., Dubikaltienė, A., Žilinskas, G. 2021. Lithological and geochemical analyses of sandy beach sediments of different geological frameworks: The south-eastern Baltic Sea (Lithuania). *Arab J Geosci* 14, 279. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06468-x>
3. Karaliūnas, V., Jarmalavičius, D., Pupienis, D., Janušaitė, R., Žilinskas, G., Karlonienė, D. 2020. Shore nourishment impact on coastal landscape transformation. On example of Lithuanian Baltic Sea coast. In: Malvárez, G. and Navas, F. (eds.), *Proceedings from the International Coastal Symposium (ICS) 2020 (Seville, Spain)*. *Journal of Coastal Research, Special Issue No. 95*, pp. 11–15. Coconut Creek (Florida), ISSN 0749-0208.

ir šešiose publikacijose recenzuojamoje Lietuvos ir užsienio konferencijų medžiagoje:

4. Karlonienė, D., Pupienis, D., Jarmalavičius, D., Dubikaltienė, A., Žilinskas, G. 2022. Lithological and Geochemical Analysis of Mainland and Spit Sandy Beach Sediments: SE Baltic Sea (Lithuania). In Eds. Çiner A. ir kt. *Recent Research on Geomorphology, Sedimentology, Marine Geosciences and Geochemistry. CAJG 2019. Advances in Science, Technology & Innovation (IEREK Interdisciplinary Series for Sustainable Development)*. Springer, Cham, pp. 85–88. https://doi.org/10.1007/978-3-030-72547-1_19
5. Karlonienė, D., Pupienis, D., Dubikaltienė, A., Jarmalavičius, D., Žilinskas, G. 2020. Sunkiųjų metalų kaita Lietuvos Baltijos jūros paplūdimiuose 2014–2018 metais. 13-oji mokslinė konferencija „Jūros ir krantų tyrimai 2020“. Klaipėda: konferencijos medžiaga. – Klaipėda: Klaipėdos universitetas, 2020, p. 50–53.
6. Pupienis, D., Dubikaltienė, A., Jarmalavičius, D., Žilinskas, G., Karlonienė, D. 2020. Ar tektonika ir neotektoniniai procesai gali paveikti jūros kranto litologiją. Jūros ir krantų tyrimai, 2020: 13-oji nacionalinė jūros mokslų ir technologijų konferencija. Klaipėda:

- konferencijos medžiaga. – Klaipėda: Klaipėdos universitetas, 2020, p. 184–186.
7. Dubikaltienė, A., Pupienis, D., Jarmalavičius, D., Žilinskas, G., Karlonienė, D. 2020. Pietryčių Baltijos jūros žemyno kranto paplūdimio sąnašų smėlio dalelių kaita 1993–2018 m. 13-oji mokslinė konferencija „Jūros ir krantų tyrimai 2020“. Klaipėda: konferencijos medžiaga. – Klaipėda: Klaipėdos universitetas, 2020, p. 50–53.
 8. Karlonienė, D., Pupienis, D., Dubikaltienė, A., Žilinskas, G., Jarmalavičius, D. 2019. Morfolitologinių ir geocheminių anomalijų pasiskirstymo analizė Kuršių nerijos jūros kranto paplūdimyje. Jūros ir krantų tyrimai 2019: 12-oji nacionalinė jūros mokslų ir technologijų konferencija, 2019 m. gegužės 9–10 d., Klaipėda: konferencijos medžiaga. – Klaipėda: Klaipėdos universitetas, 2018, p. 100–103.
 9. Dubikaltienė, A., Pupienis, D., Karlonienė, D., Karaliūnas, V., Vilčinska, V. 2019. Pietryčių Baltijos jūros nešmenų pernašos vertinimas remiantis dugno nuosėdų grūdelių dydžio pasiskirstymo rodiklių analize. Jūros ir krantų tyrimai 2019: 12-oji nacionalinė jūros mokslų ir technologijų konferencija, 2019 m. gegužės 9–10 d., Klaipėda: konferencijos medžiaga. – Klaipėda: Klaipėdos universitetas, 2018, p. 53–57.

UŽRAŠAMS

UŽRAŠAMS

UŽRAŠAMS

Vilniaus universiteto leidykla
Saulėtekio al. 9, III rūmai, LT-10222 Vilnius
El. p. info@leidykla.vu.lt, www.leidykla.vu.lt
bookshop.vu.lt, journals.vu.lt
Tiražas 20 egz.