**DONKALNIO ir spigino kapinynų PRIEŠISTORINIŲ žmonių kilmė ir mobilumas Stroncio izotopų SANTYKIO analizėS DUOMENIMIS**

GYTIS PILIČIAUSKAS1, EDVARDAS SIMČENKA2, JUSTINA KOZAKAITĖ3, ŽYDRŪNĖ MILIAUSKIENĖ4, GIEDRĖ PILIČIAUSKIENĖ5, HARRY KENNETH ROBSON6

1 Archeologijos skyrius, Lietuvos istorijos institutas, Tilto g. 17, 01101 Vilnius, el. paštas: [gytis.piliciauskas@gmail.com](mailto:gytis.piliciauskas@gmail.com)

2 Archeologijos skyrius, Lietuvos istorijos institutas, Tilto g. 17, 01101 Vilnius, el. paštas: <edw753@gmail.com>

3 Medicinos fakultetas, Vilniaus universitetas, M. K. Čiurlionio g. 21, 03101 Vilnius, el. paštas: [j.kozakaite@gmail.com](mailto:j.kozakaite@gmail.com)

4 Medicinos fakultetas, Vilniaus universitetas, M. K. Čiurlionio g. 21, 03101 Vilnius, el. paštas: [zydrune.miliauskiene@mf.vu.lt](mailto:zydrune.miliauskiene@mf.vu.lt" \t "_blank)

5 Archeologijos katedra, Vilniaus universitetas, Universiteto g. 7, 01513 Vilnius, el. paštas: [giedrepils@gmail.com](mailto:giedrepils@gmail.com)

6 BioArCh, Department of Archaeology, University of York, Heslington, York YO10 5DD, UK, el. paštas: <harry.robson@york.ac.uk>

*Priešistorinių žmonių liekanų stroncio izotopų santykio analizė (87Sr/86Sr) leidžia įvertinti mobilumą ir identifikuoti pirmos kartos imigrantus, tačiau jos potencialas stipriai priklauso nuo tiriamo regiono geologijos heterogeniškumo ir biologiškai prieinamo stroncio 87Sr/86Sr santykio variacijos pažinimo. Lietuvos archeologijoje stroncio izotopų analizė pirmą kartą panaudota tik 2019-2020 m. Šiame straipsnyje aptarsime šio metodo taikymo galimybes pietryčių Baltijos regione, kurias iliustruosime Donkalnio ir Spigino akmens amžiaus kapinynų buvusiose Biržulio ežero salose tyrimu*

***Reikšminiai žodžiai:*** stroncio izotopų analizė, migracija, mobilumas, priešistorė, Biržulio ežeras

*Whilst the analysis of strontium isotope ratios (87Sr/86Sr) of human remains enables mobility patterns and migration events to be identified archaeologically, its potential is dependent on the heterogeneity of the underlying geology in the research area, and the knowledge of 87Sr/86Sr ratio variation in the biologically available strontium. In Lithuanian archaeology, the analysis of strontium isotope ratios has only been relatively recently undertaken (2019-2020). In this paper we discuss the potential of the method, and its application to materials from the prehistoric burial grounds of Donkalnis and Spiginas located on former islands in Lake Biržulis in western Lithuania*

***Keywords:*** Strontium isotope ratio analysis, migration, mobility, prehistory, Lake Biržulis

**ĮVADAS**

Stroncio izotopų analizė (87Sr/86Sr) jau daugiau nei tris dešimtmečius sėkmingai naudojama žmonių ir gyvūnų mobilumo praeityje tyrimuose (Ericson 1985; Price ir kt. 1994; Shaw ir kt. 2010; Knudson ir kt. 2012; Gregoricka 2013). Metodo esmė glūdi gyvūnų organizmų gebėjime kaupti stroncį audiniuose, taip pat ir labai tvirtame ir gerai išliekančiame dantų emalyje. Stroncis turi 4 izotopus, iš kurių 87Sr yra radiogeniškas ir susidaro iš 87Rb esant 48.8 milijardo metų skilimo pusperiodžiui. Skirtingos kilmės uolienos pasižymi skirtingu 87Sr/86Sr santykiu - senesnės turi jį aukštesnį. Gyviems organizmams prieinamas stroncis paplinta vandenyje ir dirvožemiuose daugiausiai yra dūlančių uolienų, o 87Sr/86Sr izotopų santykis išlieka pastovus stronciui patenkant į augalus ir gyvūnus. Kadangi dantų emalis po jo mineralizacijos nebepersiformuoja, jis išlaiko tokį patį 87Sr/86Sr santykį, kuris buvo įrašytas formuojantis dančiui vaikystėje. Matuojant 87Sr/86Sr santykį dantų emalyje ir lyginant jį su biologiškai prieinamo stroncio santykiu gyvūnijoje, augalijoje, vandenyje ir dirvožemyje tampa įmanoma nustatyti, ar individas gyveno tam tikrame regione, ar maitinosi jo maistu tiriamam dančiui formuojantis (Bentley 2006; Montgomery 2010; Szostek ir kt. 2015; Holt ir kt. 2021). Taigi, stroncio izotopų analizė leidžia identifikuoti pirmosios kartos imigrantus, tačiau tam yra būtina sąlyga, kad biologiškai prieinamo stroncio izotopų signalai būtų skirtingi gimimo/vaikystės ir mirties/palaidojimo vietose. Daugybiniai emalio mėginių poėmiai iš to paties danties įgalina dokumentuoti vidinę 87Sr/86Sr variaciją, kuri atspindi kelių metų chronologinę seką danties emaliui augant ir mineralizuojantis (Balasse 2002; 2003). Ši variacija leidžia ne tik nustatyti, ar individas vietinis, tačiau ir sužinoti kaip jis judėjo per tuos kelis metus vaikystėje, kuomet formavosi tiriamas dantis (e.g. Glykou ir kt. 2018; Boethius ir kt. 2021).

Iki XXI a. pradžios archeologijoje žmonių migracijos ir mobilumas dažniausiai buvo įrodinėjami tiriant daiktus, jų formas, sudėtį, gamybos būdus, žaliavas. Tačiau daiktai gali keliauti tūkstančius kilometrų mainų būdu, gali būti kopijuojami, kaip ir jų gamybos technologijos. Tad labai svarbūs archeologijai tapo genetinių tyrimų rezultatai, kuri visai neseniai pademonstravo, kad Europos, įskaitant ir rytinę Baltijos pakrantę, neolite ir bronzos amžiuje migracijų vaidmuo buvo itin didelis (Haak ir kt. 2015; Allentoft ir kt. 2015; Olalde ir kt. 2018; Mathieson ir kt. 2018; Saag ir kt. 2021). Stroncio izotopų metodas mobilumo studijose irgi gali būti itin rezultatyvus. Jis galėtų padėti dar daugiau sužinoti apie Lietuvos akmens amžiaus žmonių kilmę, galėtų leisti identifikuoti pirmuosius migrantus ir sezoninio mobilumo atvejus, nustatyti bendrąsias mobilumo kaitos tendencijas ilgalaikėje perspektyvoje, tačiau iki pat 2019-2020 m. nebuvo bandymų tai padaryti. Lietuvos mokslo įstaigos nematuoja 87Sr/86Sr santykio, neturi tam reikalingos įrangos, tačiau tai, greičiausiai, nebuvo pagrindinė priežastis, kodėl stroncio izotopų analizė Lietuvos archeologiją pasiekė tik po 30 metų skaičiuojant nuo pirmųjų sėkmingų jos pritaikymo archeologijoje atvejų kitose šalyse. Pavyzdžiui, anglies ir azoto izotopų analizė jau daugiau nei 10 metų yra tapusi įprastu metodu paleodietos tyrimuose Lietuvoje, nors pirmieji matavimai vykdyti užsienio laboratorijose (Antanaitis-Jacobs ir kt. 2009; Piličiauskas ir kt. 2017a; 2017b). Spėčiau, kad stroncio izotopų analizė Lietuvos archeologus ilgą laiką gąsdino didele laboratorinių tyrimų kaina ir nežinojimu, kiek metodas pasirodys veiksmingas teritorijoje, kurią visą dengia ledynų nuogulos. Be to, norint žinoti, iš kur atvyko nevietiniai individai, reikalingas 87Sr/86Sr santykio biosferoje žemėlapis, apimantis plačias teritorijas. Tačiau tyrimų nebuvo nei Latvijoje, nei Kaliningrado srityje, nei Baltarusijoje, nei šiaurės rytų Lenkijoje. Šiek tiek duomenų apie biosferos stroncio izotopų signalus tik visai neseniai pasirodė Estijoje, kur pabandyta identifikuoti migrantus bronzos ir ankstyvojo geležies amžiaus kapuose (Oras ir kt. 2016). Taigi, nepradėjus pačių tyrimų stroncio izotopų studijų rezultatyvumas Lietuvoje galėjo atrodyti abejotinas.

Lietuvoje pirmasis žingsnis visgi buvo žengtas 2020-2021 m., tiksliau – du žingsniai. Beveik vienu metu buvo pradėti 2 moksliniai projektai, kuriuos abu finansavo Lietuvos mokslo taryba ir kurie numatė 87Sr/86Sr analizę kaip pagrindinį instrumentą praeities žmonių ir gyvūnų mobilumui pažinti. Pirmasis projektas, vadovaujamas G. Piličiauskienės (2019-2022 m., „Žmonės ir žirgai Tautų *kraustymosi laikotarpio (IV-VI a.) Lietuvoje Sr ir O stabiliųjų izotopų duomenimis: kilmė ir socialinis kontekstas*”), tyrė žmonių ir žirgų kilmę geležies amžiuje. Antrasis, vadovaujamas šio straipsnio pirmojo autoriaus, (2020-2022 m., “*Žmonių mobilumas akmens ir bronzos amžiuje stabiliųjų izotopų tyrimų duomenimis*”), nusitaikė į akmens ir bronzos amžiaus žmonių mobilumą. Šis straipsnis iš esmės remiasi antrojo projekto rezultatais. Visi projekto rezultatai bus publikuoti moksliniuose straipsniuose anglų kalba, o šio straipsnio lietuvių kalba tikslas yra siauresnis – supažindinti Lietuvos skaitytoją su mums dar naujo metodo taikymo galimybėmis jas atskleidžiant Biržulio ežero regiono pavyzdžiu. Prie šio ežero esančiuose Spigino ir Donkalnio kapinynuose palaidoti žmonės pasirodė esantys itin tinkami iškeltam tikslui įgyvendinti dėl didžiulės 87Sr/86Sr santykio variacijos ir interpretacijos įvairovės.

Taigi, šiame straipsnyje pateikiamos 13 mezolito-neolito žmonių iš Donkalnio ir Spigino kapinynų 87Sr/86Sr verčių kreivės, pristatomas iš 9 archeologinių gyvūnų sudarytas Biržulio ežero regiono biologiškai prieinamo stroncio 87Sr/86Sr fonas, identifikuojami nevietinės kilmės individai, vertinamas atskirų individų mobilumo laipsnis ir pobūdis vaikystėje, pasiūlomos labiausiai tikėtinos nevietinių individų kilmės vietos, aptariami metodo taikymo sunkumai ir perspektyvos Lietuvoje ir kaimyniniuose kraštuose.

**METODAI IR MĖGINIAI**

Stroncio izotopų santykis (87Sr/86Sr) gali būti matuojamas dviem metodais. Lazerinė abliacija – multikolektorius – induktyviai susietos plazmos masių spektrometrija (angl. *laser ablation multi-collector inductively coupled plasma mass spectrometry*; toliau tekste LA-MC-ICP-MS) naudojama imant iš danties emalio daugybinius mėginius. Kadangi buvo įrodyta, kas 87Sr/86Sr variacija danties emalyje atspindi chronologinę seką, kuomet vyko emalio augimas ir mineralizacija (Balasse 2002; 2003), siekiant ne tik identifikuoti nevietinės kilmės individus, tačiau ir sužinoti, kaip jie judėjo vaikystėje, žmonių dantų tyrimui buvo pasirinktas būtent LA-MC-ICP-MS metodas. Gyvūnų dantų emalis buvo tirtas taikant terminės jonizacijos masių spektrometriją (angl. *thermal ionization mass spectrometry*; toliau tekste TIMS). Šis metodas tikslesnis, o daugybiniai vieno danties tyrimai gyvūnų atveju nebuvo reikalingi. Tiek LA-MC-ICP-MS, tiek TIMS buvo atlikti toje pačioje mokslinių tyrimų institucijoje - Švedijos gamtos istorijos muziejaus Stokholme geomokslų departamente.

Žmonių dantys buvo paimti iš Vilniaus universiteto Medicinos fakulteto Anatomijos, histologijos ir antropologijos katedros saugyklų. Archeologinių gyvūnų dantys buvo paimti iš Vilniaus universiteto Istorijos fakulteto zooarcheologinės medžiagos saugyklos. Iš 4 Spigino kapinyno kapų dantys buvo išlikę dviejuose – 2 ir 4. Donkalnyje iš 14 identifikuotų individų (įskaitant suardytus kapus) 11 dantys buvo išlikę. Tad iš viso tirta 13 dantų, priklausę 13 žmonių.

Renkantis žmonių dantis pirmenybė teikta anksčiausiai susiformuojantiems nuolatiniams krūminiams dantims M1 ir M2. Jų nesant dviem atvejais tirtas M3 ir kaplys P2. Radiografiniais ir histologiniais tyrimais yra nustatyta, kad žmogaus M1 danties emalis pilnai susiformuoja 0-3, M2 – 3-6, M3 – 8-11, P2 – 2-6 metais (Massler ir kt. 1941; Reid, Dean 2006). Taigi, daugeliu atveju mūsų tirtų dantų 87Sr/86Sr santykio variacijos kreivės atspindi ankstyvąją vaikystę – 0-6 gyvenimo metus.

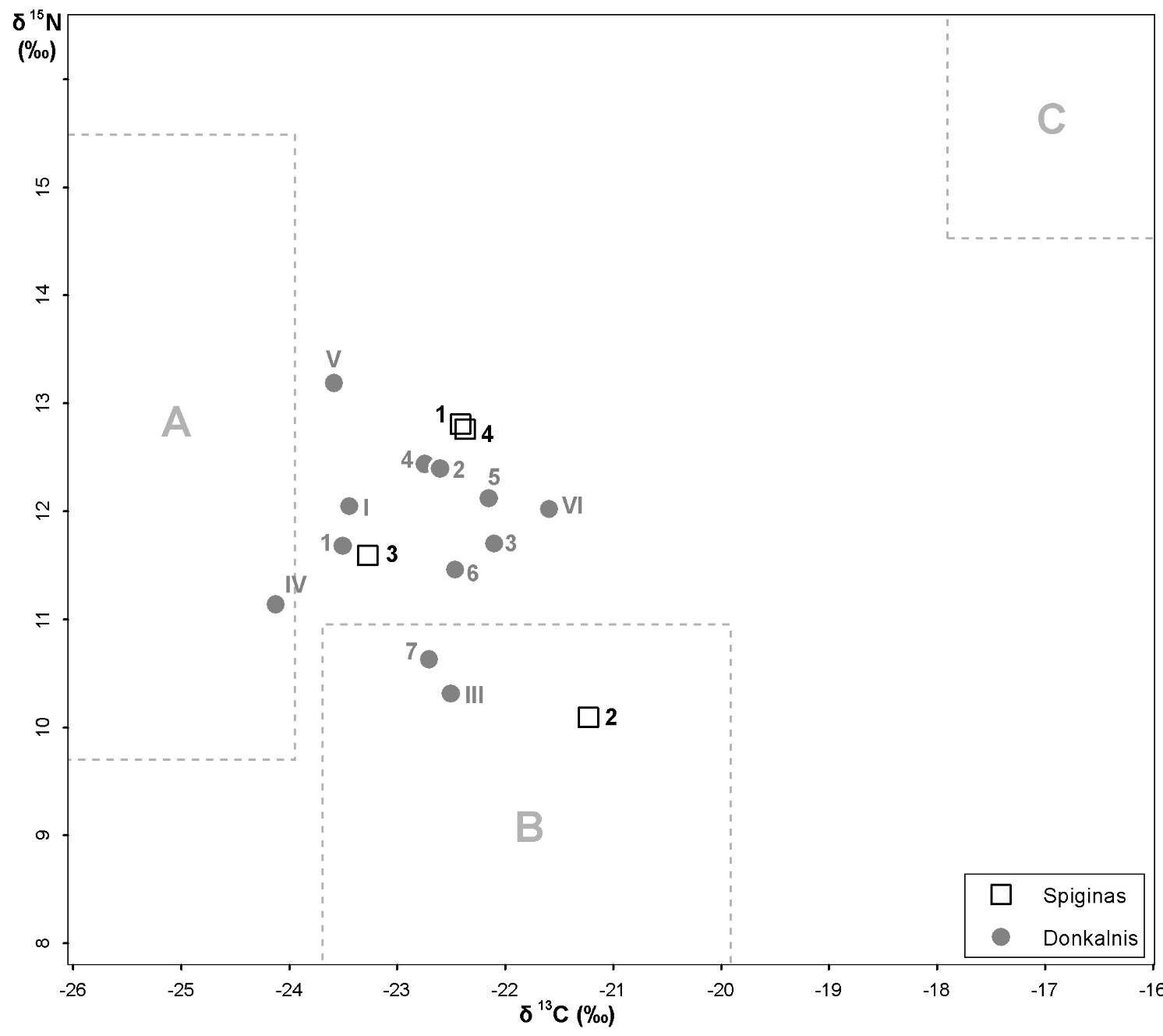
Šiame straipsnyje naudotos 14C datos buvo kalibruotos OxCal 4.2 programa naudojant IntCal13 atmosferos kreivę (Bronk Ramsey, 2009; Reimer ir kt.., 2013), o kalibruotos datos yra pateikiamos kaip 95.4% tikimybės intervalai.

**Biržulio ežero kapai ir gyvenvietės**

Prie Biržulio ežero Telšių r. yra žinomi Donkalnio ir Spigino akmens amžiaus kapinynai, taip pat rasta daug akmens ir bronzos amžių gyvenviečių. Šiuos paminklus 1980-1990 m. surado ir tyrinėjo A. Butrimas (Butrimas ir kt. 1985; Butrimas 1992; 2019; Butrimas, Ostrauskienė 2004). 2016 m. Daktariškės 5 gyvenvietę tyrė G. Piličiauskas. Ji yra pati vertingiausia, nes vienintelė turi ežero priekrantėje susidariusį stratifikuotą subneolito – ankstyvojo bronzos amžiaus archeologinį sluoksnį (Piličiauskas 2018), joje gerai išlikusi kaulinė medžiaga, kuri ir buvo panaudota šiame darbe stroncio izotopų fonui Biržulio ežero apylinkėse nustatyti.

Spigino kapinynas yra keiminėje kalvoje, 110x40 m dydžio ir iki 9 m aukščio, kuri kadaise buvo ežero sala. Keimo šlaitai labai statūs, o viršūnėje plokštumos laidojimui labai maža, tad nenuostabu, kad čia aptikti tik 4 kapai. Kapai pavadinti nr. 1-4 ir datuoti atitinkamai 4440–4240, 2130–1750, 6800-6460, 6440–6230 cal BC (Piličiauskas, Heron 2015; Piličiauskas ir kt. 2017b; Antanaitis-Jacobs ir kt. 2009; Butrimas 1992). Kapų 14C datos rodo, kad sala naudota laidojimui ne mažiau kaip 4500 metų – mezolite (kapai 3 ir 4), subneolite (kapas 1) ir neolite (kapas 2).

Donkalnio kapinynas, panašiai kaip ir Spiginas, yra keiminėje kalvoje, kadaise buvusioje sala arba pusiasaliu, 170x50 m dydžio ir 5 m aukščio. Donkalnis yra žemesnis už Spiginą, jo viršūnė plokštesnė ir didesnio ploto. Čia aptikta ne tik daugiau kapų, bet ir akmens bei geležies amžiaus gyvenviečių liekanų (Butrimas ir kt. 1985). Buvo ištirti 7 kapai, taip pat surinkti dar 6 žmonių palaikai iš kasant žvyrą suardytų kapų. Kapai pavadinti nr. 1-7, o suardytų kapų skeletai – asmenimis I-VI. Vėliau kape nr. 5 surinkti kaulai buvo priskirti 2 individams, maždaug 7 m vaikui ir kūdikiui (Piličiauskas ir kt. 2017b), tad iš viso Donkalnyje palaidota ne mažiau 14 žmonių. Visi jie, kaip ir Spigine, šiandien yra datuoti tiesiogiai 14C metodu, kai kurie – po kelis kartus (Antanaitis-Jacobs ir kt. 2009; Piličiauskas, Heron 2015; Piličiauskas ir kt. 2017b; Butrimas 2019), taip pat irįskaitant ir rastuosius suardytuose kapuose (Simčenka, Piličiauskas, rengiama). Kaip ir Spigine, Donkalnyje irgi buvo laidota labai ilgai, mažiausiai 3000 metų, nors neolito kapų čia nebuvo rasta. Jeigu mezolito ir subneolito riba laikyti 5000 cal BC[[1]](#footnote-1), mezolitui skirtini kapai 2, 4, 5 ir suardytas kapas V. Subneolitu buvo datuoti kapai 1, 3, 6, 7 ir asmenys I-IV, VI iš suardytų kapų. Žmogaus šlaunikaulis iš kapo 7 visai neseniai buvo datuotas 3520-3370 cal BC (Simčenka, Piličiauskas, rengiama), tad nei anksčiau datuotas žvėries kabutis (5460–4940 cal BC; Piličiauskas, Heron 2015), nei lokio žandikaulis (3010-2880 cal BC; Butrimas 2019) greičiausiai nėra susiję su šiuo kapu. Kape buvo palaidotas >45 m. vyras, kurio mityboje pagal C ir N izotopų signalus vyravo sausuminis maistas (1 pav.), tad žmogaus kaulo data negalėjo būti žymiai pasendinta Biržulio ežero rezervuaro efekto. Jis turi būti skiriamas subneolitui, o ne mezolitui ar neolitui, kaip anksčiau manyta.



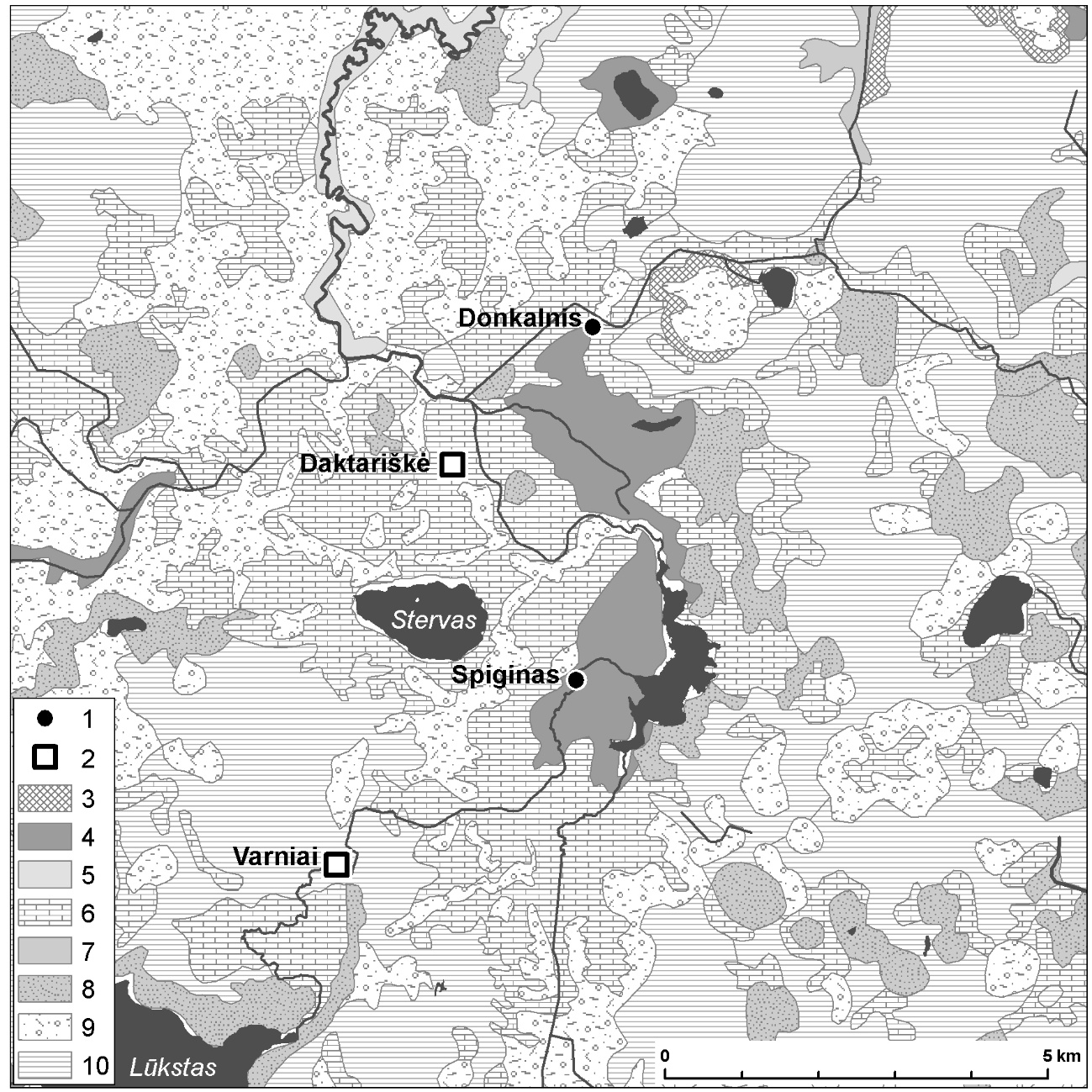
1 pav. Spigino ir Donkalnio žmonių dieta pagal *δ*13C ir *δ*15N vertes kaulo kolagene pagal Antanaitis-Jacobs ir kt. 2009, Piličiauskas ir kt. 2017b, Simčenka, Piličiauskas, rengiama. Tikėtinos maisto grupių vartotojų zonos apibrėžtos punktyru: A – gėlavandenių žuvų; B – žolėdžių ir šernų; C – jūrinių žuvų ir ruonių. *G. Piličiausko brėž.*

Donkalnio ir Spigino kapinynuose palaidotų žmonių dieta yra ištirta. C ir N izotopų kaulo kolagene tyrimai parodė, kad dauguma Donkalnyje ir Spigine palaidotų akmens amžiaus žmonių mito mišriu maistu – sausuminiu ir gėlavandeniu (Antanaitis-Jacobs ir kt. 2009; Piličiauskas ir kt. 2017b; Simčenka, Piličiauskas, rengiama). Išskirtiniai yra subneolitui skiriami Donkalnio individai 7 ir III bei neolitinis Spigino individas 2, kurių baltyminėje dietoje žuvys neužėmė svarbios vietos (1 pav.).

Buvo publikuoti Donkalnio kapuose 1, 4, 6, 7 ir Spigino kapuose 1, 2, 4 palaidotų žmonių genomo duomenys (Bramanti ir kt. 2009; Mittnik ir kt. 2018). Biržulio ežero mezolito ir subneolito medžiotojai Spigino 1, 4 ir Donkalnio 1, 6 kapuose pasirodė esantys labai artimi vakarų medžiotojams-rinkėjams, o su rytų medžiotojais-rinkėjais yra siejama 5-30 % jų genomo. Išsiskiria Donkalnio kapas 4, kuriame mezolite palaidotas vyras neturėjo jokios giminystės su rytų medžiotojais-rinkėjais (Mittnik ir kt. 2018, fig. 3).

**Biržulio ežero apylinkių geologija ir biologiškai prieinamo stroncio IZOTOPINIS FONAS**

Biržulio ežero apylinkių reljefas ir paviršiniai nuosėdų sluoksniai, kaip ir beveik visoje Lietuvoje, buvo suformuoti paskutiniuoju ledynmečiu ir holocene. Ežeras slūgso Tverų moreniniame kalvyne. Į rytus nuo ežero aptinkami fliuvioglacialiniai smėliai ir žvyrai – Biržulio fliuvioglacialinis duburys. Pietuose ir rytuose vyrauja moreniniai priemoliai (2 pav.). Prekvartero nuosėdinės uolienos Lietuvos aukštumose slūgso labai giliai, 100 ar net daugiau metrų gylyje (Aleksa 2007). Biržulio ežero apylinkėse nesant gilių slėnių ir atodangų jų įtaka biosferos stronciui negali būti žymi. Pagrindinis stroncio dirvožemyje ir paviršiniame vandenyje šaltinis yra ledyninėse nuogulose. Šios susidarė iš įvairių periodų jūrinių nuogulų, dažnai karbonatingų, nugremžtų slenkančių ledynų dabartinės Lietuvos ir Latvijos teritorijose, taip pat iš eroduotų prekambro uolienų, ledyno atvilktų iš vidurio Švedijos (Boulton ir kt. 2001). Šių sudėtinių dalių proporcijos ledyninėse nuogulose nėra vienodos. Kartais minima, kad į Lietuvą iš Skandinavijos atvilktos nuosėdos gali sudaryti apie 25 % moreninio priemolio (Kudaba 1983). Prekambro uolienų stroncis vidurio ir šiaurės Švedijoje yra labai radiogeniškas (87Sr/86Sr = 0.72-0.74), o įvairaus laikmečio jūrinių nuosėdų stroncis, priešingai, yra mažai radiogeniškas (0.7073-0.7093) (Löfvendahl ir kt. 1990; Boethius ir kt. 2021; McArthur ir kt. 2001; Veizer ir kt. 1997; Diener ir kt. 1996; Cramer ir kt. 2011; Edwards ir kt. 2015). Taigi, biologiškai prieinamo stroncio izotopų 87Sr/86Sr santykis, nors ir labiausiai priklauso nuo pamatinės uolienos, Biržulio ežero apylinkėse, kaip ir visoje Lietuvoje, negali būti nuspėjamas tik iš geologinės informacijos. Jis gali svyruoti didelėje amplitudėje, priklausomai nuo dviejų skirtingo radiogeniškumo stroncio šaltinių indėlio į biologiškai prieinamą stroncį.



2 pav. Biržulio ežero apylinkių geomorfologinis žemėlapis (pagal Lietuvos geologijos tarnyba 2021). 1 – tirti žmonių dantys, 2 – tirti gyvūnų dantys, 3 – holoceno deliuvis, 4 – holoceno limninės nuosėdos, 5 – holoceno aliuvis, 6 – holoceno pelkių nuogulos, 7 – vėlyvojo pleistoceno aliuvis, 8 - vėlyvojo pleistoceno limnoglacialinės nuogulos, 9 - vėlyvojo pleistoceno fliuvioglacialinės nuogulos, 10 - vėlyvojo pleistoceno moreninės nuogulos. *G. Piličiausko brėž.*

Norint identifikuoti nevietinius individus stroncio izotopų analizės pagalba, buvo būtina sužinoti Biržulio ežero apylinkių biologiškai prieinamo stroncio 87Sr/86Sr variacijos diapazoną. Šiam uždaviniui mes pasirinkome archeologinius gyvūnus. Gyvūnai gerai niveliuoja anomalines, labai aukštas arba žemas 87Sr/86Sr vertes, nes jie minta maistu iš skirtingų regiono vietų (Bentley 2006). 87Sr/86Sr santykis archeologinių gyvūnų dantų emalyje nėra paveiktas nei užteršto lietaus ar nuotekų, nei iš nevietinių medžiagų pagamintų trąšų, kurios į Lietuvos laukus imtos masiškai pilti tik XX a. 2-oje pusėje. Todėl projekto strategija buvo konstruoti 87Sr/86Sr aplinkos fonus skirtingiems regionams būtent iš archeologinių gyvūnų, jeigu įmanoma, mažiau migruojančių. Biržulio ežero regionui parinkome zooarcheologinius mėginius iš Daktariškės 5 gyvenvietės (n = 5; subneolitas – ankstyvasis bronzos amžius) ir Varnių senamiesčio (n = 4; XVI-XVIII a.) (1 lent.). Daktariškės 5 gyvenvietė nuo Donkalnio ir Spigino kapinynų nutolusi 2,5 ir 3,2 km, Varnių miestelis – 7,8 ir 4 km (2 pav.). Taigi, abi zooarcheologinės medžiagos radimvietės nuo kapinynų yra vienos dienos kelionės su sugrįžimu be nakvynės ribose. Jos turėtų atspindėti tiek fliuvioglacialinių, tiek moreninių ledyninių nuogulų 87Sr/86Sr reikšmes, kurios gali būti skirtingos dėl fliuvioglacialiuose smėliuose ir žvyruose lengviau išplaunamų karbonatų negu moreniniame priemolyje. Plati rūšių įvairovė (bebras, elnias, ožka, avis-ožka, kiaulė) turėjo prisidėti prie stroncio izotopinio fono Biržulio regione patikimumo (1 lent.).

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Eil. nr.** | **Gyvenvietė** | **Tyrėjas, tyrimų metai** | **Datavimas** | **Rūšis** | **87Sr/86Sr** | **SD** |
| 1 | Daktariškė 5 | Piličiauskas, 2016 m. | subneolitas - ankstyvasis bronzos amžius | bebras | 0,713292 | 0,000013 |
| 2 | Daktariškė 5 | Piličiauskas, 2016 m. | subneolitas - ankstyvasis bronzos amžius | bebras | 0,714841 | 0,000013 |
| 3 | Daktariškė 5 | Piličiauskas, 2016 m. | ankstyvasis bronzos amžius | ožka | 0,71425 | 0,000013 |
| 4 | Daktariškė 5 | Piličiauskas, 2016 m. | ankstyvasis bronzos amžius | avis/ožka | 0,713485 | 0,000013 |
| 5 | Daktariškė 5 | Piličiauskas, 2016 m. | subneolitas - ankstyvasis bronzos amžius | elnias | 0,71495 | 0,000013 |
| 6 | Varniai, Daukanto g. 8 | Kontrimas, 2013 m. | ankstyvieji naujieji laikai | kiaulė | 0,714592 | 0,000013 |
| 7 | Varniai, Daukanto g. 8 | Kontrimas, 2013 m. | ankstyvieji naujieji laikai | kiaulė | 0,716614 | 0,000013 |
| 8 | Varniai, Daukanto g. 8 | Kontrimas, 2013 m. | ankstyvieji naujieji laikai | kiaulė | 0,7155\* | 0,0002\* |
| 9 | Varniai, Daukanto g. 8 | Kontrimas, 2013 m. | ankstyvieji naujieji laikai | avis/ožka | 0,7138\* | 0,0005\* |

1 lent. Tirtų gyvūnų dantų iš Daktariškės 5 ir Varnių gyvenviečių sąrašas ir 87Sr/86Sr matavimų rezultatai. \* - LA-MC-ICP-MS matavimai, kiti – TIMS matavimai

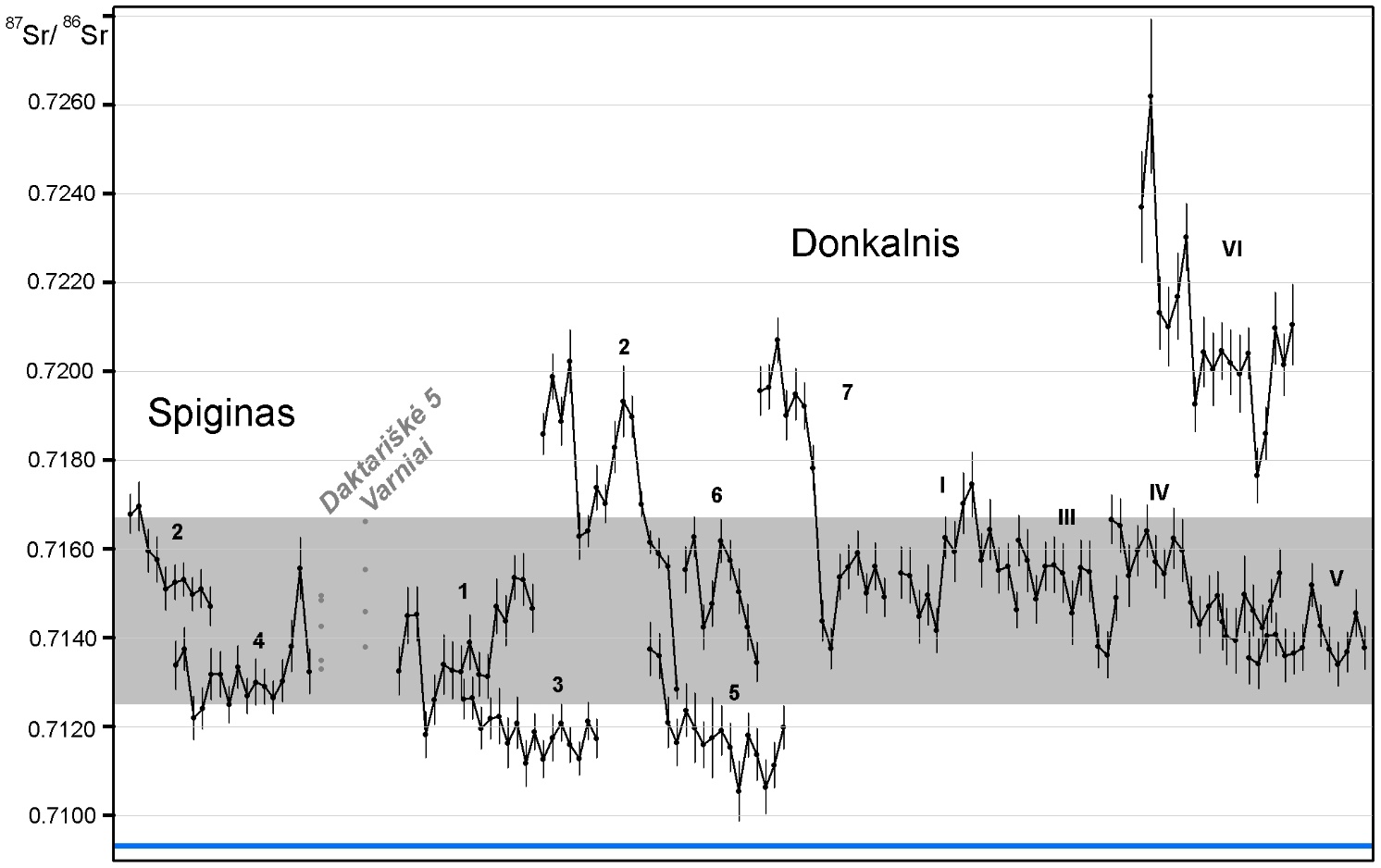
Tokiu būdu iš 9 gyvūnų Biržulio ežero regionui apskaičiuotas biologiškai prieinamo stroncio izotopų fonas yra 0,7146 ± 0,0021 (2 SD) arba 0,7125 – 0,7167.

**DONKALNIO IR SPIGINO ŽMONIŲ KILMĖ IR MOBILUMAS**

Trylikai Donkalnio ir Spigino žmonių dantų buvo atlikti 193 87Sr/86Sr matavimai taikant LA-MC-ICP-MS. Vienam dančiui teko nuo 10 iki 20 matavimo įpjovų (linijų), vidutiniškai – po 15. Visi rezultatai, įskaitant 2 SD paklaidas, pateikiami suapvalinti iki 4 skaitmens po kablelio (2 lent.). Šių matavimų pagrindu visiems individams nubraižytos vidinės 87Sr/86Sr variacijos kreivės, daugiau ar mažiau atspindinčios tirto danties emalio formavimosi chronologiją (3 pav.). Toliau jos naudotos tiek nevietiniams individams identifikuoti, tiek skirtingų individų mobilumo pobūdžiui įvertinti.

| **Kapinynas** | **Kapas** | **Linija** | **87Sr/86Sr** | **2SD** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Donkalnis | 1 | 1 | 0,7133 | 0,0005 |
| Donkalnis | 1 | 2 | 0,7145 | 0,0006 |
| Donkalnis | 1 | 3 | 0,7145 | 0,0006 |
| Donkalnis | 1 | 4 | 0,7118 | 0,0005 |
| Donkalnis | 1 | 5 | 0,7126 | 0,0006 |
| Donkalnis | 1 | 6 | 0,7134 | 0,0007 |
| Donkalnis | 1 | 7 | 0,7133 | 0,0006 |
| Donkalnis | 1 | 8 | 0,7132 | 0,0006 |
| Donkalnis | 1 | 9 | 0,7139 | 0,0006 |
| Donkalnis | 1 | 10 | 0,7132 | 0,0005 |
| Donkalnis | 1 | 11 | 0,7131 | 0,0005 |
| Donkalnis | 1 | 12 | 0,7147 | 0,0006 |
| Donkalnis | 1 | 13 | 0,7144 | 0,0006 |
| Donkalnis | 1 | 14 | 0,7154 | 0,0005 |
| Donkalnis | 1 | 15 | 0,7153 | 0,0006 |
| Donkalnis | 1 | 16 | 0,7147 | 0,0005 |
| Donkalnis | 2 | 1 | 0,7186 | 0,0005 |
| Donkalnis | 2 | 2 | 0,7199 | 0,0005 |
| Donkalnis | 2 | 3 | 0,7189 | 0,0005 |
| Donkalnis | 2 | 4 | 0,7202 | 0,0007 |
| Donkalnis | 2 | 5 | 0,7163 | 0,0005 |
| Donkalnis | 2 | 6 | 0,7164 | 0,0004 |
| Donkalnis | 2 | 7 | 0,7174 | 0,0005 |
| Donkalnis | 2 | 8 | 0,7170 | 0,0004 |
| Donkalnis | 2 | 9 | 0,7183 | 0,0006 |
| Donkalnis | 2 | 10 | 0,7193 | 0,0008 |
| Donkalnis | 2 | 11 | 0,7190 | 0,0005 |
| Donkalnis | 2 | 12 | 0,7170 | 0,0003 |
| Donkalnis | 2 | 13 | 0,7162 | 0,0003 |
| Donkalnis | 2 | 14 | 0,7159 | 0,0003 |
| Donkalnis | 2 | 15 | 0,7156 | 0,0002 |
| Donkalnis | 2 | 16 | 0,7128 | 0,0002 |
| Donkalnis | 3 | 1 | 0,7126 | 0,0005 |
| Donkalnis | 3 | 2 | 0,7126 | 0,0005 |
| Donkalnis | 3 | 3 | 0,7120 | 0,0005 |
| Donkalnis | 3 | 4 | 0,7122 | 0,0005 |
| Donkalnis | 3 | 5 | 0,7122 | 0,0006 |
| Donkalnis | 3 | 6 | 0,7116 | 0,0006 |
| Donkalnis | 3 | 7 | 0,7121 | 0,0006 |
| Donkalnis | 3 | 8 | 0,7112 | 0,0005 |
| Donkalnis | 3 | 9 | 0,7119 | 0,0004 |
| Donkalnis | 3 | 10 | 0,7113 | 0,0004 |
| Donkalnis | 3 | 11 | 0,7117 | 0,0005 |
| Donkalnis | 3 | 12 | 0,7121 | 0,0004 |
| Donkalnis | 3 | 13 | 0,7116 | 0,0004 |
| Donkalnis | 3 | 14 | 0,7113 | 0,0004 |
| Donkalnis | 3 | 15 | 0,7121 | 0,0004 |
| Donkalnis | 3 | 16 | 0,7117 | 0,0004 |
| Donkalnis | 5 | 1 | 0,7138 | 0,0006 |
| Donkalnis | 5 | 2 | 0,7136 | 0,0005 |
| Donkalnis | 5 | 3 | 0,7121 | 0,0006 |
| Donkalnis | 5 | 4 | 0,7116 | 0,0005 |
| Donkalnis | 5 | 5 | 0,7124 | 0,0006 |
| Donkalnis | 5 | 6 | 0,7120 | 0,0008 |
| Donkalnis | 5 | 7 | 0,7116 | 0,0005 |
| Donkalnis | 5 | 8 | 0,7118 | 0,0009 |
| Donkalnis | 5 | 9 | 0,7119 | 0,0006 |
| Donkalnis | 5 | 10 | 0,7115 | 0,0006 |
| Donkalnis | 5 | 11 | 0,7105 | 0,0007 |
| Donkalnis | 5 | 12 | 0,7118 | 0,0005 |
| Donkalnis | 5 | 13 | 0,7114 | 0,0006 |
| Donkalnis | 5 | 14 | 0,7106 | 0,0006 |
| Donkalnis | 5 | 15 | 0,7111 | 0,0005 |
| Donkalnis | 5 | 16 | 0,7120 | 0,0005 |
| Donkalnis | 6 | 1 | 0,7155 | 0,0005 |
| Donkalnis | 6 | 2 | 0,7163 | 0,0004 |
| Donkalnis | 6 | 3 | 0,7142 | 0,0005 |
| Donkalnis | 6 | 4 | 0,7148 | 0,0005 |
| Donkalnis | 6 | 5 | 0,7162 | 0,0005 |
| Donkalnis | 6 | 6 | 0,7158 | 0,0005 |
| Donkalnis | 6 | 7 | 0,7150 | 0,0005 |
| Donkalnis | 6 | 8 | 0,7142 | 0,0005 |
| Donkalnis | 6 | 9 | 0,7135 | 0,0004 |
| Donkalnis | 7 | 1 | 0,7196 | 0,0006 |
| Donkalnis | 7 | 2 | 0,7197 | 0,0005 |
| Donkalnis | 7 | 3 | 0,7207 | 0,0005 |
| Donkalnis | 7 | 4 | 0,7190 | 0,0006 |
| Donkalnis | 7 | 5 | 0,7195 | 0,0006 |
| Donkalnis | 7 | 6 | 0,7192 | 0,0005 |
| Donkalnis | 7 | 7 | 0,7178 | 0,0005 |
| Donkalnis | 7 | 8 | 0,7144 | 0,0005 |
| Donkalnis | 7 | 9 | 0,7138 | 0,0005 |
| Donkalnis | 7 | 10 | 0,7154 | 0,0005 |
| Donkalnis | 7 | 11 | 0,7156 | 0,0005 |
| Donkalnis | 7 | 12 | 0,7159 | 0,0005 |
| Donkalnis | 7 | 13 | 0,7150 | 0,0004 |
| Donkalnis | 7 | 14 | 0,7156 | 0,0005 |
| Donkalnis | 7 | 15 | 0,7149 | 0,0004 |
| Donkalnis | I | 1 | 0,7155 | 0,0006 |
| Donkalnis | I | 2 | 0,7154 | 0,0006 |
| Donkalnis | I | 3 | 0,7145 | 0,0006 |
| Donkalnis | I | 4 | 0,7150 | 0,0007 |
| Donkalnis | I | 5 | 0,7142 | 0,0005 |
| Donkalnis | I | 6 | 0,7163 | 0,0005 |
| Donkalnis | I | 7 | 0,7160 | 0,0007 |
| Donkalnis | I | 8 | 0,7170 | 0,0007 |
| Donkalnis | I | 9 | 0,7175 | 0,0007 |
| Donkalnis | I | 10 | 0,7158 | 0,0006 |
| Donkalnis | I | 11 | 0,7164 | 0,0007 |
| Donkalnis | I | 12 | 0,7155 | 0,0005 |
| Donkalnis | I | 13 | 0,7156 | 0,0005 |
| Donkalnis | I | 14 | 0,7146 | 0,0004 |
| Donkalnis | III | 1 | 0,7162 | 0,0006 |
| Donkalnis | III | 2 | 0,7157 | 0,0007 |
| Donkalnis | III | 3 | 0,7149 | 0,0005 |
| Donkalnis | III | 4 | 0,7156 | 0,0005 |
| Donkalnis | III | 5 | 0,7156 | 0,0006 |
| Donkalnis | III | 6 | 0,7155 | 0,0007 |
| Donkalnis | III | 7 | 0,7146 | 0,0007 |
| Donkalnis | III | 8 | 0,7156 | 0,0006 |
| Donkalnis | III | 9 | 0,7155 | 0,0007 |
| Donkalnis | III | 10 | 0,7138 | 0,0005 |
| Donkalnis | III | 11 | 0,7136 | 0,0005 |
| Donkalnis | III | 12 | 0,7149 | 0,0005 |
| Donkalnis | IV | 1 | 0,7167 | 0,0006 |
| Donkalnis | IV | 2 | 0,7165 | 0,0006 |
| Donkalnis | IV | 3 | 0,7154 | 0,0007 |
| Donkalnis | IV | 4 | 0,7160 | 0,0006 |
| Donkalnis | IV | 5 | 0,7164 | 0,0006 |
| Donkalnis | IV | 6 | 0,7157 | 0,0006 |
| Donkalnis | IV | 7 | 0,7154 | 0,0006 |
| Donkalnis | IV | 8 | 0,7162 | 0,0007 |
| Donkalnis | IV | 9 | 0,7160 | 0,0007 |
| Donkalnis | IV | 10 | 0,7148 | 0,0006 |
| Donkalnis | IV | 11 | 0,7143 | 0,0006 |
| Donkalnis | IV | 12 | 0,7147 | 0,0007 |
| Donkalnis | IV | 13 | 0,7149 | 0,0006 |
| Donkalnis | IV | 14 | 0,7140 | 0,0006 |
| Donkalnis | IV | 15 | 0,7139 | 0,0007 |
| Donkalnis | IV | 16 | 0,7150 | 0,0009 |
| Donkalnis | IV | 17 | 0,7146 | 0,0006 |
| Donkalnis | IV | 18 | 0,7142 | 0,0005 |
| Donkalnis | IV | 19 | 0,7148 | 0,0005 |
| Donkalnis | IV | 20 | 0,7155 | 0,0005 |
| Donkalnis | V | 1 | 0,7144 | 0,0006 |
| Donkalnis | V | 2 | 0,7136 | 0,0006 |
| Donkalnis | V | 3 | 0,7134 | 0,0006 |
| Donkalnis | V | 4 | 0,7141 | 0,0006 |
| Donkalnis | V | 5 | 0,7141 | 0,0005 |
| Donkalnis | V | 6 | 0,7136 | 0,0006 |
| Donkalnis | V | 7 | 0,7137 | 0,0005 |
| Donkalnis | V | 8 | 0,7138 | 0,0005 |
| Donkalnis | V | 9 | 0,7152 | 0,0005 |
| Donkalnis | V | 10 | 0,7143 | 0,0005 |
| Donkalnis | V | 11 | 0,7137 | 0,0005 |
| Donkalnis | V | 12 | 0,7134 | 0,0005 |
| Donkalnis | V | 13 | 0,7137 | 0,0004 |
| Donkalnis | V | 14 | 0,7146 | 0,0005 |
| Donkalnis | V | 15 | 0,7138 | 0,0005 |
| Donkalnis | VI | 1 | 0,7237 | 0,0012 |
| Donkalnis | VI | 2 | 0,7262 | 0,0017 |
| Donkalnis | VI | 3 | 0,7213 | 0,0008 |
| Donkalnis | VI | 4 | 0,7210 | 0,0009 |
| Donkalnis | VI | 5 | 0,7217 | 0,001 |
| Donkalnis | VI | 6 | 0,7230 | 0,0008 |
| Donkalnis | VI | 7 | 0,7193 | 0,0006 |
| Donkalnis | VI | 8 | 0,7204 | 0,0008 |
| Donkalnis | VI | 9 | 0,7201 | 0,0008 |
| Donkalnis | VI | 10 | 0,7205 | 0,0006 |
| Donkalnis | VI | 11 | 0,7202 | 0,0007 |
| Donkalnis | VI | 12 | 0,7199 | 0,0009 |
| Donkalnis | VI | 13 | 0,7204 | 0,0006 |
| Donkalnis | VI | 14 | 0,7177 | 0,0006 |
| Donkalnis | VI | 15 | 0,7186 | 0,0006 |
| Donkalnis | VI | 16 | 0,7210 | 0,0008 |
| Donkalnis | VI | 17 | 0,7202 | 0,0007 |
| Donkalnis | VI | 18 | 0,7211 | 0,0009 |
| Spiginas | 2 | 1 | 0,7168 | 0,0005 |
| Spiginas | 2 | 2 | 0,7170 | 0,0006 |
| Spiginas | 2 | 3 | 0,7160 | 0,0005 |
| Spiginas | 2 | 4 | 0,7158 | 0,0005 |
| Spiginas | 2 | 5 | 0,7151 | 0,0005 |
| Spiginas | 2 | 6 | 0,7153 | 0,0004 |
| Spiginas | 2 | 7 | 0,7153 | 0,0004 |
| Spiginas | 2 | 8 | 0,7150 | 0,0004 |
| Spiginas | 2 | 9 | 0,7151 | 0,0004 |
| Spiginas | 2 | 10 | 0,7147 | 0,0004 |
| Spiginas | 4 | 1 | 0,7134 | 0,0006 |
| Spiginas | 4 | 2 | 0,7137 | 0,0005 |
| Spiginas | 4 | 3 | 0,7122 | 0,0005 |
| Spiginas | 4 | 4 | 0,7124 | 0,0005 |
| Spiginas | 4 | 5 | 0,7132 | 0,0006 |
| Spiginas | 4 | 6 | 0,7132 | 0,0005 |
| Spiginas | 4 | 7 | 0,7125 | 0,0004 |
| Spiginas | 4 | 8 | 0,7133 | 0,0005 |
| Spiginas | 4 | 9 | 0,7127 | 0,0004 |
| Spiginas | 4 | 10 | 0,7130 | 0,0005 |
| Spiginas | 4 | 11 | 0,7129 | 0,0004 |
| Spiginas | 4 | 12 | 0,7127 | 0,0004 |
| Spiginas | 4 | 13 | 0,7130 | 0,0005 |
| Spiginas | 4 | 14 | 0,7138 | 0,0006 |
| Spiginas | 4 | 15 | 0,7156 | 0,0007 |
| Spiginas | 4 | 16 | 0,7132 | 0,0005 |

2 lent. Tirtų žmonių iš Donkalnio ir Spigino kapinynų dantų emalio 87Sr/86Sr matavimų rezultatai

****

3 pav. Donkalnio ir Spigino mezolito-neolito gyventojų 87Sr/86Sr santykio dantų emalyje vidinės variacijos kreivės gyvūnų iš Daktariškės 5 ir Varnių gyvenviečių 87Sr/86Sr verčių fone (2 SD). Kiekvienam žmogaus danties matavimui pavaizduota ir 2 SD paklaida. Mėlyna linija grafiko apačioje vaizduoja Baltijos jūrai būdingą 87Sr/86Sr (0,7093 pagal Andersson ir kt. 1992). *G. Piličiausko brėž.*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Eil. nr.** | **Kapinynas** | **Kapas** | **Lytis** | **Amžius** | **Dantis** | **Datavimas** | **87Sr/86Sr**  **vidurkis** | **SD** | **Interpretacija** |
| 1 | Donkalnis | 1 | m | 18-20 | M1 | subneolitas | 0,7138 | 0,001 | pusiau vietinis |
| 2 | Donkalnis | 2 | v | 20-25 | M1 | mezolitas | 0,7174 | 0,0019 | nevietinis |
| 3 | Donkalnis | 3 | m | 25-30 | M3 | subneolitas | 0,7119 | 0,0004 | nevietinis |
| 4 | Donkalnis | 5 | ? | 5-9 | M1 | mezolitas | 0,7119 | 0,0009 | pusiau vietinis |
| 5 | Donkalnis | 6 | m | >30 | M2 | subneolitas | 0,7151 | 0,001 | vietinis |
| 6 | Donkalnis | 7 | v | ~50 | P2 | subneolitas | 0,7171 | 0,0023 | nevietinis |
| 7 | Donkalnis | suardytas I | v | >30 | M2 | subneolitas | 0,7157 | 0,0009 | pusiau vietinis |
| 8 | Donkalnis | suardytas III | v | 20-30 | M1 | subneolitas | 0,7151 | 0,0008 | vietinis |
| 9 | Donkalnis | suardytas IV | ? | suaugęs | M1 | subneolitas | 0,7153 | 0,0008 | vietinis |
| 10 | Donkalnis | suardytas V | ? | 20-30 | M1 | mezolitas | 0,7139 | 0,0005 | vietinis |
| 11 | Donkalnis | suardytas VI | ? | 6-8 | M1 | subneolitas | 0,7209 | 0,0019 | nevietinis |
| 12 | Spiginas | 2 | v | 50-55 | M2 | neolitas | 0,7156 | 0,0008 | vietinis |
| 13 | Spiginas | 4 | m | 30-35 | M1 | mezolitas | 0,7132 | 0,0008 | vietinis |

3 lent. Tirtų žmonių iš Donkalnio ir Spigino kapinynų 87Sr/86Sr vidurkiai ir interpretacija

Pagal vienam dančiui išmatuotas 87Sr/86Sr variacijos kreives ir jų santykį su regiono 87Sr/86Sr fonu tirti individai iš Donkalnio ir Spigino kapinynų buvo suskirstyti į 3 grupes: vietinius, nevietinius ir pusiau vietinius (3 lent.). Vietiniais vadinami individai, kurių vidinė 87Sr/86Sr santykio variacija neviršija regiono fono (0,7125 – 0,7167). Tikėtina, jie gimė Biržulio ežero regione ir praleido čia bent kelis metus iš jo neišvykstant. Visgi iš 87Sr/86Sr matavimų kituose Lietuvos vietose žinome, kad daugelio Lietuvos regionų 87Sr/86Sr fonai yra panašūs ir stipriai persidengia (Piličiauskas ir kt. rengiama), tad visuomet išlieka tikimybė, kad kai kurie individai su vietinėmis 87Sr/86Sr vertėmis iš tiesų yra nevietiniai. Nevietiniais individais laikysime tuos, kurių visa 87Sr/86Sr santykio kreivė arba bent pirmieji matavimai yra už regiono fono (0,7125 – 0,7167) ribų. Šie individai turėjo gimti kažkur toliau nuo Biržulio. Pusiau vietiniais individais laikysime tuos, kurių 87Sr/86Sr kreivės pradžioje yra Biržulio regiono fono (0,7125 – 0,7167) ribose, tačiau vėlesnį danties emalio formavimosi metą atitinkančiuose matavimuose jau išeina už šių ribų. Tokie individai greičiausiai gimė kažkur prie Biržulio, vėliau išvyko ir vėl sugrįžo. Be to neatmestina galimybė, kad jie gimė ne prie Biržulio, o kitame regione su panašiu stroncio fonu, o Biržulį iš ten pasiekė prieš tai pagyvenę skirtingo stroncio fono aplinkoje.

Donkalnio ir Spigino žmonės pasižymi labai skirtinga 87Sr/86Sr santykio variacija viename dantyje standartiniam nuokrypiui svyruojant tarp 0,0004 (Donkalnio kapas 3) ir 0,0023 (Donkalnio kapas 7). Daugumos individų (7/13) 87Sr/86Sr SD yra 0,0008-0,0009 (4 pav.). Tokią vidinę variaciją vadinsime vidutine. Du individai turi žemą vidinę variaciją (SD = 0,0004-0,0005) ir trys individai – labai aukštą (SD = 0,0019-0,0023).

Vidinė 87Sr/86Sr variacija rodo individo mobilumo laipsnį. Sėsliai gyvenę žvejai turėtų turėti žemą vidinę variaciją, nors tokią taip pat gali turėti tie, kurių sezoninės gyvenvietės buvo vietovėse su panašiu stroncio radiogeniškumu. Tarp vidutinę vidinę variaciją demonstruojančių individų galima tikėtis aptikti sezoninio mobilumo požymių. Tokį mobilumo pobūdį turėtų atspindėti 87Sr/86Sr vidinės variacijos cikliškumas, sukuriamas individui pakartotinai judant tarp tų pačių vietovių, pasižyminčių nevienodu stroncio radiogeniškumu. Tačiau iš variacijos ciklų skaičiaus nėra įmanoma tiksliai nustatyti, kiek kartų per danties emalio formavimosi laikotarpį sezoniškai judantis individas pakeitė gyvenamąją vietą, nes stroncio izotopų analizė neleidžia identifikuoti persikėlimo tarp vietovių su vienodo radiogeniškumo biosferos stronciu. Ciklišką vidinę 87Sr/86Sr variaciją gali sukelti ir sezoniniai dietos pokyčiai, tačiau ne visuose regionuose. Sausumos ir vandens maisto produktuose 87Sr/86Sr santykis gali reikšmingai skirtis, jeigu upės plukdo vandenį iš kito regiono su skirtinga geologija arba surenka gruntinį vandenį iš gilių geologinių sluoksnių (Bentley 2006). Visgi Biržulio atveju tai nėra įmanoma, nes jis yra aukštumoje, jį vagoja tik nedidelių upių aukštupiai, neturintys gilių slėnių.

Aukštą vidinę variaciją prie Biržulio demonstruoja nevietinės kilmės individai. Jų mobilumo pobūdį ir laipsnį prieš persikėlimą ir/arba po jo taip pat galima vertinti pagal 87Sr/86Sr vidinės variacijos kreives.

4 pav. Donkalnio ir Spigino žmonių 87Sr/86Sr matavimų viename dantyje standartinės deviacijos. *G. Piličiausko brėž.*

Toliau, remiantis aukščiau apibūdintais stroncio izotopų analizės duomenų interpretacijos principais, aptarsime visų tirtų Donkalnio ir Spigino žmonių vidines variacijas individualiai, atsižvelgdami ir į kitokių tyrimų duomenis.

Pradėsim nuo Spigino kape 2 neolite palaidoto apie 50 m. vyro. Tirtas nuolatinis krūminis dantis M2, tad 87Sr/86Sr vidinės variacijos kreivė atspindi 3-6 gyvenimo metus (Massler ir kt. 1941; Reid, Dean 2006). Vaikystėje šis vyras mažiausiai vieną kartą keitė gyvenamąją vietą persikeldamas iš aplinkos su labiau radiogenišku stronciu (87Sr/86Sr = ~0,717) į aplinką su mažiau radiogenišku stronciu (87Sr/86Sr =~0,715), tačiau tai vyko Biržulio ežero apylinkių stroncio fono ribose (0,7125 – 0,7167). Vidinėje šio individo variacijoje nėra cikliškumo, tad negalime joje įžiūrėti sezoninės migracijos požymių (3 pav.). Tikėtina, kad po persikėlimo jis gyveno gana sėsliai arba judėjo tarp vietovių su panašiu 87Sr/86Sr santykiu. Šio individo C ir N izotopų signalai skiriasi nuo mezolito ir subneolito žmonių ir rodo, kad šis neolito pabaigos gyventojas tikrai nebuvo žvejys, o maitinosi daugiausiai sausuminiu maistu (1 pav.).

Spigino kape 4 mezolite palaidota 30-35 m. moteris. Tirtas nuolatinis krūminis dantis M1, kurio emalis formuojasi 0-3 metais (Massler ir kt. 1941; Reid, Dean 2006). Šis individas irgi vertintinas kaip vietinis, tačiau vidinės 87Sr/86Sr variacijos kreivėje matomi 2 87Sr/86Sr santykio kritimai, galimai rodantys sezoninį mobilumą (3 pav.). Tai gana tipiškas mezolito-subneolito atstovas, mobilus medžiotojas-rankiotojas, kurio baltymų dietoje žymią dalį sudarė gėlavandenės žuvys (1 pav.).

Donkalnio kape 1 subneolite palaidota apie 18-20 metų moteris. Tirtas nuolatinis krūminis dantis M1, kurio emalis formuojasi 0-3 metais (Massler ir kt. 1941; Reid, Dean 2006). Vidinėje 87Sr/86Sr variacijos kreivėje matomi pasikartojantys 87Sr/86Sr santykio kritimai ir kilimai, iš kurų tik vienas matavimas išeina už vietinio 87Sr/86Sr fono ribų. Tokia variacija interpretuotina kaip sezoninio mobilumo, daugiausiai - Biržulio ežero apylinkėse, požymis (3 pav.).

Donkalnio kape 2 mezolite palaidotas apie 20-25 metų vyras. Tirtas nuolatinis krūminis dantis M1, kurio emalis formuojasi 0-3 metais (Massler ir kt. 1941; Reid, Dean 2006). Tai neabejotinai nevietinis individas. Jis gimė regione, kurio 87Sr/86Sr fonas buvo apie 7,2. Ši vertė viršija bendrą Lietuvos biologiškai prieinamo stroncio foną (Piličiauskas ir kt. rengiama; Piličiauskienė ir kt. rengiama). Artimiausias regionas, kuriame buvo fiksuotos 0,72 ir aukštesnės 87Sr/86Sr vertės yra pietų Suomija ir Karelija (5 pav.). Taigi, tikėtina, kad šis vyras prie Biržulio atsikėlė dar ankstyvoje vaikystėje. Vidinės variacijos kreivėje matomas cikliškumas (3 pav.) gali būti interpretuojamas dvejopai. Arba kelionė truko ilgai, kelis metus, su tarpiniais punktais, pasižyminčiais įvairaus radiogeniškumo stroncio fonais, arba individas tarp gimtinės ir Biržulio pirmaisiais gyvenimo metais kursavo kelis kartus.

Donkalnio kape 3 subneolite palaidota apie 25-30 metų moteris. Tirtas nuolatinis krūminis dantis M3, kurio emalis formuojasi 8-11 gyvenimo metais (Massler ir kt. 1941; Reid, Dean 2006). Šis individas išskirtinis tuo, kad jo vidinė 87Sr/86Sr variacija yra pati žemiausia (SD = 0,0004) tarp Donkalnio ir Spigino žmonių (4 pav.). Pirmieji 2 matavimai iš anksčiausiai besiformuojančios emalio vietos ties danties viršūne davė vienodus rezultatus - 0,7126 ± 0,0005 (2SD) (3 pav.). Formaliai žiūrint jie patenka į Biržulio ežero apylinkių biosferos stroncio foną (0,7125 – 0,7167), tačiau yra žemesni už pačią žemiausią gyvūno 87Sr/86Sr vertę (Daktariškės 5 bebras, 0,7133). Kiti to paties danties matavimai jau davė žemesnes už Biržulio foną vertes, apie 0,711-0,712, kurios artimiausiai randamos tik pajūryje (Šventoji). Pajūryje biologiškai prieinamam stronciui didžiulę įtaką dėl taip vadinamo „jūros purslų“ efekto daro jūros vanduo, kurio 87Sr/86Sr yra 0,7093 (Snoeck 2014; Alonzi ir kt. 2020; Andersson ir kt. 1992). Turint omenyje Daktariškėje rastus gintaro radinius ir labai tikėtinus tamprius Biržulio ežero žmonių ryšius su pajūriu, Donkalnio 3 individo kilmė iš pajūrio atrodo labai tikėtinai. Donkalnio 3 moteris gimė kažkur pajūryje, ten gyveno sėsliai, ką rodo itin maža vidinė 87Sr/86Sr variacija, o prie Biržulio atvyko kažkada tarp 12 ir 20/25 metų. Lagūninę-jūrinę dietą rodantys C ir N izotopų signalai kaule neišliko, nes kaului persiformuojant juos pakeitė mišri gėlavandenė-sausuminė dieta Biržulio regione (1 pav.).

Donkalnio kape 5 mezolite palaidoti kūdikis ir 5-9 m. vaikas, kurio nuolatinis krūminis dantis M1 ištirtas. M1 emalis formuojasi 0-3 metais (Massler ir kt. 1941; Reid, Dean 2006), tad šį arba kiek trumpesnį laikotarpį atspindi vidinės 87Sr/86Sr variacijos kreivė (3 pav.). Ši kreivė labai panaši į kapo 3 moters. Pirmi 2 matavimai duoda 87Sr/86Sr vertes Biržulio ežero apylinkių fono ribose, tačiau vėlesnį danties emalio laikotarpį atspindinčios 87Sr/86Sr vertės jau yra už Biržulio fono ribų. Galimos dvi šio individo kilmės interpretacijos. Kadangi Biržulio 87Sr/86Sr fonas persidengia su Lietuvos pajūrio (Šventosios) fonu intervale 0,7125-0,7163 (Piličiauskas ir kt. rengiama), vaikas galėjo gimti pajūryje ir persikelti prie Biržulio tarp 4 ir 5/9 metų amžiaus. Kita vertus, jis galėjo gimti prie Biržulio, netrukus persikelti į pajūrį, o tuomet tarp 3 ir 5/9 metų amžiaus vėl grįžti į Biržulį, kur netrukus ir numirė. Abejais atvejais prie jūros jis turėjo gyventi gana sėsliai, kaip ir subneolito moteris iš kapo 3.

Donkalnio kape 6 subneolite palaidota >30 m. moteris. Tirtas nuolatinis krūminis dantis M2, tad 87Sr/86Sr vidinės variacijos kreivė atspindi 3-6 gyvenimo metus (Massler ir kt. 1941; Reid, Dean 2006). Ji greičiausiai vietinės kilmės, ankstyvąją vaikystę irgi leido prie Biržulio, tačiau sezoninį mobilumą rodo vidutinė (SD = 0,001) ir cikliška (2 pakilimai ir 2 nusileidimai) vidinė 87Sr/86Sr variacija Biržulio ežero apylinkių biosferos 87Sr/86Sr fono ribose (3 pav.).

Donkalnio kape 7 subneolite palaidotas apie 50 m. vyras. Tirtas kaplys P2, tad 87Sr/86Sr vidinės variacijos kreivė atspindi 2-6 gyvenimo metus (Massler ir kt. 1941; Reid, Dean 2006). Ji labai panaši į mezolitinio kapo 2 moters kreivę (3 pav.). 87Sr/86Sr santykis nuo aiškiai nevietinės reikšmės 0,72 emalio formavimosi periodo viduryje staiga leidžiasi iki 0,715, t.y. į Biržulio apylinkių 87Sr/86Sr fono diapazoną (0,7125 – 0,7167). Taigi, galime manyti, kad asmuo gimė galbūt pietų Karelijoje arba Suomijoje, o atvyko prie Biržulio maždaug 4 m amžiaus, nors ir čia negyveno sėsliai. Šio individo maisto racione vyravo sausumos produktai, ne žuvys (1 pav.). Be to, šio individo genomas rodo 30 % paveldimumo iš rytų medžiotojų-rinkėjų, ir tai yra didžiausia proporcija tarp visų genetiškai tirtų Donkalnio ir Spigino individų. Spigino 4 ir Donkalnio 1, 6 kapų žmonės, kuriuos stroncio izotopų tyrimas parodė kaip gimusius prie Biržulio, genetiškai pasirodė esantys žymiai artimesni vakarų medžiotojams-rinkėjams, o su rytų medžiotojais-rinkėjais yra siejama vos 0-10 % jų genomo (Mittnik ir kt. 2018, fig. 3). Tad genetiniai duomenys dar labiau sustiprina išvadą, kad Donkalnio 7 kapo vyras yra nevietinis, kilęs iš mišrios šeimos ir atvykęs iš toli.

Donkalnio suardytame kape I subneolite palaidotas >30 m. amžiaus vyras. Tirtas nuolatinis krūminis dantis M2, tad 87Sr/86Sr vidinės variacijos kreivė atspindi 3-6 gyvenimo metus (Massler ir kt. 1941; Reid, Dean 2006). Tai vietinis individas su vidutine ir cikliška vidine 87Sr/86Sr variacija (3 pav.), rodančia sezoninį mobilumą. Lygiai tą pačią interpretaciją galima pasiūlyti suardytų kapų III, IV, V mezolito ir subneolito individams. Nors kapo V individo vidinė 87Sr/86Sr variacija vertintina kaip maža (SD = 0,0004), tačiau ji didesnė už atskirų matavimų paklaidas (3 pav.), tad tikėtina, kad ir šis individas keitė gyvenvietes sezoniškai.

Donkalnio suardytame kape VI subneolite palaidotas 6-8 m. vaikas, kurio ištirtas nuolatinis krūminis dantis M1. M1 emalis formuojasi 0-3 metais (Massler ir kt. 1941; Reid, Dean 2006), tad šį arba kiek trumpesnį laikotarpį atspindi vidinės 87Sr/86Sr variacijos kreivė (3 pav.). Daugumos jo danties matavimo linijų rezultatai buvo virš 0,72, t.y. aukštesni už visų tirtų Lietuvos regionų (Piličiauskas ir kt. rengiama; Piličiauskienė ir kt. rengiama). Kaip ir kapų 2 ir 7 atvejais, labiausiai tikėtinu kilmės regionu atrodo pietų Suomija ir Karelija su į paviršių išeinančiomis senomis prekambro uolienomis (5 pav.). Biržulio ežero apylinkes šis vaikas pasiekė kažkada tarp 4 ir 6-8 gyvenimo metų.

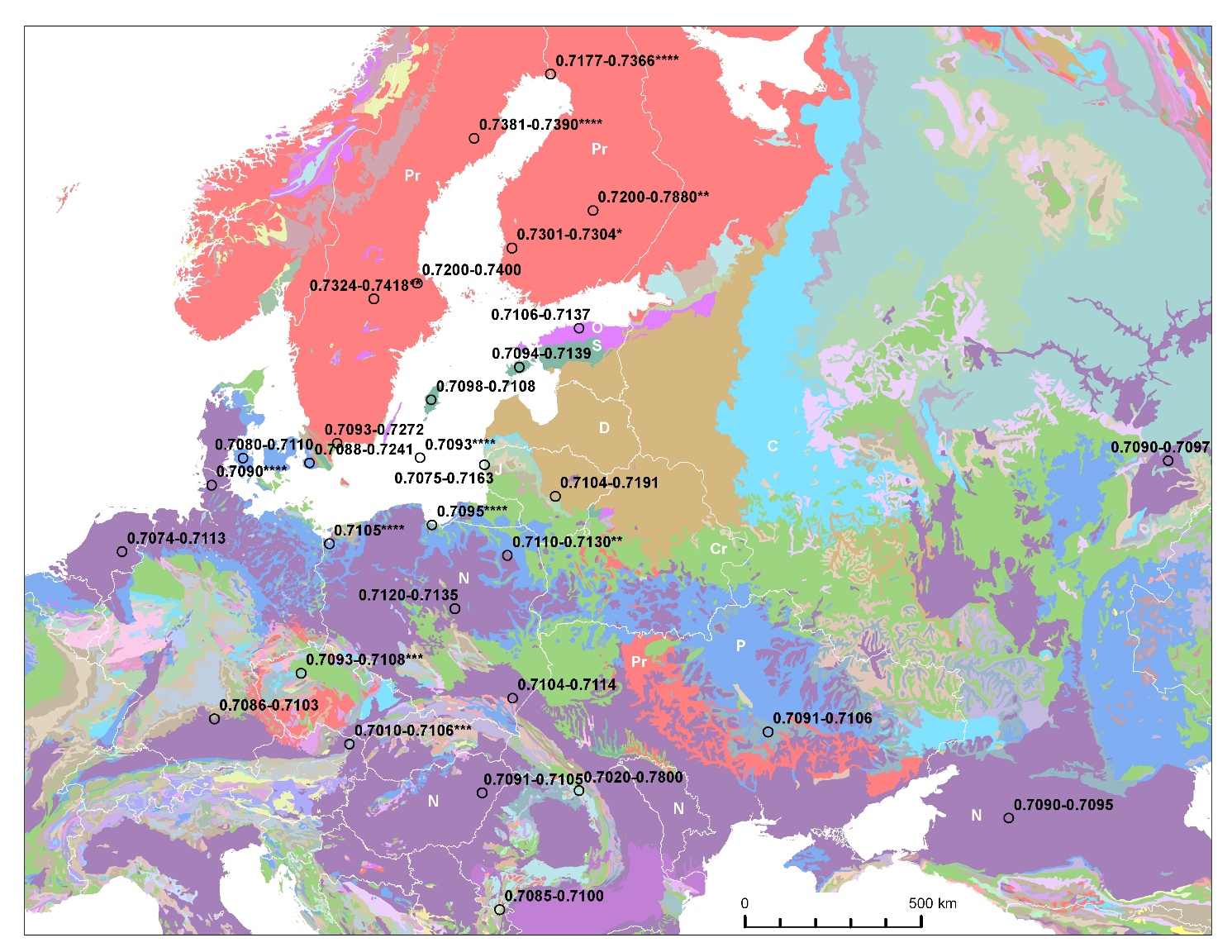
**DISKUSIJA IR IŠVADOS**

Vienas iš pirmųjų bandymų Lietuvos archeologijoje panaudoti stroncio izotopų analizę pasirodė rezultatyvus, nepalieka vietos skepticizmui ir skatina naujus tyrimus. Dėl tolimų migracijų priešistorėje, taip pat ir dėl reikšmingos biologiškai prieinamo stroncio 87Sr/86Sr santykio variacijos erdvėje, metodas pasirodė esantis tinkamas identifikuoti pirmosios kartos migrantus net ir ištisai ledynmečio nuogulomis padengtoje teritorijoje, kokia yra Lietuva. Donkalnio kapinyne mažiausiai 4 arba 5 žmonės iš 11 tirtų pasirodė esantys nevietiniai: 3 - galimai gimę Karelijoje-Suomijoje, 1 arba 2 - Baltijos pajūryje.

LA-MC-ICP-MS metodas, naudodamas daugybinius vieno danties 87Sr/86Sr matavimus, nepaisant mažesnio jų tikslumo, pasirodė esantis pranašesnis už TIMS, kuris matuoja 87Sr/86Sr santykį tik viename bendrajame danties emalio mėginyje. LA-MC-ICP-MS leidžia identifikuoti ir tuos nevietinius individus, kurie persikėlė į savo mirties ar palaidojimo vietą praėjus vos keliems mėnesiams po jų gimimo (Donkalnio kapo 7 atvejis). Taikant TIMS, jie būtų priskirti prie vietinių žmonių. Be to, LA-MC-ICP-MS parodo 87Sr/86Sr variaciją viename dantyje, kuri leidžia įvertinti atskirų individų mobilumo laipsnį ir pobūdį, kuris tarp medžiotojų-rinkėjų pasirodė esantis itin nevienodas. Didelė arba vidutinė Biržulio ežero žmonių 87Sr/86Sr vidinė variacija rodo, kad mezolite ir subneolite net ir prie tokių didelių ir žuvingų vandens telkinių kaip Biržulio ežeras nebuvo pastovių, visus metus naudotų gyvenviečių. Žmonės buvo itin mobilūs, o sezoniškai kraustėsi ir žvejai. 87Sr/86Sr analizė didesnį sėslumą rodo tik tarp pajūrio individų. Tiriant LA-MC-ICP-MS metodu daugiau skirtingų laikotarpių individų, mobilumo laipsnį ir pobūdį bei jų pokyčius būtų galima įvertinti ne tik atskiriems individams, bet ir skirtingoms epochoms, pavyzdžiui, atsirandant keramikai arba paplintant žemdirbystei, kas ir turėtų būti atlikta būsimose studijose.

Donkalnio kapo 7 atvejis pademonstravo, kaip reikšmingai genetika gali sustiprinti 87Sr/86Sr santykio interpretacijas. Stroncio izotopų analizė rodo, kad kape palaidotas maždaug 50 m. amžiaus vyras (cal BC 3521-3371) yra nevietinis, atvykęs greičiausiai iš pietų Suomijos arba Karelijos. Genetiniai duomenys šio individo genome rodo gerokai daugiau paveldimumo iš rytų medžiotojų-rinkėjų, lyginant su kitais Donkalnio ir Spigino žmonėmis (Mittnik ir kt. 2018). Rytų medžiotojų-rinkėjų genomo šaltiniu yra laikoma rytų Baltijoje buvusi šukinės-duobelinės keramikos kultūra, kurios ekspansija datuojama 3900-3500 cal BC (Nordqvist 2018). Archeologinė medžiaga liudija buvus aktyvius ryšius tarp ŠV Rusijos ir PR Baltijos IV tūkst. cal BC. Dideliais atstumais vyko prekyba gintaro, skalūno ir titnago žaliava ir dirbiniais. Lietuvoje randami pavieniai „gryni“ šukinės-duobelinės keramikos kompleksai, jos formos ir puošybos elementai buvo kopijuojami ir perkeliami į vietinę porėtąją keramiką (Piličiauskas ir kt. 2019). Taigi, stroncio izotopų ir ankstesni genetiniai tyrimai patvirtina, kad tarp Karelijos ir PR Baltijos daiktai ar idėjos nekeliavo be žmonių. Migravo žmonės, jie kūrė mišrias šeimas, o vėliau palaikė ryšius su gimtine.

Visgi stroncio izotopų metodas turi ir klystkelių. Juo paremtos įžvalgos apie žmonių kilmę labai stipriai priklauso nuo to, kaip gerai yra pažįstama biologiškai prieinamo stroncio 87Sr/86Sr variacija tiriamame regione. Jeigu ateityje paaiškėtų, kad Latvijoje ir Baltarusijoje, o galbūt net ir Lietuvoje, visgi yra didesnių „salų“ su 87Sr/86Sr santykio vertėmis virš 0,72, tuomet imtų klibėti šiame straipsnyje pasiūlyta Donkalnio 2 ir 7 kapuose palaidotų žmonių interpretacija, kildinanti minėtus individus iš pietų Suomijos arba Karelijos. Šiandien visiškai nėra 87Sr/86Sr duomenų iš Kaliningrado srities, Latvijos, Baltarusijos, šiaurės vakarų Rusijos (5 pav.). Nors labai apytikriai jas galima nuspėti iš geologijos, tačiau tai nėra tikslu ir gerokai apsunkina nevietinių Lietuvos akmens amžiaus individų kilmės paiešką. Netrukus dviejų Lietuvoje vykdytų mokslinių projektų, kurie rėmėsi stroncio izotopų analize, rezultatai bus publikuoti tarptautiniuose leidiniuose anglų kalba. Tai galėtų atverti akis kaimyninių kraštų archeologams, koks didžiulis potencialas slypi šiame metode, ypatingai taikant daugybinius 87Sr/86Sr santykio matavimus viename dantyje (LA-MC-ICP-MS). Archeologiniai ir genetiniai tyrimai, taip pat pirmieji stroncio izotopų tyrimai Lietuvoje rodo, kad priešistorėje žmonės judėjo daug ir toli, tad norint tiksliau ir patikimiau nustatyti nevietinių individų kilmę dabar yra reikalingi stroncio izotopų tyrimai Lietuvai kaimyninėse šalyse.

****

5 pav. 87Sr/86Sr santykio vertės rytų ir vidurio Europos geologiniame žemėlapyje

Geologinis pagrindas paimtas iš IGME5000 (2005). N – Neogenas, P – Paleogenas, Cr – Kreida, J – Jura, T – Triasas, C – Karbonas, D – Devonas, S – Silūras, O – Ordovikas, Pr – Prekambras. 87Sr/86Sr vertės be žvaiždučių yra gautos iš archeologinių gyvūnų, \* - iš žmonių emalio, \*\* - iš gruntinio vandens, \*\*\* - iš žmonių dentino, \*\*\*\* - iš paviršinio vandens (Åberg, Wickman 1987; Ahlström, Price 2021; Andersson ir kt. 1992; Bäckström, Price 2016; Bentley, Knipper 2005; Bergerbrant ir kt. 2017; Bläuer ir kt. 2013; Boric, Price 2013; Frei ir kt. 2019; Frei, Frei 2011; Gerling 2015; Kootker ir kt. 2016; Löfvendahl ir kt. 1990; Oras ir kt. 2016; Piličiauskas ir kt. rengiama; Piličiauskienė ir kt. rengiama; Pospieszny ir kt. 2015; Price ir kt. 2004; 2018; Szczepanek ir kt. 2018; Voerkelius ir kt. 2010). *G. Piličiausko brėž.*

**Padėka**

Šis straipsnis parengtas finansuojant Lietuvos mokslo tarybai (S-MIP-20-49).

**LITERATŪROS SĄRAŠAS**

Aleksa, P.,2007. Kvartero nuogulų storis Lietuvoje. *Geologijos akiračiai*, 1, 64-68.

Allentoft, M. E., Sikora, M., Sjögren, K. G., Rasmussen, S., Rasmussen, M., Stenderup, J., Damgaard, P. B., Schroeder, H., Ahlstrom, T., Vinner, L., ir kt., 2015. Population genomics of Bronze Age Eurasia. *Nature*, 522, 167-172.

Alonzi, E., Pacheco-Forés, S., Gordon, G.W., Kujit, I., Knudson, K. J., 2020. New understandings of the Sea Spray Effect and its impact on bioavailable radiogenic strontium isotope ratios in coastal environments. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 33, 102452.

Andersson, P. S., Wasserburg, G. J., Ingri, J., 1992. The sources and transport of Sr and Nd isotopes in the Baltic Sea. *Earth and Planetary Science Letters*, 113, 459-472.

Antanaitis-Jacobs, I., Richards, M., Daugnora, L., Jankauskas, R., Ogrinc, N., 2009. Diet in early Lithuanian prehistory and the new stable isotope evidence. *Archaeologia Baltica*, 12, 12-30.

Bäckström, Y., Price, D., 2016. Social identity and mobility at a preindustrial mining complex, Sweden. *Journal of Archaeological Science*, 66, 154-168.

Balasse, M., 2002. Reconstructing dietary and environmental history from enamel isotopic analysis: Time resolution of intra‐tooth sequential sampling. *International Journal of Osteoarchaeology*, 12, 155‐165.

Balasse, M., 2003. Potential biases in sampling design and interpretation of intra‐tooth isotope analysis. *International Journal of Osteoarchaeology*, 13, 3‐10.

Bentley, R. A., 2006. Strontium isotopes from the earth to the archaeological skeleton: a review. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 13(3), 135-187.

Bentley, R. A., Knipper, C., 2005. Geographic patterns in biologically-available strontium, carbon and oxygen isotopes signatures in prehistoric SW Germany. *Archaeometry*, 47, 629-644.

Bergerbrant, S., Kristiansen, K., Allentoft, M.E., Frei, K.M., Price, T.D., Sjögren, K.G., Tornberg, A., 2017. Identifying commoners in the Early Bronze Age: burials outside barrows. In: Bergerbrant, S., Wessman A., sud. *New Perspectives on the Bronze Age*. Oxford: Archaeopress Publishing, 37-64.

Blank, M., Sjögren, K. G, Knipper, C., Frei, K. M., Malmström, H., Fraser, M., Svensson, E. M., Günther, T., Yngve, H., Jakobsson, M., Götherström, A., Storå, J., 2021. Mobility patterns in inland southwestern Sweden during the Neolithic and Early Bronze Age. *Archaeological and Anthropological Sciences*,13(4), 1-32.

Bläuer, A., Korkeakoski-Väisänen, K., Arppe, L., Kantanen, J., 2013. Bronze Age cattle teeth and cremations from a monumental burial cairn in Selkäkangas, Finland: new radiocarbon dates and isotopic analysis. *Estonian Journal of Archaeology*, 17, 3-23.

Boethius, A., Kjällquist, M., Kielman-Schmitt, M., Ahlström, T., Larsson, L., 2021. Early Holocene Scandinavian foragers on a journey to affluence: Mesolithic fish exploitation, seasonal abundance and storage investigated through strontium isotope ratios by laser ablation (LA-MC-ICP-MS). *PLoS ONE*, 16(1), e0245222.

Böhlke, J. K., Horan, M., 2000. Strontium isotope geochemistry of groundwaters and streams affected by agriculture, Locust Grove, MD. *Applied Geochemistry*, 15, 599-609.

Boric, D., Price, T. D., 2013. Strontium isotopes document greater human mobility at the start of the Balkan Neolithic. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110, 3298-3303.

Boulton, G. S., Dongelmans, P., Punkari, M., Broadgate, M., 2001. Palaeoglaciology of an ice sheet through a glacial cycle: the European ice sheet through the Weichselian. *Quaternary Science* *Reviews*, 20, 591-625.

Bramanti, B., Thomas, M. G., Haak, W., Unterländer, M., Jores, P., Tambets, K., ir kt., 2009. Genetic discontinuity between local hunter‐gatherers and central Europe's first farmers. *Science*, 326(5949), 137-140.

Bronk Ramsey, C., 2009. Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*, 51(1), 337-360.

Butrimas, A., 1992. Spigino mezolito kapai. *Lietuvos archeologija*, 8, 4-9.

Butrimas, A., 2019. *Biržulis. Medžiotojai, žvejai ir senieji žemdirbiai X-II tūkstantmetyje pr. Kr. I. Paminklų tyrinėjimai*. Vilnius: Vilniaus dailės akademijos leidykla.

Butrimas, A., Kunskas, R., Česnys, G., Balčiūnienė, I., Jankauskas, R., 1985. Duonkalnis: vėlyvojo neolito gyvenvietė, alkas ir kapinynas. *Lietuvos archeologija*, 4, 25-66.

Butrimas, A., Ostrauskienė, D., 2004. Biržulio apyežerio neolito gyvenviečių virvelinė keramika. *Acta Academiae Artium Vilnensis*, 34, 121-144.

Cramer, B. D., Munnecke, A., Schofield, D. I., Haase, K. M., Haase-Schramm, A., 2011. A revised 87Sr/86Sr curve for the Silurian: Implications for global ocean chemistry and the Silurian timescale. *The Journal of Geology*, 119(4), 335-349.

Diener, A., Ebneth, S., Veizer, J., Buhl, D., 1996. Strontium isotope stratigraphy of the Middle Devonian: brachiopods and conodonts. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 60(4), 639-652.

Edwards, C. T., Saltzman, M. R., Leslie, S. A., Bergström, S. M., Sedlacek, A. R., Howard, A., Bauer, J. A., Sweet, W. C., Young, S. A., 2015. Strontium isotope (87Sr/86Sr) stratigraphy of Ordovician bulk carbonate: Implications for preservation of primary seawater values. *Bulletin*, 127(9-10), 1275-1289.

Ericson, J. E., 1985. Strontium isotope characterization in the study of prehistoric human ecology. *Journal of Human Evolution*, 14(5), 503-514.

Fraser, M., Sjödin, P., Sanchez-Quinto, F., Evans, J., Svedjemo, G., Knutsson, K., Götherström, A., Jakobsson, M., Wallin, P., Storå, J., 2018. The stone cist conundrum: A multidisciplinary approach to investigate Late Neolithic/Early Bronze Age population demography on the island of Gotland. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 20, 324-337.

Frei, K. M., Frei, R., 2011. The geographic distribution of strontium isotopes in Danish surface waters–A base for provenance studies in archaeology, hydrology and agriculture. *Applied geochemistry*, 26(3), 326-340.

Frei, K. M., Bergerbrant, S., Sjögren, K. G., Jørkov, M. L., Lynnerup, N., Harvig, L., ir kt., 2019. Mapping human mobility during the third and second millennia BC in present-day Denmark. *PLoS ONE*, 14, e0219850.

Gerling, C., 2015. *Prehistoric mobility and diet in the West Eurasian steppes 3500 to 300 BC: An isotopic approach*. Berlin: Walter de Gruyter GmbH.

Glykou, A., Eriksson, G., Storå, J., Schmitt, M., Kooijman, E., Lidén, K., 2018. Intra‐and inter‐tooth variation in strontium isotope ratios from prehistoric seals by laser ablation multi‐collector inductively coupled plasma mass spectrometry. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 32(15), 1215-1224.

Graustein, W. C., Armstrong, R., 1983. The use of 87Sr/86Sr ratios to measure atmospheric transport into forested watersheds. *Science*, 219, 289-292.

Gregoricka, L. A., 2013. Residential mobility and social identity in the periphery: strontium isotope analysis of archaeological tooth enamel from southeastern Arabia. *Journal of Archaeological Science*, 40(1), 452-464.

Haak, W., Balanovsky, O., Sanchez, J. J., Koshel, S., Zaporozhchenko, V., Adler, C. J., Der Sarkissian, C. S., Brandt, G., Schwarz, C., Nicklisch, N., Dresely, V., Fritsch, B., Balanovska, E., Villems, R., Meller, H., Alt, K. W., Cooper, A., 2010. Ancient DNA from European Early Neolithic Farmers Reveals Their Near Eastern Affinities. *PLoS Biology*, 8(11), e1000536.

Hoogewerff, J. A., Reimann, C., Ueckermann, H., Frei, R., Frei, K. M., Van Aswegen, T., Stirling, C., Reid, M., Clayton, A., Ladenberger, A., Albanese, S., 2019. Bioavailable 87Sr/86Sr in European soils: A baseline for provenancing studies. *Science of the total environment*, 672, 1033-1044.

Holt, E., Evans, J. A., Madgwick, R., 2021. Strontium (87Sr/86Sr) mapping: a critical review of methods and approaches. *Earth-Science Reviews*, 216, 103593.

IGME5000, 2005. *International Geological Map of Europe 1:5 Million and Adjacent Areas (IGME5000).* Prieiga per: <http://www.europe-geology.eu/onshore-geology/geological-map/igme5000/> [Žiūrėta 2021 m., birželio 14 d.].

Knudson, K. J., Pestle, W. J., Torres‐Rouff, C., Pimentel, G., 2012. Assessing the life history of an Andean traveller through biogeochemistry: stable and radiogenic isotope analyses of archaeological human remains from Northern Chile. *International Journal of Osteoarchaeology*, 22(4), 435-451.

Kootker, L., van Lanen, R., Groenewoudt, B., Altena, E., Panhuysen, R., Jansma, E., Kars, H., Davies, G., 2019. Beyond isolation: Understanding past human-population variability in the Dutch town of Oldenzaal through the origin of its inhabitants and its infrastructural connections. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 11, 755-775.

Lahtinen, M., Arppe, L., Nowell, G., 2021. Source of strontium in archaeological mobility studies—marine diet contribution to the isotopic composition. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 13(1), 1-10.

Lietuvos geologijos tarnyba, 2021. *Geomorfologinis žemėlapis M 1:200 000*. Prieiga per: <https://www.lgt.lt/zemelap/main.php?sesName=lgt1623915933> [Žiūrėta 2021 m., birželio 14 d.].

Löfvendahl, R., Åberg, G., Hamilton, P. J., 1990. Strontium in rivers of the Baltic Basin. *Aquatic Sciences*, 52(4), 315-329.

Massler, M., Schour, I., Poncher, H. G., 1941. Developmental pattern of the child as reflected in the calcification pattern of the teeth. *American Journal of Diseases of Children*, 62(1), 33-67.

Mathieson, I., Alpaslan-Roodenberg, S., Posth, C., Szécsényi-Nagy, A., Rohland, N., Mallick, S., ir kt., 2018. The genomic history of southeastern Europe. *Nature*, 555, 197-203.

Merkevičius, A., 2012. Turlojiškė archaeological complex. In: Zabiela, G., Baubonis, Z., Marcinkevičiūtė, E., sud. *Archaeological investigations in independent Lithuania (1990-2010)*. Vilnius: Society of the Lithuanian Archaeology, 12-16.

McArthur, J. M., Howarth, R. J., Bailey, T. R., 2001. Strontium isotope stratigraphy: LOWESS version 3: best fit to the marine Sr-isotope curve for 0–509 Ma and accompanying look-up table for deriving numerical age. *The Journal of Geology*, 109(2), 155-170.

Minkevičius, K., Podėnas, V., Urbonaitė-Ubė, M., Ubis, E., Kisielienė, D., 2019. New evidence on the southeast Baltic Late Bronze Age agrarian intensification and the earliest AMS dates of *Lens culinaris* and *Vicia faba*. *Vegetation History and Archaeobotany*, 29, 327-338.

Montgomery, J., 2010. Passports from the past: Investigating human dispersals using strontium isotope analysis of tooth enamel. *Annals of human biology*, 37(3), 325-346.

Nordqvist, K., 2018. *The Stone Age of north-eastern Europe 5500–1800 cal BC. Bridging the gap between the East and the West.* Acta Universitatis Ouluensis, B Humaniora 160. Oulu: University of Oulu.

Olalde, I., Brace, S., Allentoft, M. E., Armit, I., Kristiansen, K., Booth, T., Rohland, N., ir kt., 2018. The Beaker phenomenon and the genomic transformation of northwest Europe. *Nature*, 555, 190-196.

Piličiauskas, G., 2018. *Virvelinės keramikos kultūra Lietuvoje 2800-2400 cal BC*. Vilnius: Lietuvos istorijos institutas.

Piličiauskas, G., Heron, C., 2015. Aquatic radiocarbon reservoir offsets in the southeastern Baltic. *Radiocarbon*, 57(4), 539-556.

Piličiauskas, G., Jankauskas, R., Piličiauskienė, G., Dupras, T., 2017a. Reconstructing Subneolithic and Neolithic diets of the inhabitants of the SE Baltic coast (3100–2500 cal BC) using stable isotope analysis. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 9(7), 1421-1437.

Piličiauskas, G., Jankauskas, R., Piličiauskienė, G., Craig, O.E., Charlton, S., Dupras, T., 2017b. The transition from foraging to farming (7000-500 cal BC) in the SE Baltic: A re-evaluation of chronological and palaeodietary evidence from human remains. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 14, 530-542.

Piličiauskas, G., Kisielienė, D., Piličiauskienė, G., Gaižauskas, L., Kalinauskas, A., 2019. Comb Ware culture in Lithuania: new evidence from Šventoji 43. *Lietuvos archeologija*, 45, 43-96.

Piličiauskas, G., Kluczynska, G., Kisielienė, D., Skipitytė, R., Peseckas, K., Matuzevičiūtė, S., Lukešová, H., Lucquin, A., Craig, O. E., Robson, H. K., 2020. Fishers of the Corded Ware Culture in the Eastern Baltic. *Acta Archaeologica*, 91(1), 95-120.

Piličiauskas, G., Vengalis, R., Minkevičius, K., Kisielienė, D., Ežerinskis, Ž., Šapolaitė, J., Skipitytė, R., Robson, H. K., 2021. The earliest evidence for crop cultivation during the Early Bronze Age in the southeastern Baltic. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 36, 102881.

Pospieszny, Ł., Sobkowiak-Tabaka, I., Price, T. D., Frei, K. M., Hildebrandt-Radke, I., Kowalewska-Marszałek, H., Krenz-Niedbała, M., Osypińska, M., Stróżyk, M., Winiarska-Kabacińska, M., 2015. Remains of a late Neolithic barrow at Kruszyn. A glimpse of ritual and everyday life in early Corded Ware societies of the Polish Lowland. *Praehistorische Zeitschrift*, 90(1-2), 185-213.

Price, T. D., Grupe, G., Schröter, P., 1994. Reconstruction of migration patterns in the Bell Beaker period by stable strontium isotope analysis. *Applied Geochemistry*, 9(4), 413-417.

Price, T. D., Knipper, C., Grupe, G., Smrcka, V., 2004. Strontium isotopes and prehistoric human migration: the Bell Beaker period in central Europe. *European Journal of Archaeology*, 7(1), 9-40.

Price, T. D., Arcini, C., Gustin, I., Drenzel, L., Kalmring, S., 2018. Isotopes and human burials at Viking Age Birka and the Mälaren region, east central Sweden. *Journal of Anthropological Archaeology*, 49, 19-38.

Reid, D. J., Dean, M. C., 2006. Variation in modern human enamel formation times. *Journal of Human Evolution*, 50, 329-346.

Reimer, P. J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Blackwell, P. G., Bronk Ramsey, C., Buck, C. E., Cheng, H., Edwards, R. L., Friedrich, M., Grootes, P. M., 2013. IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0-50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 55(4), 1869-1887.

Rimantienė, R., 1989. *Nida. Senųjų baltų gyvenvietė*. Vilnius: Mokslas.

Rimantienė, R., 2002. Rutulinių amforų kultūra Vakarų Lietuvoje. *Lietuvos archeologija*, 23, 41-50.

Robson, H. K., Skipitytė, R., Piličiauskienė, G., Lucquin, A., Heron, C., Craig, O. E., Piličiauskas, G., 2019. Diet, cuisine and consumption practices of the first farmers in the southeastern Baltic. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 11(8), 4011-4024.

Saag, L., Vasilyev, S. V., Varul, L., Kosorukova, N. V., Gerasimov, D. V., Oshibkina, S. V., Griffith, S. J., Solnik, A., Saag, L., D’Atanasio, E., Metspalu, E., 2021. Genetic ancestry changes in Stone to Bronze Age transition in the East European plain. *Science Advances*, 7(4), p.eabd6535.

Sanusi, A., Wortham, H., Millet, M., Mirabel, P., 1995. Chemical composition of rainwater in eastern France. *Atmospheric Environment*, 30, 59-71.

Shaw, B., Buckley, H., Summerhayes, G., Anson, D., Garling, S., Valentin, F., Mandui, H., Stirling, C., Reid, M., 2010. Migration and mobility at the Late Lapita site of Reber-Rakival (SAC), Watom Island using isotope and trace element analysis: a new insight into Lapita interaction in the Bismarck Archipelago. *Journal of Archaeological Science*, 37(3), 605-613.

Snoeck, C., 2014. Impact of strontium sea spray effect on the isotopic ratio (87Sr/86Sr) of plants in coastal Ireland. *Quaternary Newsletter*, 134, 37-39.

Szczepanek, A., Belka, Z., Jarosz, P., Pospieszny, Ł., Dopieralska, J., Frei, K. M., Rauba-Bukowska, A., Werens, K., Górski, J., Hozer, M., Mazurek, M., 2018. Understanding Final Neolithic communities in south-eastern Poland: New insights on diet and mobility from isotopic data. *PloS ONE*, 13(12), e0207748.

Szostek, K., Mądrzyk, K., Cienkosz-Stepańczak, B., 2015. Strontium isotopes as an indicator of human migration-easy questions, difficult answers. *Anthropological Review*, 78(2), 133-156.

Veizer, J., Buhl, D., Diener, A., Ebneth, S., Podlaha, O. G., Bruckschen, P., Jasper, T., Korte, C., Schaaf, M., Ala, D., Azmy, K., 1997. Strontium isotope stratigraphy: potential resolution and event correlation. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 132, 65-77.

Voerkelius, S., Lorenz, G. D., Rummel, S., Quétel, C. R., Heiss, G., Baxter, M., Brach-Papa, C., Deters-Itzelsberger, P., Hoelzl, S., Hoogewerff, J., Ponzevera, E., 2010. Strontium isotopic signatures of natural mineral waters, the reference to a simple geological map and its potential for authentication of food. *Food Chemistry*, 118(4), 933-940.

**THE originS and mobility PATTERNS of PREHISTORIC humans from the donkalnis and spiginas BURIAL GROUNDS according to strontium isotope RATIO analysis**

Gytis Piličiauskas, Edvardas Simčenka, Justina Kozakaitė, Žydrūnė Miliauskienė, Giedrė Piličiauskienė, Harry Kenneth Robson

**Summary**

Strontium (87Sr/86Sr) isotope ratio analysis during the course of the last three decades has proved itself as a useful tool for assessing human and animal mobility in the past. The essence of the method lies in the ability of living organisms to incorporate trace element strontium into their tissues, including highly durable tooth enamel. Biologically available strontium originates mainly from eroded rocks, and the 87Sr/86Sr ratio does not change during transfer from bedrock to plants to humans. By analysing the isotopic ratios in human tooth enamel, and through comparison with data obtained from fauna, flora, water and soils, it is possible to identify mobility patterns and potential migration events. Moreover, high-resolution micro-sampling of a single tooth allows us to measure intra-tooth 87Sr/86Sr ratio variation which reflects a chronological sequence, and which can provide further insights in how humans or animals moved during tooth enamel formation.

Recent aDNA studies have demonstrated that large-scale and long-distance human migrations were common throughout many parts of Europe, including Lithuania, during the Neolithic and the Bronze Age. A similarly useful method to identify past mobility patterns and migration events is strontium isotope ratio analysis. Therefore, between 2020 and 2021 a research project was launched, *Exploring human mobility during the Stone and Bronze ages using the analysis of stable isotopes*, to explore prehistoric mobility in Lithuania. This paper presents the preliminary results of the project, and discusses the mobility patterns of Mesolithic and Neolithic individuals from the Donkalnis and Spiginas burial grounds in western Lithuania.

87Sr/86Sr ratios in human and animal tooth enamel were measured at the Swedish Museum of Natural History in Stockholm by laser ablation-multi-collector-inductively coupled plasma-mass spectrometry (LA-MC-ICP-MS) and thermal ionization mass spectrometry (TIMS). Here, we present the measurements obtained from 13 human and nine animal teeth. M1 and M2 human teeth were preferentially selected, whilst M3 and P2 were infrequently sampled. Since the enamel of the majority of these teeth mineralises completely during first 6 years of life, the results obtained from analysis by LA-MC-ICP-MS may help to identify the potential movement of individuals during early childhood.

During prehistory, the Donkalnis and Spiginas burial grounds were situated on islands in Lake Biržulis. At Spiginas four graves have been excavated, whilst 14 individuals are known from Donkalnis. The diet of all individuals has been previously investigated through the application of carbon and nitrogen stable isotope analysis (Fig. 1). The landscape of the Lake Biržulis region was formed during the last glaciation and Early Holocene (Fig. 2). The 87Sr/86Sr ratios in the glacial deposits vary, and mostly depend on the proportion between Precambrian rocks with high radiogenic Sr transported by ice sheets from Middle Sweden, and local marine carbonates with low radiogenic Sr eroded by glaciers from pre-Quaternary deposits. Based on these data alone, the strontium baseline is unpredictable, and had to be ascertained by environmental samples. To do so, we analysed tooth enamel from nine archaeological animals from two sites situated up to a maximum distance of 7.8 km away from the burial grounds (Fig. 2; Table 1), and estimated the baseline for the Lake Biržulis region in the order of 0.7146 ± 0.0021 (2 SD).

For 13 human teeth we measured the 87Sr/86Sr ratios of 193 lines with an average of 15 lines per tooth (Table 2). We noted intra-tooth variation between 0.0004 and 0.0023 (Fig. 4). We suggest that this intra-tooth variation indicates a degree of mobility while cyclic variation reflects seasonal mobility. The evidenced moderate and high intra-tooth variation (0.0008-0.0023) shows that the Mesolithic and Subneolithic individuals probably did not live out their lives in sedentary settlements along the shoreline of the large, shallow and likely highly productive Lake Biržulis. Indeed, all inland hunters-gatherers were mobile, including those who engaged in fishing. The lowest intra-tooth variation (0.0004) was measured from an individual from the Donkalnis burial ground (Grave No. 3). It is likely that this individual probably spent their late childhood on the Baltic Sea coastline. It is expected that future research of individuals from the Baltic Sea coastline may exhibit ‘more sedentary’ 87Sr/86S ratios given the highly productive and rich marine and lagoonal foodstuffs readily available.

Based on the aforementioned measurements we compiled curves of intra-tooth 87Sr/86S ratio variation for every human individual (Fig. 3). According to the curves and their relationship with the local baseline we divided the humans into three groups: locals, non-locals and semi-locals (Table 3). We classified the locals based on little variation of their 87Sr/86Sr ratios that were within the range of the local baseline (0.7125–0.7167). Non-locals had all or their first 87Sr/86S ratios outside the local baseline, whilst semi-locals had their first 87Sr/86S ratios within the local range but at some point their intra-tooth variation curves exceeded the lower or upper boundaries of the local baseline.

At Spiginas, both the Mesolithic (Grave No. 4) and Neolithic (Grave No. 2) individuals demonstrated local 87Sr/86Sr ratios. However, remarkable intra-individual variations (SD = 0.0008; Fig. 3; Table 3) indicate a rather mobile life during early childhood for both individuals. Despite this, it is likely that they lived out their lives within the Lake Biržulis region or adjacent areas with similar 87Sr/86Sr ratios of bioavailable strontium.

At Donkalnis, 3/11 humans (Grave Nos. 2, 7, and VI) appear to be non-local. Indeed, these individuals had 87Sr/86Sr ratios above 0.72 and may be derived from Finland or Karelia (Fig. 5). Intriguingly, aDNA analysis of one of the individuals (Grave No. 7; 3521-3371 cal BC) has previously demonstrated that the individual had a substantial part of their ancestry from Eastern Hunter-Gatherers (30%), which markedly differs compared with the other Donkalnis and Spiginas individuals (0-10%). The source of Eastern Hunter-Gatherers ancestry in the Eastern Baltic likely derives from the Comb Ware Culture in which ceramics and stone tools were spread widely throughout the region between 3900-3500 cal BC. Building on the aDNA data, the strontium isotope ratio analysis demonstrates that this spread also included long-distance mobility patterns.

Two individuals from Donkalnis (Grave Nos. 3 and 5) had 87Sr/86Sr ratios of between *ca*. 0.711 and 0.712, and may have arrived at Lake Biržulis from the Baltic Sea coastline, which has a lower radiogenic strontium ratio due to the “sea spray effect”. Numerous amber finds from the Lake Biržulis region are in line with this interpretation suggesting contacts and movement between the two areas during the Subneolithic period.

To conclude, even in areas such as Lithuania that are predominantly covered by glacial deposits, due to significant variation of the 87Sr/86Sr ratios, it is possible to identify long-distance mobility patterns and potential migration events. However, its potential is somewhat limited by an absence of data from northwestern Russia, Kaliningrad Oblast, Latvia, and Belarus (Fig. 5.).

LIST OF TABLES

Table 1. 87Sr/86Sr ratios of analysed animal teeth from the sites of Daktariškė 5 and Varniai. \* denotes analyses by LA-MC-ICP-MS

Table 2. 87Sr/86Sr ratios of analysed human teeth from the burial grounds of Donkalnis and Spiginas

Table 3. Mean 87Sr/86Sr ratios of analysed human teeth from the burial grounds of Donkalnis and Spiginas, and interpretation

LIST OF FIGURES

Fig. 1. Stable isotope data (*δ*13C and *δ*15N) obtained from human bone collagen from the burial grounds of Donkalnis and Spiginas. Data from Antanaitis-Jacobs et al. (2009), Piličiauskas et al. (2017b), Simčenka and Piličiauskas (in prep). The expected ranges for the consumers of freshwater fish (A), herbivores and boars (B), and marine fish and seals (C) are shown. Drawing by *G. Piličiauskas*

Fig. 2. Geomorphological map of the Lake Biržulis region according to Lietuvos geologijos tarnyba 2021. 1 – analysed human teeth, 2 – analysed animal teeth, 3 – Holocene colluvium, 4 – Holocene limnic sediments, 5 – Holocene alluvium, 6 – Holocene bog sediments, 7 – Late Pleistocene alluvium, 8 – Late Pleistocene limnoglacial sediments, 9 - Late Pleistocene fluvioglacial sediments, 10 - Late Pleistocene moraine sediments. Drawing by *G. Piličiauskas*

Fig. 3. Intra-tooth 87Sr/86Sr ratio variation curves of the sampled Mesolithic-Neolithic individuals from the burial grounds of Donkalnis and Spiginas. The baseline was established through the analyses of faunal remains from the sites of Daktariškės 5 and Varniai. These data are plotted at 2 SD as defined by the whiskers. The blue line at the bottom of the plot shows the 87Sr/86Sr ratio of Baltic seawater according to Andersson et al. (1992). Drawing by *G. Piličiauskas*

Fig. 4. Standard deviations of the intra-tooth measurements of the individuals from Donkalnis and Spiginas. Drawing by *G. Piličiauskas*

Fig. 5. 87Sr/86Sr ratios plotted onto a geological map of Eastern and Central Europe. Geological layers have been taken from IGME5000 (2005). N – Neogene, P – Paleogene, Cr – Cretaceous, J – Jurassic, T – Triassic, C – Carboniferous, D – Devonian, S – Silurian, O – Ordovician, Pr – Precambrian. 87Sr/86Sr ratios without a symbol are measured from archaeological fauna, \* denotes ratios from archaeological human enamel, \*\* from ground water, \*\*\* from archaeological human dentine, \*\*\*\* from surface water (Ahlström and Price 2021; Andersson et al. 1992; Bäckström and Price 2016; Bentley and Knipper 2005; Bergerbrant et al. 2017; Bläuer et al. 2013; Boric and Price 2013; Frei and Frei 2011; Frei et al. 2019; Gerling 2015; Kootker et al. 2016; Löfvendahl et al. 1990; Oras et al. 2016; Piličiauskas et al. in prep; Piličiauskienė et al. in prep; Pospieszny et al. 2015; Price et al. 2004; 2018; Szczepanek et al. 2018; Voerkelius et al. 2010; Åberg and Wickman 1987). Drawing by *G. Piličiauskas*

1. Šiame darbe naudota tokia Lietuvos akemens ir bonzos amžių periodizacija: mezolitas (8000-5000 cal BC), subneolitas (5000-2900 cal BC), neolitas (2900-1800 cal BC), ankstyvasis bronzos amžius (1800-1100 cal BC) [↑](#footnote-ref-1)