

AUGTENES HIPEREITROFIKĀCIJA JŪRAS KRAUKĻU *PHALACROCORAX CARBO* KOLONIJU DZĪVOTNĒS KAŅIERA EZERA ĀBEĻU UN EGĻU SALĀS

Māris Laiviņš¹ un Gunta Čekstere²

¹ Latvijas Valsts mežzinātnes institūts "Silava", E-pasts: maris.laivins@silava.lv

² Latvijas Universitātes Bioloģijas institūts, E-pasts: gunta.cekstere@lu.lv

Kopš 2005. gada jūras kraukļu kolonizētās Kaņiera ezera Ābeļu un Egļu salu mežaudzes nepārtrauktas ķīmisko elementu ieneses rezultātā 12 gados ir pilnībā pārmainījušās. Tās ir zaudējušas mežaudzēm raksturīgo telpisko kontinuitāti un stāvojumu, kā arī pilnībā nomainījis augu sugu sastāvs. Platlapju mežaudzes ir degradējušās, to vietā veidojas augu augšanai nepiemēroti neauglīgi klājumi, kuru augsne ir pārsātināta ar fosforu, slāpekli, sēru, cinku u. c. elementiem. Vietās, kur nenotiek tik intensīva jūras kraukļu ekskrementu ienese un akumulēšanās augsnes virskārtā, ir izveidojušās pēc platības nelielas nitrofilas augu sugas – lielās nātres *Urtica dioica* – saaudzes, bet krūmu stāvā pamazām ieviešas melnais plūškoks *Sambucus nigra*.

Raksturvārdi: eitrofikācija, fosfors, slāpeklis, sērs, cinks, ezeru salas, platlapju mežaudzes, Latvija.

IEVADS

Pēdējos gadu desmitos hemiboreālajā starpzonā notiek apjomīga ķīmisko elementu akumulācija un intensīva augāja transformācija vienkopus ligzdojošo putnu kolonijās gan meža, gan zālāju biotopos. 20. gs. Latvijā ezeru salās un ūdenstilpju krastos pēc indivīdu skaita samērā nelielas kolonijas veidoja pelēkie gārņi *Ardea cinerea*, bet 20. un 21. gs. mijā notikusi un pašlaik turpinās aizvien straujāka jūras kraukļu *Phalacrocorax carbo* invāzija, palielinās jūras kraukļu koloniju skaits, pieaug šo putnu radītie traucējumu apmēri. Zem putnu ligzdām un to tuvākajā apkārtnē kokaugi tiek mehāniski bojāti, nokalst koki, krūmi, lakstaugi un sūnas, krasi pārmainās sugu sastāvs.

Jūras kraukļu invāzija un izplatīšanās pēdējos gadu desmitos novērota daudzviet pasaulē, jo sevišķi nemorālās un boreālas zonas ekotonā (Samusenko, 2003; Mizota *et al.*, 2012; Kolb *et al.*, 2015). Ziemeļeiropā 20. un 21. gs. mijā jūras kraukļu kolonijas intensīvi sāka veidoties Baltijas jūras reģionā. Valstīs Baltijas jūras dienvidu piekrastē – Dānijā, Vācijā un Zviedrijā – ligzdu skaits šajā laikā bija dubultojies, sasniedzot vairāk nekā 105 000 ligzdu (Bregenballe *et al.*, 2003). Somijā pirmoreiz jūras kraukļu ligzdas konstatētas 1996. gadā (Rusanen *et al.*, 2003), bet Somu liča austrumu salās Ļeņingradas (tagad – Sanktpēterburgas) apgabalā pirmās ligzdas atrastas jau 1988. gadā (Gaginskaya, 1995). Arī Latvijā jūras kraukļi ir sākuši ligzdot 20. gs. 80. gados Lubāna un Ežezera salās (Strazds, 1987; Strazds & Celmiņš, 1987; Laiviņš & Čekstere, 2008).

Latvijā pētījumi par ķīmisko elementu uzkrāšanās apjomu augsnē un augāja stāvokli putnu, arī jūras kraukļu, kolonijās ir veikti vairāk nekā pirms desmit gadiem Pildas un Ežezera salās Latgalē (Laiviņš & Čekstere, 2008). Dažus gadus vēlāk līdzīga rakstura pētījumi veikti arī Kaņiera ezera salās (Bajinskis, 2011, Bajinskis *et al.*, 2011), bet Lietuvā – Kuršu kāpās Juodkrantē – lielākajā jūras kraukļu kolonijā Austrumbaltijā (Laiviņš *et al.*, 2017).

Pētījumos konstatēts, ka augsnes virskārtā zem putnu ligzdām fosfora, kālija, cinka, slāpekļa un citu elementu koncentrācija var pat desmitiem reizu pārsniegt šo elementu daudzumu augsnes virskārtā līdzīgās augtenēs bez putnu kolonijām (Hobara *et al.*, 2001, 2005; Ligeza & Smal, 2003; Kolb *et al.*, 2012; Kolb *et al.*, 2013; Kolb *et al.*, 2015). Ķīmisko elementu pastiprināta akumulācija un augsnes paskābināšanās būtiski ietekmē augu valsti, izmaina augsnes veidošanās procesus un augu minerālās barošanās režīmu, elementu apriti starp augiem un augsni kā zem ligzdām, tā koloniju tuvākajā apkārtnē. Ar putnu ekskrementiem augsnē tiek ienests ievērojams biogēno elementu daudzums, kas veicina nitrofilo sugu (jūrmalas suņkumelīte *Tripleurospermum maritimum*, Hukera suņkumelīte *T. hookeri*, Japānas dižsūrene *Reynoutria japonica* u. c.) izplatīšanos (Ishida, 1996; Глазкова & Глазков, 2007).

Jūras kraukļi Kaņiera ezera Ābeļu un Egļu salā sāka ligzdot 2005. gadā, abās salās vienlaicīgi (Strazds & Ķuze, 2006). Lai novērtētu augsnes un augāja pārmaiņu apmēru jūras kraukļa kolonijās Kaņiera ezera salās un novērtētu salu ekosistēmas attīstības tendences, 2010. gadā šajās salās veikti ģeobotāniski pētījumi, kas atkārtoti 2017. gadā, nosakot ķīmisko elementu koncentrāciju augsnes virskārtā (līdz 20 cm dziļumam), kā arī aprakstot izplatītāko augu sabiedrību sugu sastāvu.

MATERIĀLS UN METODEDES

Pētījumu vietas un laiks

Ģeobotāniskie pētījumi 2010. un 2017. gadā ir veikti Kaņiera ezerā jūras kraukļu kolonizēto Ābeļu (platība 0,4 ha, LKS-92 koordinātes X 6315949, Y 466765) un Egļu (1,4 ha, LKS-92 X 6315561, Y 466583) salu mežaudzēs. Lai novērtētu augsnes un augāja traucējumu apjomu minētajās salās, pētījumi veikti arī Kaņiera ezera Riekstu salā (4,8 ha, LKS-92 X 6317719, Y 467879), kas izvēlēta kā fona jeb kontroles teritorija.

Kaņiera ezera salām raksturīgs hipsometriskais joslojums. Salu centrālā vidusdaļa ir augstāka, tā atrodas 0,5–2,0 m virs ezera vidējā ūdens līmeņa, salu paceltajai daļai ir raksturīgas platlapju mežu sabiedrības, kas Ābeļu un Egļu salās pēc jūras kraukļu invāzijas ir degradētas. Salu zemāko daļu (līdz 0,5 m) aizņem mitri un pārmitri melnalkšņa staignāji un kārklu krūmāji, bet salas apņem līdz 10 m plata niedru josla. Ģeobotāniskie pētījumi veikti tikai salu platlapju mežos.

Augsnes pētījumi

Ņemot vērā vides mozaīkveida struktūru Ābeļu un Egļu salās, augsnes paraugi no augsnes virskārtas ievākti divos atšķirīgos zemes apauguma veidos: laukumos ar atkailinātu augsnes virsu bez veģetācijas un no augstzaļu saaudzēm. Katrā pētījuma vietā paraugi noņemti divos dziļumos: no 0–10 cm un no 11–20 cm trīs atkārtojumos, kas tālāk analizēti laboratorijā. Riekstu salā augsnes paraugi no augsnes virskārtas 0–10 cm un 11–20 cm

dziļumā trīs atkārtojumos iegūti salas ziemeļu daļā jauktā parastās liepas *Tilia cordata*, parastā oša *Fraxinus excelsior* un āra bērza *Betula pendula* mežaudzē.

Augsnes paraugu ķīmiskās analīzes veiktas Latvijas Universitātes Bioloģijas institūta Augu minerālās barošanās laboratorijā. Augsnes paraugi žāvēti divas dienas +35°C temperatūrā, pēc tam izsijāti caur 2 mm sietu.

Augsnes izvilks N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn un Cu noteikšanai iegūts, augsni ekstrahējot ar 1 M HCl šķīdumu. Augsnes un 1 M HCl tilpumattiecība bija 1:5. P un S noteikšanai augsnes izvilks oksidēts, izmantojot HNO₃, H₂O₂ un HClO₄, iegūtie sāļi izšķīdināti HCl un destilētā ūdenī (Ринькис и др., 1987). Augsnes reakcijas (pH) noteikšanai izmantots 1 M KCl augsnes izvilks. Augsnes un 1 M KCl tilpumattiecība bija 1:2,5. Augsnes elektrovadītspējas noteikšanai iegūts destilēta ūdens izvilks; augsnes un destilēta ūdens tilpumattiecība bija 1:5.

Ca, Mg, Fe, Cu, Zn un Mn koncentrācija augsnes paraugos noteikta, izmantojot atomabsorbcijas spektrofotometru *Perkin Elmer AAnalyst 700* acetilēna-gaisa liesmā. K analizēts ar liesmas fotometru *JENWAY PFPJ*. N un P analizēts kolorimetriski, S – turbidimetriski, izmantojot spektrofotometru *JENWAY 6300*, bet N augsnes izvilks – ar Neslera reaģentu sārmainā vidē. P analizēts ar amonija molibdātu skābā reducētā vidē; S – ar BaCl₂. Iegūtajiem barības elementu rezultātiem veikti pārrēķini no mg l⁻¹ uz mg kg⁻¹, izmantojot parauga tilpummasas koeficientu. Augsnes elektrovadītspēja noteikta, izmantojot konduktometru *Hanna EC 215*, augsnes reakcija – izmantojot pH-metru *Sartorius PB-20* (Ринькис и др., 1987). Katra parauga analīzes veiktas trīs atkārtojumos.

Augāja sugu sastāva inventarizācija un koku vitalitātes vērtējums

Augu sega vienmērīgi nenosdz Ābeļu un Egļu salas, bet veido rakstainu jeb mozaīkveida virsas apaugumu. Salās mijas dažādas platības lakstaugu grupējumi ar veģetāciju neapaugušām platībām. Tāpēc katrā salā pēc acumēra procentos ir novērtēta platība bez augāja, kā arī atsevišķu augu sugu grupējumu aizņemtā platība.

Pašlaik salās augu sugu grupējumus veido dažāda augstuma lakstaugi ar vienu, pēc indivīdu skaita izteikti dominējošo sugu, pārējo sugu piejaukums ir niecīgs. Pēc mežaudzes destrukcijas koku un krūmu stāvā vēl ir saglabājušies atsevišķi koki (indivīdi), bet sūnu stāvs ir pilnībā izzudis. Dabā fizionomiski labi identificējamajos augu grupējumos, ņemot vērā mežaudzes stāvokli, 2010. gadā 80–600 m², bet 2017. gadā 100 m² lielos laukumos uzskaitīts sugu sastāvs, pēc acumēra novērtēts katras sugas projektīvais segums procentos.

Riekstu salā sugu sastāvs uzskaitīts 400 m² lielos laukumos, pēc acumēra procentos novērtēts koku (E₃) un krūmu (E₂) stāva slēgums, lakstaugu (E₁) un sūnu (E₀) stāva projektīvais segums. Pēc acumēra procentos novērtēts mežaudzes stāvos uzskaitīto sugu projektīvais segums.

Pēc platības nelielajās jūras kraukļu kolonizētajās Ābeļu, Egļu un Riekstu salās kā 2010. gadā, tā 2017. gadā ir novērtēts valdošo koku sugu veselības stāvokļa rādītājs – vainaga defoliācija (lapu/skuju zudums vainagā). Vainaga defoliācija pēc acumēra novērtēta procentos.

Eitrofikācijas pakāpes novērtējums

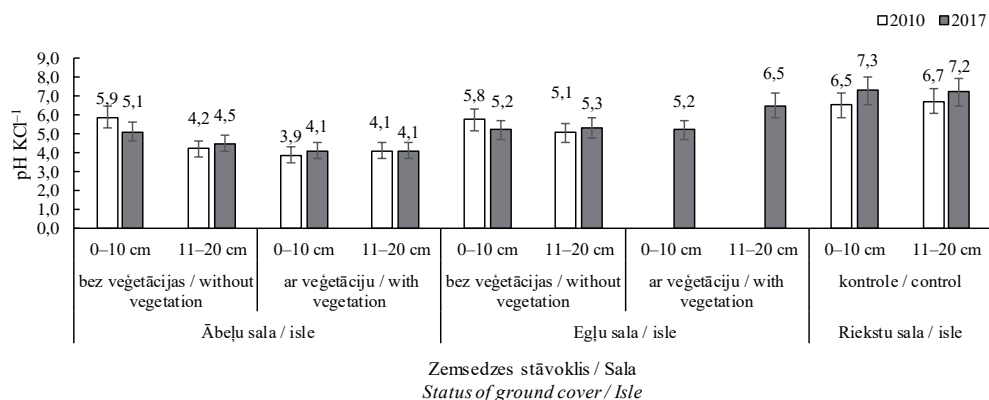
Augtenes eitrofikācijas raksturošanai salīdzināta ķīmisko elementu koncentrācija augsnes augšējā slānī (0–10 cm) kontroles audzē Riekstu salā un putnu kolonizētajās Ābeļu un Egļu salās. Kokaugu minerālās barošanās apstākļu novērtēšanai Kaņiera ezera salās izmantotas V. Nollendorfa platlapu koku sugām – liepām *Tilia* spp. un parastajai zirgkastaņai *Aesculus hippocastanum* sastādītās piecpakāpju barības elementu nodrošinājuma skalas augsnē: nepietiekams, zems, optimāls, augsts un pārbagāts (Nollendorfs, 2004). Šai skalai pielīdzināts arī oša nodrošinājums ar dažādu barības elementu daudzumu augsnē, kas iegūts, pamatojoties uz pētījumiem par parastā oša paaugas minerālās barošanās apstākļiem dažādos meža tipos Latvijā (Čekstere *et al.*, 2015). Lai salīdzinātu ķīmisko elementu piesātinājuma pakāpi ezera salās ar V. Nollendorfa izstrādāto barības elementu nodrošinājuma skalu osim un liepai, ķīmisko elementu svara koncentrācijas (mg kg^{-1}), ņemot vērā augsnes tilpumsvaru, pārrēķinātas tilpuma vienībās (mg l^{-1}).

REZULTĀTI UN DISKUSIJA

Ķīmisko elementu dinamika un piesātinājums augsnes virskārtā

Augsnes apmaiņas skābuma, augsnes elektrovadītspējas un ķīmisko elementu saturs augsnes virskārtā ezera salās noteikts 2010. un 2017. gadā, analīžu rezultāti atspoguļoti 1.–13. attēlā. Jūras kraukļu kolonijās augsnes virskārtas ķīmiskais sastāvs ievērojami variēja gan telpiski, gan arī dažādos augsnes virskārtas dziļumos. Augsnes virskārtas ķīmiskā sastāva mainība akcentēta arī citos pētījumos par jūras kraukļu koloniju vides īpatnībām (Hobara *et al.*, 2005; Kolb *et al.*, 2015). Neskatoties uz šo datu lielo izkliedi, Kaņiera ezera salās atklājās vairākas augsnes ķīmiskā sastāva mainības tendences.

Kopumā augsnes virskārta zem putnu ligzdām bija skābāka, salīdzinot ar putnu neietekmētu fona audzi Riekstu salā (1. att.). Šāda augsnes paskābināšanās ligzdošanas vietās konstatēta pētījumos daudzviet pasaulē un ir saistīta ar organisko skābju un urīnskābes klātbūtni putnu ekskrementos, kā arī ar slāpekļa un sēra savienojumu intensīvu uzkrāšanos augsnes virskārtā (Lindeboom, 1984; Ligeza & Smal, 2003; Hobara *et al.*, 2005; Kolb *et al.*, 2015).



1. attēls. Augsnes reakcijas (pHKCl) dinamika augsnes virskārtā.
 Figure 1. Dynamics of soil reaction (pHKCl) in topsoil.

Ķīmisko elementu saturs augsnes virskārtā bija atšķirīgs augsnē bez augāja un augsnē ar lakstaugiem. Kā varēja sagaidīt, kopumā augstāks ķīmisko elementu saturs bija augsnē bez augu segas, zemāks – augsnē, kur bija izveidojušās lakstaugu saaudzes. Visskaidrāk ķīmisko elementu koncentrācijas atšķirības platībās bez augāja un ar augāju izpaužas 0–10 cm augu sakņu aizņemtajā slānī, mazāk izteikti – 11–20 cm augsnes slānī.

Abos novērojumu gados un abos augsnes virskārtas slāņos augsnē bez augāja kopumā bija lielāks slāpekļa, fosfora, kalcija, kālija, nātrija, sēra, cinka, ar atsevišķiem izņēmumiem – arī magnija un vara saturs (2.–12. att.), salīdzinot ar augsni, kurā aug lakstaugi. Zīmīgi, ka, ja 2010. gadā augsnē bez augāja vairumam minēto ķīmisko elementu koncentrācija bija 1–3 reizes lielāka nekā aizaugušās platībās, tad pēc septiņiem gadiem – 2017. gadā, atšķirības augsnes ķīmisko elementu koncentrācijā starp salu virsas apaugumu veidiem bija ievērojami pieaugušas. Piemēram, kālija, kalcija, cinka un nātrija saturs augsnes virskārtā bez augāja caurmērā bija 5–10 reizes augstāks, nekā augstzāļu saaudzēs.

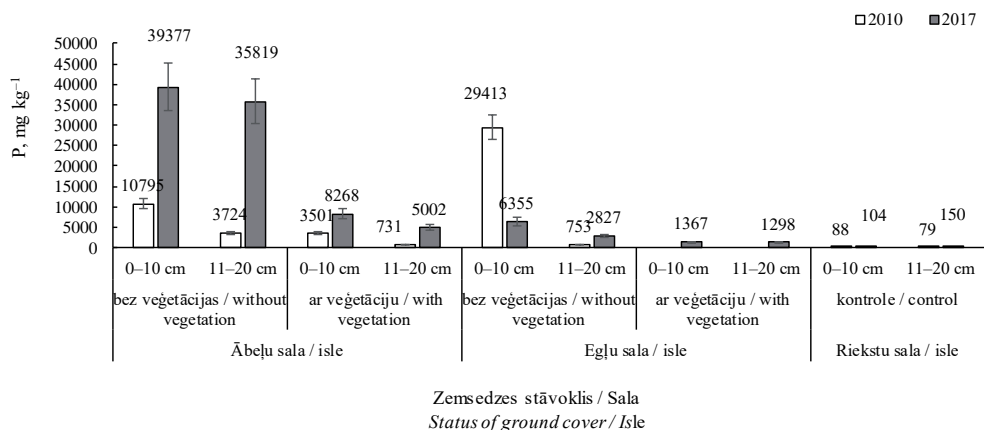
Sevišķi liela koncentrācija augsnes virskārtā (0–10 cm) bez veģetācijas bija cinkam. Ābeļu salā cinka saturs bija 10,4 reizes, Egļu salā 28,1 reizi augstāks, salīdzinot ar aizaugušu augsni.

Ābeļu salā 2010. gadā sēra daudzums augsnē bez augāja bija 8,1 reizes, 2017. gadā – 14,3 reizes, bet Egļu salā 2017. gadā – 19,8 reizes lielāks, nekā ar nātrēm aizzēlušā augsnē.

Fosfora saturs 0–10 cm slānī bez augāja Ābeļu salā 2017. gadā bija 4,7 reizes lielāks, salīdzinot ar aizzēlušu augsni (Egļu salā attiecīgi 4,6 reizes). Savukārt fosfora koncentrācija Ābeļu salā 11–20 cm slānī bez augāja pat 7,1 reizi pārsniedza fosfora saturu augsnē ar augāju.

Fosfora saturs 2017. gadā Ābeļu salā augsnes virskārtā (0–10 cm slānī) bez augāja bija 378,9 reizes, bet vietās ar lakstaugu veģetāciju – 79,5 reizes (Egļu salā attiecīgi 61,2 un 13,1 reizes) lielāks, nekā fosfora saturs tādā pašā dziļumā augsnē platlapju kontroles audzē Riekstu salā (2. att.). Kopumā fosfora saturs Ābeļu salā augsnē bez augāja bija 93,5 reizes, bet lielās nātres saaudzēs – 12,0 reizes lielāks, nekā optimālais parastā oša un parastās

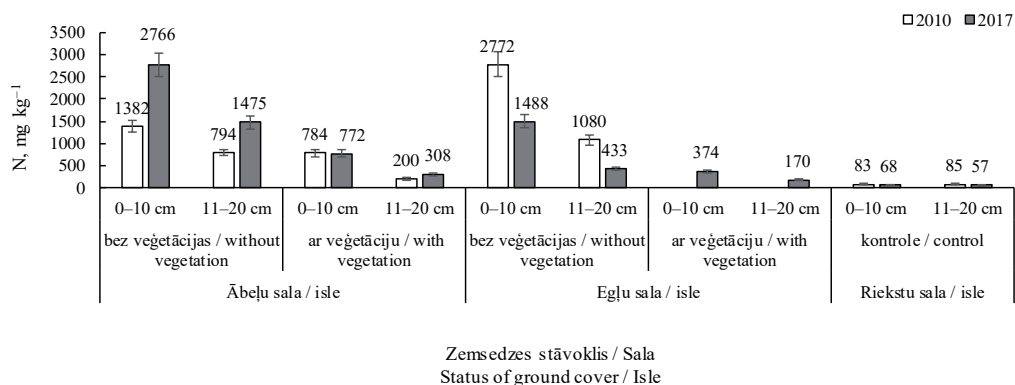
liepas augšanai ($150\text{--}300\text{ mg l}^{-1}$). Fona audzē Riekstu salā fosfora saturs augsnē atbilda zemākajai vēlamajai robežai iepriekš minētajiem lapu kokiem.



2. attēls. Fosfora (P) saturs augsnes virskārtā.

Figure 2. Dynamics of phosphorus (P) content in topsoil.

Slāpekļa saturs Åbeļu salā augsnē bez augāja bija 40,5, bet aizzēlušā augsnē – 11,3 reizes (Egļu salā – attiecīgi 21,8 un 5,5 reizes) lielāks, salīdzinot ar fona audzi (3. att.). Tas Åbeļu salā vietās bez augāja pārsniedza vidējo optimālo slāpekļa daudzumu ($90\text{--}150\text{ mg l}^{-1}$), kāds vēlams parastās liepas un parastā oša augšanai (11,8 reizes), bet aizzēlušās vietās – 2,0 reizes. Riekstu salas augsnes virskārtā slāpekļa saturs atbilst lapu koku prasībām. Jau izkāpjot no laivas Åbeļu un Egļu salā, ir sajūta kā, ieejot “vistu kūti”. Uzturoties salā, visu laiku ir jūtama spēcīga amonjaka smaka. Jūras kraukļu ligzdošanas laikā gaisā tiek emitēts liels slāpekļa un citu videi kaitīgo gaistošo savienojumu apjoms.

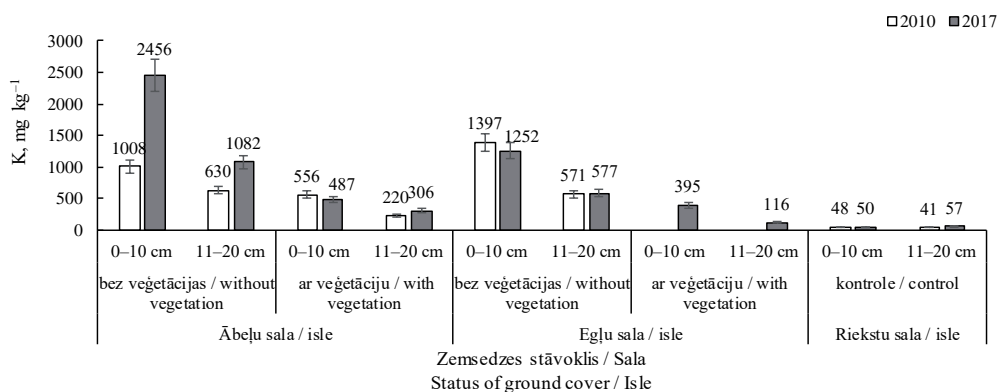


3. attēls. Slāpekļa (N) saturs augsnes virskārtā.

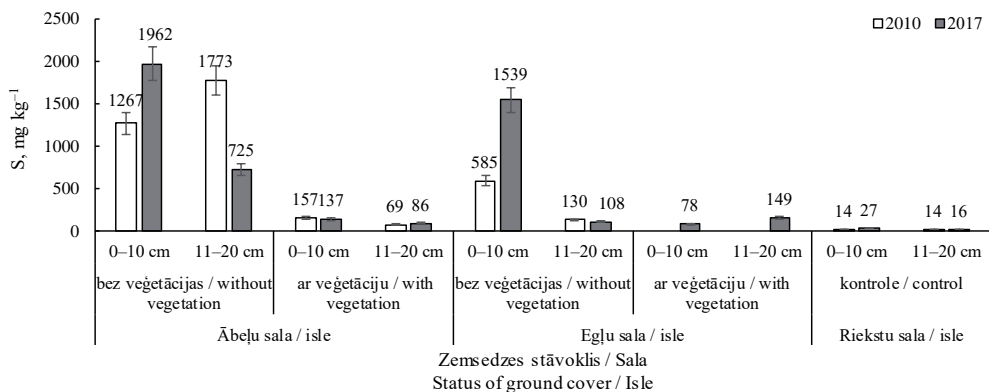
Figure 3. Dynamics of nitrogen (N) content in topsoil.

Kālija saturs Ābeļu salā atkailinātā augsnē bija 49,5, bet aizzēlušā – 9,8 reizes (Egļu salā – attiecīgi 25,2 un 7,9 reizes) lielāks, salīdzinot ar fona audzi (4. att.). Bet, salīdzinot ar kokaugu augšanai optimālo (200–250 mg l⁻¹) kālija saturu augsnē, Ābeļu salas augsnē bez augāja kālija bija 5,8 reizes vairāk, bet ar nātrēm aizaugušā augsnē kālija saturs bija kokaugu augšanai optimālās robežās. Savukārt kontroles audzē Riekstu salā kālija saturs augsnē platlapu koku prasībām bija nepietiekams.

Sēra saturs Ābeļu salā atkailinātā augsnē bija 73,4, bet aizzēlušā – 5,1 reizi (Egļu salā attiecīgi 57,6 un 2,9 reizes) lielāks, salīdzinot ar fona audzi (5. att.). Augsnē bez augāja sēra koncentrācija 26,2 reizes pārsniedza parastajam osim un parastajai liepai optimālo (30–50 mg l⁻¹), bet Ābeļu salas aizzēlušā augsnē, līdzīgi kā kālijam, tā bija optimāla. Fona audzē Riekstu salā sēra saturs bija nepietiekams.



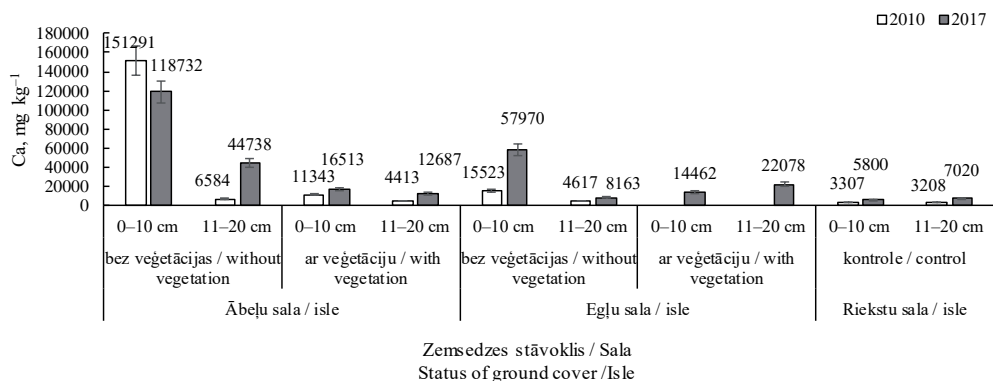
4. attēls. Kālija (K) satura dinamika augsnes virskārtā.
Figure 4. Dynamics of potassium (K) content in topsoil.



5. attēls. Sēra (S) satura dinamika augsnes virskārtā.
Figure 5. Dynamics of sulphur (S) content in topsoil.

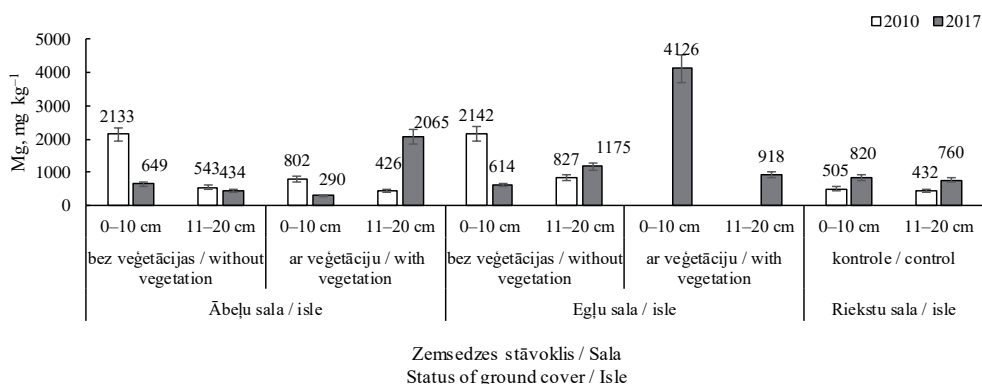
Kalcija saturs Ābeļu salā augsnē bez augāja bija 20.5, bet aizzēlušā – 2.8 reizes (Egļu salā, attiecīgi, 16,8 un 2.5 reizes) lielāks, salīdzinot ar fona audzi (6. att.). Ābeļu salā tikai augsnē bez augāja kalcija saturs pārsniedza (18,1 reizes) optimālo (3000–4000 mg l⁻¹).

Magnija saturs Ābeļu salā augsnē bez augāja un ar nātrēm aizzēlušā augsnē bija mazāks, salīdzinot ar fona augsni (7. att.). Abos virsas apauguma veidos parastajam osim un parastajai liepai izmantojamā magnija apjoms ir raksturojams kā zems. Raksturīgs arī ļoti plašs Ca:Mg attiecību diapazons, īpaši augsnē bez veģetācijas (Ca:Mg = >100:1), kas būtiski var samazināt magnija uzņemšanu augos. Paskābinoties augsnei, magnijs ieskalojas augsnes dziļākajos slāņos.



6. attēls. Kalcija (Ca) satura dinamika augsnes virskārtā.

Figure 6. Dynamics of calcium (Ca) content in topsoil.



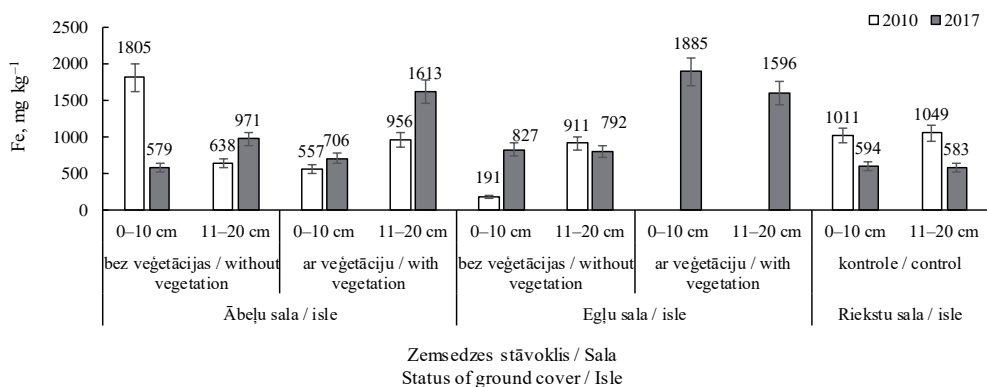
7. attēls. Magnija (Mg) satura dinamika augsnes virskārtā.

Figure 7. Dynamics of magnesium (Mg) content in topsoil.

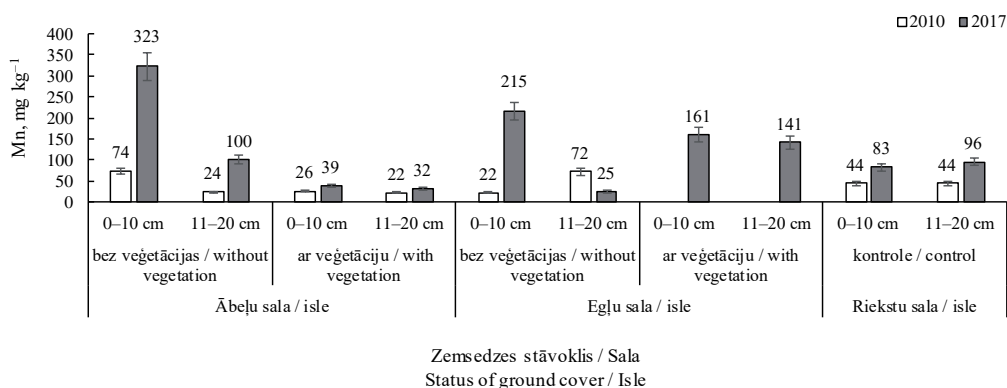
Dzelzs saturs putnu ietekmētajās augtenēs Ābeļu un Egļu salās abos apauguma veidos, salīdzinot ar fona audzi Riekstu salā, ir lielāks. Bet kopumā kā putnu ietekmētajās, tā arī dabiskajās augtenēs ezera salās, platlapu koku sugu nodrošinājums ar dzelzi ir

nepietiekams, piemēram, Ābeļu salā 1–10 cm augsnes slānī bez augāja augiem pieejamais dzelzs daudzums ir tikai 310 mg l⁻¹, optimālais – 800–1600 mg l⁻¹.

Mangāna saturs Ābeļu salā augsnē bez augāja un ar nātrēm aizzēlušā augsnē, salīdzinot ar fona audzi, bija krasi atšķirīgs. Bez augāja mangāna saturs bija 3,9 reizes lielāks, bet aizzēlušā augsnē – mazāks (attiecīgi, 46,6 % no fona audzes). Savukārt Egļu salā mangāna saturs kā ar veģetāciju apklātā augsnē, tā arī augsnē bez augāja ir lielāks (9. att.). Ābeļu salā mangāna saturs augsnē bez augāja (172,4 mg l⁻¹) lapu kociem ir pārbagāts (optimāls – 40–80 mg l⁻¹), savukārt nātru saaudzes augsnēs – zems. Fona audzē Riekstu salā mangāna saturs ir augsts – 87,8 mg l⁻¹. Mangāns, tāpat kā dzelzs, skābā vidē ir reducētā formā, tāpēc kļūst kustīgs. Rezultātā notiek mangāna ieskalšanās dziļākos augsnes slāņos, kā arī tas intensīvāk un lielākā daudzumā akumulējas augos.



8. attēls. Dzelzs (Fe) satura dinamika augsnes virskārtā.
Figure 12. Dynamics of iron (Fe) content in topsoil.

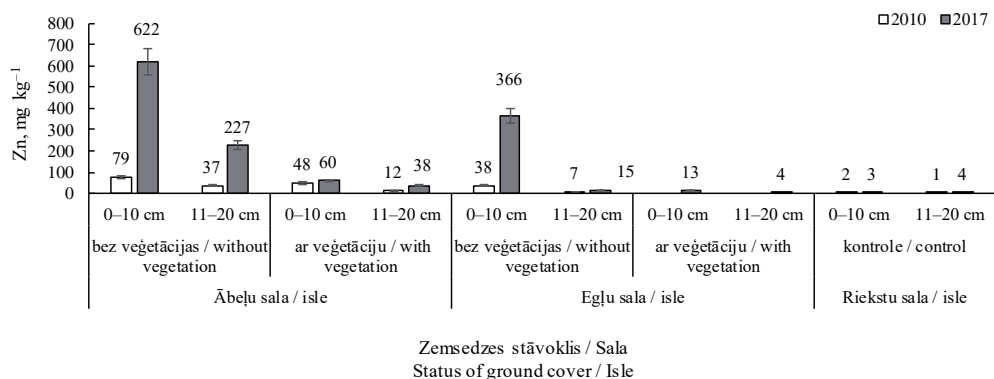


9. attēls. Mangāna (Mn) satura dinamika augsnes virskārtā.
Figure 9. Dynamics of manganese (Mn) content in topsoil.

Cinkam, tāpat kā vairākiem citiem ķīmiskajiem elementiem, raksturīga augsta koncentrācija ar jūras kraukļu ekskrementiem piesārņotā vidē. Ābeļu salā bez augāja cinka koncentrācija 188,4 reizes, bet aizzēlušā augsnē 18,0 reizes pārsniedza fona līmeni (10. att.). Tāpēc arī augsnē bez augāja cinka saturs augiem raksturojams kā ekstrēmi pārbagāts – 332,6 mg l⁻¹ (optimālais cinka saturs ir 20–40 mg l⁻¹), bet aizzēlušā augsnē cinka saturs atbilda optimālajam līmenim. Savukārt fona audzē tas raksturojams kā nepietiekams.

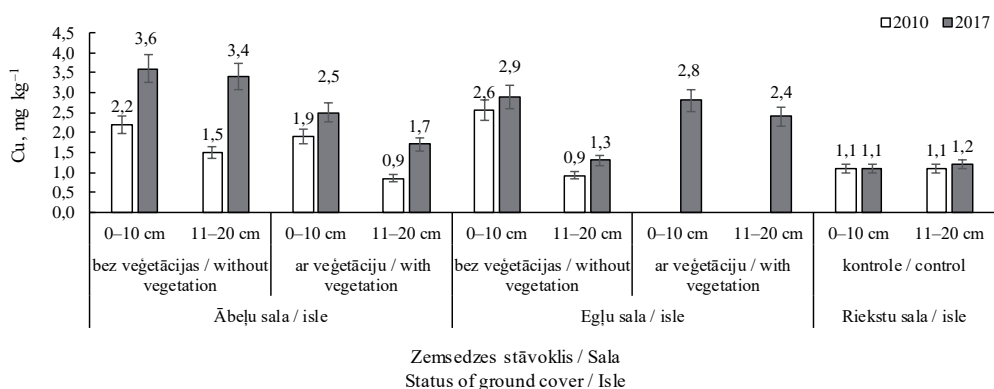
Vara saturs Ābeļu salā augsnē bez augāja un ar nātrēm aizzēlušā augsnē bija lielāks nekā fona audzē (attiecīgi, 3,3 un 2,3 reizes) (11. att.). Tomēr augiem pieejamā un izmantojamā vara saturs kā Ābeļu un Egļu, tā arī Riekstu salas augsnēs raksturojams kā nepietiekams.

Jūras kraukļu koloniju apdzīvoto platību augsnēs konstatēts augsts nātrija saturs. Ābeļu salā bez augāja nātrija koncentrācija bija 52,8 reizes, bet aizzēlušā augsnē – 6,3 reizes lielāka nekā fona audzē (12. att.).



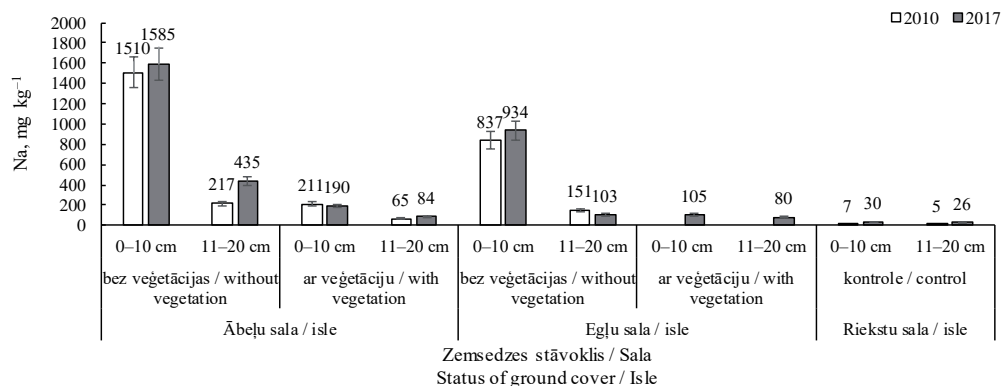
10. attēls. Cinka (Zn) satura dinamika augsnes virskārtā.

Figure 10. Dynamics of zinc (Zn) content in topsoil.



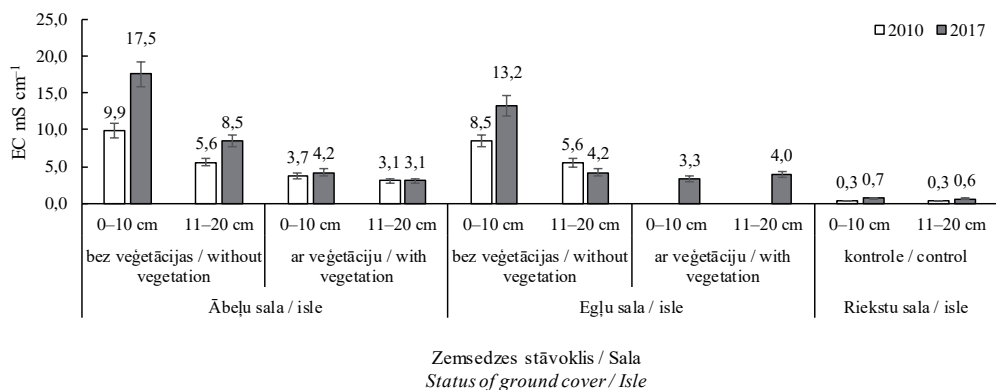
11. attēls. Vara (Cu) satura dinamika augsnes virskārtā.

Figure 11. Dynamics of copper (Cu) content in topsoil.



12. attēls. Nātrija (Na) saturs augsnē virskārtā.
 Figure 12. Dynamics of sodium (Na) content in topsoil.

Ķīmisko elementu uzkrāšanās tendences Ābeļu un Egļu salu augsnē ilustrē arī augsta augsnē elektrovadītspēja, kas vislielākā ir augsnē virskārtā bez augāja (13. att.).



13. attēls. Elektrovadītspējas (mS cm⁻¹) dinamika augsnē virskārtā.
 Figure 13. Dynamics of soil electrical conductivity (mS cm⁻¹) in topsoil.

Paskābinoties videi, palielinās dzelzs, mangāna un magnija savienojumu mobilitāte un šo elementu iznese no augsnē virskārtas un akumulēšanās augsnē dziļākos slāņos. Savukārt fosfors, augtēni paskābinoties, veido nešķīstošus, augiem grūti uzņemamus savienojumus ar dzelzi, alumīniju un organiskajām vielām, kas veicina šī elementa uzkrāšanos augsnē. Tādējādi augsta fosfora koncentrācija augsnē var saglabāties pat gadu desmitiem ilgi pēc kolonijas iziršanas.

Platlapju mežaudžu destrukcija

Augu grupējumu sugu sastāvs apkopots 1. tabulā. 2010. gada augāja sugu sastāva pētījumi parāda, ka pirms jūras kraukļu invāzijas ezera salās, augstāk paceltajā Ābeļu salas vidusdaļā, mežaudzē koku stāvā valdošais ir bijis parastais osis, ar nelielu melnalkšņa *Alnus glutinosa* piejaukumu un dažiem baltalkšņa *Alnus incana* un bērza *Betula* ssp. indivīdiem. Savukārt Egļu salas vidusdaļā kokaude ir bijusi sugām bagātāka, te līdzās osim un melnalkšnim bija sastopama parastā liepa, parastais ozols *Quercus robur*, parastā apse *Populus tremula*, kā arī daži parastās egles *Picea abies* indivīdi.

2010. gadā Ābeļu salā bija saglabājušies tikai daži dzīvi oši un bērzi ar ļoti stipri bojātiem vainagiem (vainaga defoliācija > 90 %). Egļu salā 2010. gadā visas egles un bērzi bija pilnīgi nokaltuši, bet vēl dzīvo ozolu, apšu, ošu un melnalkšņu vainagi bija ļoti stipri bojāti, lapas bija saglabājušās tikai pie atsevišķiem zariem un lapu zudums (vainaga defoliācija), tāpat kā Ābeļu salā, pārsniedza 90 %. Visām koku sugām lielā daudzumā bija izveidojušies ūdenszari. Visizturīgākā koku suga jūras kraukļu ligzdu kolonijās ir parastā liepa. Kaņiera ezera Egļu salā liepas vainagu defoliācija 2010. gadā bija 65–75 %, kas ir par 15–20 % mazāka, nekā citu sugu vēl dzīvajiem kokiem. Līdzīgi arī pētījumos Pildas un Ežezera salās liepa, pretstatā skujkokiem un citiem lapkokiem, uzrādīja lielāko izturību pret putnu masveida ligzdošanu (Laiviņš & Čekstere, 2008).

Krūmi un jaunie koki (līdz 5 m augstumam) ir ļoti jutīgi pret putnu ekskrementiem, tāpēc krūmu stāvs 2010. gadā bija retināts, indivīdi stipri nomākti. Zīmīgi, ka retumis vēl 2017. gadā bija saglabājušies daži 2–4 m augsti oši, kuros jūras kraukļi uz viena vai dažiem vēl dzīvajiem zariem bija iekārtojuši ligzdas.

2017. gada pētījumos Ābeļu salas ziemeļu krastā konstatēts ļoti vitāls un kupls melnā plūškoka *Sambucus nigra* krūms. Melnais plūškoks ir ar slāpekli ļoti bagātu augtēnu (Ellenbergas slāpekļa skaitlis – 9) indikators. Latvijā melnā plūškoka sabiedrības ir aprakstītas Ventspilī un Liepājā pamesto un pašlaik vairs neizmantoto atkritumu izgāztuvēs, kur augsne, tāpat kā Kaņiera ezera salās, ir bagāta ar slāpekli un dažādiem metālu savienojumiem (Laiviņš, 2002).

Zemsedze jūras kraukļu kolonijās ir mozaīkveida – platības bez lakstaugu segas mijas ar lakstaugu saudzēm, kurās parasti valdošā ir viena suga. 2010. gadā Ābeļu salā plankumi bez lakstaugiem aizņēma 45 % no salas kopplatības, pārējo salas virsu klāja bebrukārkliņa *Solanum dulcamara* – 35 % no salas platības – un smiltāju cieras *Calamagrostis epigeios* – 20 % no salas platības – saaudzes. Bebrukārkliņam piebiedrojušies meža avene *Rubus idaeus* un šaurlapu ugunspuķe *Chamaenerion angustifolium*, bet smiltāju ciesai – bebrukārkliņš (1. tabula).

Pēc septiņiem gadiem (2017. gadā) Ābeļu salu pilnībā bija pārņēmušas lielās nātres *Urtica dioica* audzes – aptuveni 93 % no salas kopplatības. Izklaidus, dažu desmitu kvadrātdecimetru lielus grupējumus veido šaurlapu ugunspuķes, meža avenes, lielās krastkaņepes *Eupatorium cannabinum* un pūkainās kazrozes *Epilobium hirsutum* saaudzes. Salas dienvidrietumos gar piekrasti ir saglabājušies ar augāju neapklāta šaura josla

(5–6 % no salas kopplatības), kur bez jūras kraukļiem pulcējas arī paugurknābja gulbjji *Cygnus olor*.

Egļu salā, kur jūras kraukļu ligzdu blīvums ir lielāks nekā Ābeļu salā, platības bez augāja 2017. gadā nebija samazinājušās (aptuveni 70 % no salas platības) un aizņem salas augstāk pacelto vidusdaļu un lēzenās nogāzes. Nelieli lielās nātres grupējumi bija izveidojušies pārejas zonā starp salas augstāko un zemāko daļu.

1. tabula. Augu grupējumu sugu sastāvs (%) Kaņiera ezera salās
 Table 1. Species composition of primitive plant aggregation on the isles of Lake Kaņieris

Sala/ Isle Gads/ Year	Ābeļu sala/ isle		Egļu sala/ isle		Riekstu sala/ isle		
	2010	2017	2010	2017	2010	2017	
Apraksta laukums, m ² Relevé, m ²	150	80	100	600	100	400	400
Koku stāva (E ₃) slēgums, % Cover of tree layer, %	15	6	.	3	.	70	80
<i>Fraxinus excelsior</i>	15	2	+*	+	+	5	1
<i>Alnus glutinosa</i>	+	4	.	.	+	.	.
<i>Alnus incana</i>	+	.	.	.	.	.	.
<i>Betula pendula</i>	.	.	.	+	.	20	40
<i>Quercus robur</i>	.	.	.	1	.	10	10
<i>Tilia cordata</i>	.	.	.	2	.	40	30
<i>Populus tremula</i>	.	.	.	+	.	0,5	0,5
<i>Pinus sylvestris</i>	.	.	.	.	.	0,5	.
Krūmu stāva (E ₂) slēgums, % Cover of shrub layer, %	1	1	1	1	1	35	30
<i>Fraxinus excelsior</i>	1	+	+	.	+	2	1
<i>Quercus robur</i>	.	.	.	+	+	.	.
<i>Viburnum opulus</i>	.	.	.	.	.	+	1
<i>Euonymus europea</i>	.	+	.	+	.	.	.
<i>Rhamnus cathartica</i>	+	.	.	.	+	.	.
<i>Frangula alnus</i>	+	.	.	.	.	.	.
<i>Tilia cordata</i>	.	.	.	+	.	1	3
<i>Padus avium</i>	.	.	.	.	.	4	3
<i>Corylus avellana</i>	.	.	.	.	.	30	25
<i>Sambucus nigra</i>	.	.	+	.	.	.	.
Lakstaugu stāva (E ₁) segums, % Cover of herb layer, %	99	99	100	1	100	50	60
<i>Fraxinus excelsior</i>	.	.	.	.	.	5	5
<i>Calamagrostis epigeios</i>	.	95	.	+	.	.	.
<i>Solanum dulcamara</i>	100	5	.	.	.	.	.
<i>Urtica dioica</i>	.	.	90	.	85	.	.
<i>Chamerion angustifolium</i>	+	.	20	.	15	.	.
<i>Epilobium hirsutum</i>	+	+	+	.	1	.	.
<i>Anthriscus sylvestris</i>	.	+	+	.	1	.	.
<i>Rubus idaeus</i>	.	+	+	.	+	.	.

Sala/ Isle Gads/ Year	Ābeļu sala/ isle		Egļu sala/ isle		Riekstu sala/ isle	
	2010	2017	2010	2017	2010	2017
<i>Lycopus europaeus</i>	+
<i>Agrostis tenuis</i>	.	+
<i>Phragmites australis</i>	.	.	+	.	.	.
<i>Eupatorium cannabinum</i>	.	.	+	.	.	.
<i>Hepatica nobilis</i>	15	12
<i>Poa nemoralis</i>	10	12
<i>Aegopodium podagraria</i>	12	8
<i>Dryopteris filix-mas</i>	3	0,5
<i>Convallaria majalis</i>	6	10
<i>Melica nutans</i>	6	2

* sugas projektīvais slēgums/segums ir mazāks par 1 % / *projective cover of species is < 1 %*.

Augtenes eitrofikācija un vides transformācija

Nozīmīgs augtenes eitrofikācijas rādītājs ir augiem pieejamo barības vielu nodrošinājuma līmenis augsnē. Augsnē bez augāja optimālo barības vielu līmeni parastajam osim un parastajai liepai vairāk nekā 10 reizes pārsniedz šādi elementi: fosfors > sērs > kalcijs > slāpekļis > cinks (ķīmiskie elementi sakārtoti to daudzuma samazināšanās secībā); kālija daudzums atkailinātā augsnē vairāk nekā piecas reizes pārsniedza augiem optimālo līmeni. Savukārt ar nātrēm aizaugušā augsnē augiem pārbagāts bija tikai fosfora, slāpekļa un kalcija saturs, optimāls – kālija, sēra un cinka, bet kā zems raksturojams magnija, dzelzs, mangāna un vara nodrošinājums.

Augsnes un augtenes kopumā Ābeļu un Egļu salās jūras kraukļu kolonijās ir hipereitroficējušās. Jūras kraukļu koloniju apdzīvoto teritoriju augtenēs, salīdzinot ar fona audzi, ir desmitiem reižu lielāks fosfora, slāpekļa, kālija, sēra, cinka un nātrija saturs, kas ar jūras kraukļu ekskrementiem akumulējas Ābeļu un Egļu salas augsnes virskārtā. Tikai nedaudz lielāks par kontroles vietā novērtēto jūras kraukļu kolonizēto salu augsnēs ir vara saturs. Savukārt magnija, dzelzs un mangāna koncentrācija jūras kraukļu ietekmēto salu augsnē ir līdzīga vai mazāka, salīdzinot ar fona audzi.

Pašlaik jūras kraukļu kolonijās ir ar fosforu visvairāk piesātinātās sauszemes augtenes Latvijā. Fosfora koncentrācija augsnes virskārtā jūras kraukļu kolonijās Ābeļu un Egļu salās ir ievērojami lielāka, salīdzinot, piemēram, ar ietekmētām, pārveidotām un piesārņotām pilsētvides augtenēm. Fosfora saturs putnu koloniju augsnēs 49,1 reizes pārsniedz fosfora saturu Rīgas pilsētas neofītajās ošlapu kļavas *Acer negundo* un 22,2 reizes – baltās robīnijas *Robinia pseudoacacia* augu sabiedrību augsnēs, kā arī 37,7 reizes Holandes liepas *Tilia x vulgaris* ielu apstādījumu augsnēs (Čekstere & Osvalde, 2013; Laiviņš & Čekstere, 2015). Fosfora savienojumi, paskābinoties videi, kļūst mazkustīgi, tāpēc jūras kraukļu kolonizētajā vidē veidojas savdabīgas fosfora bioģeokīmiskās barjeras.

Pagaidām ar barības vielām piesātinātajās augtenēs Ābeļu un Egļu salās nenotiek

kokaugu (izņemot melno plūškoku) atjaunošanās. Iespējams, kokaugu augšanu pašlaik traucē ne tikai barības vielu pārsātinājums augsnes virskārtā, bet arī augstzāļu, piemēram, lielās nātres konkurence.

Acīmredzot, pašlaik augstzāļu sabiedrības veidojas vietās, kur pēdējos gados ir ievērojami samazinājies putnu ekskrementu apjoms un augu barības elementi tiek intensīvāk iesaistīti vielu biogeoķīmiskajā apritē.

Jūras kraukļu kolonizētās Ābeļu un Egļu salu mežaudzes nepārtrauktas ķīmisko elementu ieneses un regulāras koku zaru aplaušanas dēļ ligzdošanas laikā desmit gados ir pilnībā pārmainījušās. Tās ir zaudējušas mežaudzēm raksturīgo telpisko kontinuitāti un stāvokumu, pilnībā ir nomainījusies augu sugu sastāvs. Platlapju mežaudzes ir degradējušās, to vietā veidojas augu augšanai nepiemērotas augtenes, neauglīgi klājumi ar fosforu, slāpekli, sēru un cinku pārsātinātu augteni. Vietās, kur nenotiek tik intensīva jūras kraukļu ekskrementu ienese un akumulēšanās augsnes virskārtā, ir izveidojušās pēc platības nelielas nitrofilas augu sugas – lielās nātres – saaudzes, bet krūmu stāvā ir sastopami atsevišķi melnā plūškoka indivīdi.

Pašlaik, jau iztālēm tuvojoties Ābeļu un Egļu salām, pretim slejas bezzaraino sausokņu grupas, koku stumbriem ir nolobījusies miza, to gaišie stumbri nedabiski, mazliet pat spocīgi, rindojas uz debesu fona, radot Latvijā pilnīgi jaunu, neraksturīgu un līdz šim neredzētu ainavu.

PATEICĪBA

Autori izsaka pateicību Jānim Bajinskim par dalību lauka pētījumos un laboratorijas darbos 2010. gadā.

LITERATŪRA

- Bajinskis, J., 2011. *Jūras kraukļu (Phalacrocorax carbo) koloniju ietekme uz Kaņiera ezera salu augsni un veģētāciju*. Bakalaura darbs. Rīga, Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte, 102 lpp.
- Bajinskis, J., Čekstere, G., un Laiviņš, M., 2011. Jūras kraukļu (*Phalacrocorax carbo*) koloniju ietekme uz Kaņiera ezera salu augsni. Grām: *Latvijas Universitātes 69. zinātniskā konference. Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne. Referātu tēzes*. Rīga, LU Akadēmiskais apgāds, 34.–35. lpp.
- Bregenballe, T., Engstrom, H., Knief, W., Van Eerden, M.R., Van Rijn, S., Lieckbusch, J., and Eskildsen, J., 2003. Development of the breeding population of Great Cormorants *Phalacrocorax carbo sinensis* in the Netherlands, Germany, Denmark, and Sweden during the 1990s. In: Keller, T.M., and Carss, D.N. (eds.) *Cormorants: Ecology and Managements at the Start of the 21s Century. Proceedings of the 5th International Conference on Cormorants in Freising, Germany, December 17–21, 2000*. *Die Vogelwelt* 124: 15–26.

- Čekstere, G., and Osvalde, G., 2013. A study of chemical characteristics of soil in relation to street trees status in Riga. *Urban Forestry & Urban Greening* 12: 69–87.
- Čekstere, G., Osvalde, A., and Laiviņš, M., 2016. Mineral nutrition of young ash in Latvia. *Proceeding of the Latvian Academy of Sciences. Sec. B* 70(3): 138–149.
- Gaginskaya, A.R., 1995. The cormorant *Phalacrocorax carbo* as a breeding species of the Leningrad region. *Russian Journal of Ornithology* 4(3/4): 93–96.
- Hobara, S., Koba, K., Osono, T., Tokuchi, N., Ishida, A., and Kameda, K., 2005. Nitrogen and phosphorus enrichment and balance in forest colonized by cormorants: Implications of the influence of soil adsorption. *Plant and Soil* 268: 89–100.
- Ishida, A., 1996. Effects of the common cormorant, *Phalacrocorax carbo*, on evergreen forest in two nest sites at Lake Biwa, Japan. *Ecological Research* 11: 193–200.
- Kolb, G.S., Jerling, L., Essenberg, C., Palmborg, C., and Hambäck, P.A., 2012. The impact of nesting cormorants on plant and arthropod diversity. *Ecography* 35: 726–740.
- Kolb, G.S., Palmborg, C., and Hambäck, P.A., 2013. Ecological stoichiometry and density responses of plant-arthropod communities on cormorant nesting islands. *PLoS One* 8: e61772.
- Kolb, G.S., Palmborg, C., Taylor, A.R., Bååth, E., and Hambäck, P.A., 2015. Effects of nesting cormorants (*Phalacrocorax carbo*) on soil chemistry, microbial communities and soil fauna. *Ecosystems* 18: 643.
- Laiviņš, M., 2002. Melnā plūškoka sabiedrības *Sambucetum nigrae* Oberd. 1967 Latvijā. *Mežzinātne* 11: 92–110.
- Laiviņš, M., un Čekstere, G., 2008. Kolonijās ligzdojošo zivju gārņu (*Ardea cinerea*) un jūraskraukļu (*Phalacrocorax carbo*) ietekme uz Latvijas ezera salu augu valsti un augsnēm. *Mežzinātne* 18: 74–84.
- Laiviņš, M., un Čekstere, G., 2015. Nemeža biotopu pārkrūmošanās Rīgā. II. *Robinia pseudoacacia* un *R. luxurians* izplatība, ekoloģija un augu sabiedrības. *Mežzinātne* 29: 6–34.
- Laiviņš, M., Glazkova, E., and Čekstere, G., 2017. Vegetation development in the cormorant colony on the Curonian Spit. In: Barševskis, A. (ed.) *9th International conference on biodiversity research. Book of Abstracts*. Daugavpils: Daugavpils University, p. 63.
- Ligeza, S., and Smal, H., 2003. Accumulation of nutrients in soils affected by perennial colonies of piscivorous birds with reference to biogeochemical cycles of elements. *Chemosphere* 52: 595–602.
- Lindeboom, H.J., 1984. The nitrogen pathway in a penguin rookery. *Ecology* 65(1): 269–277.
- Mizota, C., Noborio, K., and Mori, Y., 2012. The Great Cormorant (*Phalacrocorax carbo*) colony as a “hot spot” of nitrous oxide (N₂O) emission in central Japan. *Atmospheric Environment* 57: 29–34.
- Nollendorfs, V., 2004. *Rīgas apstādījumu monitorings pēc augsnes un lapu analīzēm*. Rokraksts. Salaspils: LU Bioloģijas institūts, 25 lpp.
- Rusanen, P., Mikkola-Roos, M., and Asanti, T., 2003. Current research and trends of Finland's Great Cormorant *Phalacrocorax carbo sinensis* population. In: Keller, T.M.,

- and Carss, D.N. (eds.) *Cormorants: Ecology and Managements at the Start of the 21s Century. Proceedings of the 5th International Conference on Cormorants in Freising, Germany, December 17–21, 2000. Die Vogelwelt* 124: 79–81.
- Samusenko, I., 2003. Recent development of the Great Cormorant *Phalacrocorax carbo* breeding population in Belarus. In: Keller, T.M., and Carss, D.N. (eds.) *Cormorants: Ecology and Managements at the Start of the 21st Century. Proceedings of the 5th International Conference on Cormorants in Freising, Germany, December 17–21, 2000. Die Vogelwelt* 124: 79–81.
- Strazds, M., 1989. Jaunumu apskats. *Putni Dabā* 2: 174–182.
- Strazds, M., un Celmiņš, A., 1987. Faunistikas jaunumi. *Putni Dabā* 1: 94–96.
- Strazds, M., un Ķuze, J., 2006. *Ķemeru Nacionālā parka putni*. Rīga: Jumava, 487 lpp.
- Глазкова, Е.А., и Глазков, П.Б., 2007. Таинственный архипелаг в Финском заливе. *Природа* 1: 55–66.
- Ринькис, Г.Я., Рамане, Х.К., и Куницкая, Т.А., 1981. *Методы анализа почв и растений*. Рига: 174 с.

HABITAT HIPEREUTROPHICATION IN GREAT CORMORANT
PHALACROCORAX CARBO COLONIES
IN THE ĀBEĻU AND EGĻU ISLES OF LAKE KAŅIERIS

Māris Laiviņš, Gunta Čekstere

Summary

Nowadays, Great Cormorants *Phalacrocorax carbo* are frequently nesting in colonies in trees next to water bodies or on isles in several lakes in Latvia. The first nests of Great Cormorant appeared in isles of Lake Kaņieris in 2005. Our study shows how the presence of the Great Cormorant colonies has affected the vegetation and soil chemical composition on the isles of Lake Kaņieris in a long term (2010–2017). To evaluate the impact of Great Cormorant colonies on soil and vegetation, the study was carried out on two isles (Ābeļu and Egļu) in Lake Kaņieris occupied by the Great Cormorant in July of 2010 and 2017. All isles are/were predominantly covered by forest vegetation. Two different sampling sites on each isle were set up: one of them representing a site without vegetation, and the other one – a site with vegetation. The Riekstu Isle in the same lake was selected to represent control conditions – natural habitat without the Great Cormorant colonies. In the sampling plots, the occurrence and cover of plant species in each vegetation layer was determined visually. Soil reaction (pHKCl), electrical conductivity, content of essential plant nutrients (N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn, Cu), as well as Na in 1 M HCl extraction were determined at two topsoil layers at 1–10 cm and 11–20 cm depth.

The results revealed that the forest stands of the Ābeļu and Egļu Isles have totally changed under continuous input of chemical elements from nutrient-rich guano during the last seven years. The forest stands have lost the typical spatial continuity and layering, the plant species composition has fully changed. The deciduous forest stands are totally degraded. The habitats with extremely high concentration of phosphorus, nitrogen, sulphur, zinc and other elements in soils are no longer suitable for growth of plants. In sites with less intensive input and accumulation of guano from the Great Cormorants in topsoil, development of nitrophilous plant communities, e.g. establishment of *Urtica dioica* at the herb layer and *Sambucus nigra* at the shrub layer was observed.

Key words: eutrophication, phosphorus, nitrogen, sulphur, zinc, lake isles, deciduous forest stands, Latvia.