

# LATVIJAS ZINĀTNIĒKU MŪSDIENU LEDĀJU PĒTĪJUMI: NOZĪME, SATURS UN LĪDZŠINĒJIE REZULTĀTI



**Kristaps Lamsters** ir Latvijas Universitātes (LU) Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātes (ĢZZF) asociētais profesors, Latvijas Kvartāra pētniecības asociācijas (LATQUA), Starptautiskās Kvartāra pētniecības savienības Latvijas nacionālās komitejas un Starptautiskās Kriosfēras zinātņu asociācijas Latvijas nacionālās komitejas prezidents, ieguvis ģeoloģijas doktora zinātnisko grādu (2015). LU ĢZZF docē glaciālo ģeoloģiju, Latvijas ģeoloģiju, kvartārģeoloģiju un ģeomorfoloģiju. Pētnieciskās intereses: mūsdienu ledāji, seno segledāju dinamika, veidojumi un nogulumi, Latvijas reljefs un ģeoloģiskie procesi. Latvijas polāro ekspedīciju organizators un dalībnieks (kopš 2014). Zinātniskā žurnāla *Baltica* redkolēģijas loceklis. Monogrāfijas *Mūsdienu ledāji* (2021) autors.



**Jānis Karušs** ir LU ĢZZF docents, Starptautiskās Ģeodēzijas un ģeofizikas apvienības Seismoloģijas un Zemes uzbūves fizikas asociācijas (IASPEI) Latvijas nacionālās komitejas pārstāvis, ieguvis ģeoloģijas doktora zinātnisko grādu (2015). Docē ģeofiziku, struktūrģeoloģiju, datubāzes un ģeoloģisko modelēšanu, radiolokāciju ģeoloģiskos pētījumos. Pētnieciskās intereses: mūsdienu ledāji, ģeofizika, ekonomiskā ģeoloģija, tektonika. Latvijas polāro ekspedīciju organizators un dalībnieks (kopš 2014).

**Raksturvārdi:** Arktika, Antarktika, ledāji, polārie reģioni, polārpētniecība, klimata pārmaiņas.

## Ievads

Mūsdienu globālie dati liecina, ka 20. gadsimta beigās, un it īpaši 21. gadsimtā, pasaules ledājiem un ledus vairogiem, kuri kopumā klāj aptuveni 10% sauszemes virsas, ir vērojams arvien straujāks to masas zudums un negatīva masas bilance<sup>1</sup>. Lielākā daļa ledus masas pasaulē ir ieslēgta Antarktīkas un Grenlandes ledus vairogos, kur ledāji aizņem attiecīgi 13,9 milj. un 1,7 milj. km<sup>2</sup> lielu platību<sup>2</sup>. Būtiska ledāju sarūkšana raksturīga Arktikai, kur

visspēcīgāk izpaužas pozitīvas atgriezeniskās saites mehānisms, veicinot arvien straujāku ledus kušanu. Lielāko daļu Arktikas ledāju masas zuduma nodrošina Grenlandes ledus vairogs, kura kopējā ledus masas bilance laika posmā no 1997. līdz 2002. gadam bija  $-44 \pm 35$  miljardi tonnu, savukārt no 2007. līdz 2012. gadam jau  $-75 \pm 28$  miljardi tonnu<sup>3</sup>. Kopumā no 1992. līdz 2018. gadam Grenlandes ledus vairogs zaudēja  $3902 \pm 342$  miljardus tonnu ledus masas, paaugstinot globālo jūras līmeni

<sup>1</sup> WGMS 2020.

<sup>2</sup> Benn, Evans 2010.

<sup>3</sup> The IMBIE Team 2020.

*Tabula. Mūsdienu ledāju zinātnisko ekspedīciju norises laiks un dalībnieki*

Gads	Vieta	Dalībnieki
2014	Islande	Kristaps Lamsters, Jānis Karušs, Dāvids Bērziņš
2015	Islande	Kristaps Lamsters, Jānis Karušs, Dāvids Bērziņš, Aleksandrs Vlads
2016	Grenlande	Kristaps Lamsters, Jānis Karušs, Māris Krievāns, Agnis Rečs, Reinis Pāvils
2017	Islande	Kristaps Lamsters, Jānis Karušs, Māris Krievāns, Agnis Rečs
2018	Antarktika	Kristaps Lamsters, Jānis Karušs, Māris Krievāns
2018	Islande	Kristaps Lamsters, Jānis Karušs, Māris Krievāns, Jurijs Ješkins
2019	Svalbāra	Kristaps Lamsters, Jānis Karušs, Pēteris Džeriņš, Ingus Pērkonis
2021	Svalbāra	Kristaps Lamsters, Jānis Karušs, Pēteris Džeriņš, Jurijs Ješkins

par  $10,8 \pm 0,9 \text{ mm}^4$ . Līdzīgā laika posmā no 1992. līdz 2017. gadam Antarktīkas ledus vairogi zaudēja  $2720 \pm 1390$  miljardu tonnu ledus, paaugstinot globālo jūras līmeni par  $7,6 \pm 3,9$  milimetriem<sup>5</sup>.

Lai noskaidrotu ledāju sarukšanas mehānismus un izstrādātu precīzas prognozes par to dinamiku nākotnē, zinātniekiem nepieciešams detalizēti izprast mūsdienu ledāju darbību un attīstības virzību, kā arī litosfēras, atmosfēras, hidrosfēras un kriosfēras procesu mijiedarbību. Ieguldījumu mūsdienu ledāju izpētē devuši arī LU zinātnieki, kuri no 2014. gada īsteno zinātniskās ekspedīcijas un veic pētījumus ledājos Arktikā un Antarktīkā. Pētījumu galvenais mērķis ir attīstīt polāro pētījumu jomu Latvijā, savukārt specifiskie pētniecības mērķi ir bijuši atšķirīgi katrā ekspedīcijā, un tie ietver ledāju biezuma, iekšējās struktūras, termiskās un noteces sistēmas, virsmas izmaiņu, gultnes topogrāfijas, kā arī ledāju un pieledāja teritorijas vides, ekoloģijas un piesārņojuma pētījumus.

### **Zinātnisko ekspedīciju norises vietas un dalībnieki**

Latvijā polārpētniecība līdz šim galvenokārt ir bijusi saistīta ar diviem izciliem polārpētniecīkiem – Ivaru Sili, kurš savu mūžu veltījis galvenokārt Grenlandes un tās dzīvās

dabas izzināšanai, un Leonīdu Slaucītāju (1899–1971), kurš 20. gadsimta 50. gados organizējis ģeofizikālos pētījumus trijās Argentīnas antarktiskajās ekspedīcijās<sup>6</sup>.

Kopš 2014. gada Latvijā polārpētniecības virzienu attīsta galvenokārt LU ĢZZF ģeologi, īstenojot zinātniskās ekspedīcijas uz Islandes, Grenlandes, Svalbāras arhipelāga (Špicbergenas) un Antarktīkas ledājiem (tabula). Pirmos pētījumus veica LU ĢZZF Ģeoloģijas nodaļas doktorantūras studenti K. Lamsters un J. Karušs, kā arī maģistrantūras students D. Bērziņš, ierakstot pirmos mērījumus ar ģeoradaru Hofsjokula ledus kupola izvadledājos Islandes centrālajā daļā. Viens no galvenajiem šo pētījumu uzdevumiem bija izvērtēt ģeoradara lietojamības iespējas ledāju pētījumos. Turpmākās ekspedīcijas līdz 2017. gadam norisinās Islandē un Rasela izvadledāja apkārtnē dienvidrietumu Grenlandē.

Savukārt 2018. gadā pirmo reizi tika organizēta latviešu zinātnieku ekspedīcija uz Antarktiku. Tā norisinājās Kristapa Lamstera pēcdoktorantūras projekta (ERAF) ietvaros ar LU fonda (mecenāts SIA *Mikrotīkls*), SIA *Ceļu būvniecības sabiedrības "Igate"* finansiālu atbalstu. Ekspedīcijā piedalījās Jānis Karušs, Kristaps Lamsters un Māris Krievāns. Tā tika īstenota sadarbībā ar Ukrainas

<sup>4</sup> The IMBIE Team 2020.

<sup>5</sup> Shepherd et al. 2018.

<sup>6</sup> Pieejams: <https://web.archive.org/web/20160305090328/http://foto.lu.lv/avize/19981999/ua13/leo.htm> (13.05.2021.).

Nacionālo Antarktīkas pētījumu centru, kas pārvalda akadēmiķa Vernadska polārstaciju Vilhelma arhipelāga Argentīnas salu grupas Galindesa salā.

2019. gadā zinātniskā ekspedīcija devās uz Špicbergenas salas rietumdaļas Kafieiras reģionu Svalbāras arhipelāgā, kur atrodas Nikolaja Kopernika Universitātes Toruņā polārstacija. Ekspedīcijā piedalījās ģeologi Kristaps Lamsters, Jānis Karušs un Pēteris Džeriņš, kā arī Pārtikas drošības, dzīvnieku veselības un vides zinātniskā institūta BIOR pētnieks Inģus Pērkons, kurš ievāca paraugus noturīgo organisko piesārņotāju izplatības analīzēm Svalbāras arhipelāgā. Tādējādi tika paplašināti polāro pētījumu virzieni Latvijā un aktualizētas arī problēmas, kas saistītas ar globālajām vides izmaiņām.

Nākamā ekspedīcija Covid-19 pandēmijas dēļ norisinājās tikai 2021. gadā, kad zinātnieki atgriezās Svalbāras arhipelāgā, lai izpētītu Valdemarbrēna ledāja virsmas un termiskās struktūras izmaiņas, kā arī veiktu jaunus mērījumus uz Irenabrēna ledāja. Šie pētījumi veikti Latvijas Zinātnes padomes projektā *Kafijoras reģiona (Ziemeļrietumu Svalbāra) ledāju termālā struktūra, noteces sistēmas uzbūve un virsmas izmaiņas* (līg. Nr. Izp-2020/2-0279). Pandēmijas dēļ uz 2022. gadu pārcelta plānotā ekspedīcija uz Kānākas ledus kupolu ZR Grenlandē, kurai finansējums piešķirts INTERACT (<https://eu-interact.org/>) projektā.

## Ledāju pētījumu metodika

Pirmajās ekspedīcijās uz Islandi pētījumi tika veikti, izmantojot tikai Latvijā ražotu ģeoradaru *Zond-12e* ar zemas frekvences antenu. Iekārta tika lietota, lai mērītu ledus biezumu, kā arī izpētītu iekšledāja struktūru. Pētījumos uzmanība pievērsta galvenokārt ledāja gultnē sastopamajām reljefa formām, kā arī iekšledāja ūdeņu noteces sistēmai un ledāju termiskajai struktūrai. Ekspedīcijā uz Grenlandi pirmo reizi tika izmantots bezpilota lidaparāts (*DJI Phantom 3 Advanced*) aerofotogrāfiju ieguvei. Ņemot vērā to, ka no bezpilota lidaparāta datiem izdevās izveidot augstas izšķirtspējas ledus virsmas augstuma (3D) modeļi, tie ir tikusi lietoti visās turpmākajās ekspedīcijās. Tādējādi ledāju pētījumos, izmantojot ģeoradaru (1. attēls) un bezpilota lidaparātus, iegūti dati, kas ļauj izveidot pētīto ledāju augstas precizitātes gultnes un virsmas modeļus un pilnvērtīgi raksturot ledāju ģeometriju un to zemledāja virsmas topogrāfiju. Papildus glacioloģiskiem pētījumiem kopš ekspedīcijas uz Grenlandi uzmanība tikusi pievērsta arī pieledāja teritorijām. Ekspedīciju laikā ievākti pieledāja teritorijās sastopamo nogulumu, augšņu, floras, faunas atlieku paraugi, kā arī paraugi no ledus virsas. Tie izmantoti, lai novērtētu dažādu sedimentācijas procesu ietekmi uz grunts graudu morfoloģiju, augsnes procesu attīstību ledājam pieguļošajā teritorijā, mikroorganismu daudzveidību, kā arī piesārņojumu.



1. attēls. Latvijas polārpētnieki Antarktīdā (A). No kreisās: Jānis Karušs, Māris Krievāns, Kristaps Lamsters. Mērījumi ar ģeoradaru uz Valdemarbrēna ledāja Svalbārā (B)

Foto: no autoru personiskā arhīva

## Ledāju pētījumu rezultāti

LU ĢZZF zinātnisko ekspedīciju uz mūsdienu ledājiem rezultāti šobrīd publicēti 12 zinātniskos rakstos, kas indeksēti *Scopus* datubāzē (no tiem 8 indeksēti arī *Web of Science* datubāzē), vairākos citos rakstu krājumos sadarbībā gan ar Latvijas, gan ārzemju vairāku dažāda profila zinātnisko institūciju pētniekiem<sup>7</sup>, kā arī monogrāfijā *Mūsdienu ledāji*<sup>8</sup>.

Islandes ekspedīcijās 2014. un 2015. gadā veikti radiolokācijas mērījumi uz Mūlajokula izvadledāja. Šis ledājs ir unikāls pasaules mērogā, jo pie tā sastopams mūsdienu lielākais zemledāja veidoto plūklinijas reljefa formu (drumlinu) lauks pasaulē<sup>9</sup>. LU ģeologu pētījumos drumlini atklāti arī zem Mūlajokula ledāja un noteikta to iespējamā zemledāja izplatības robeža<sup>10</sup>. Pētījumā pirmo reizi pasaulē tika identificēti drumlini zem mūsdienu ledājiem ziemeļu puslodē, kā arī raksturoti to morfoloģiskie parametri un saistība ar plaису sistēmām ledājā.

2016. gada Grenlandes ekspedīcijas pētījumu rezultātā izveidoti Grenlandes ledus vairoga Rasela izvadledāja ziemeļu daļas virsmas un gultnes reljefa modeļi, kā arī identificēts iespējama iekšledāja tunelis, pa kuru noplūst ledājuveņi no ledāja sprostezera katastrofālu plūdu laikā<sup>11</sup>. Sadarbībā ar LU ĢZZF paleoekoloģijas jomas speciālistu Normundu Stivriņu un Nikolaja Kopernika Universitātes Toruņā sedimentoloģi Editu Kaliņsku raksturots ledāja virsmā sastopamo izkusuma (kriokonīta) bedrišu minerālais un organiskais sastāvs, konstatējot mikroorganismu (zaļāļģu un ciānbaktēriju) daudzveidības un sfērisko izdedžu daļiņu koncentrācijas mainību ledāja virsmā<sup>12</sup>, kā arī analizējot kvarca graudu mikrotekstūras un to veidojošos aģentus<sup>13</sup>.

2017. gada Islandes ledāju pētījumu rezultāti iegūti sadarbībā ar E. Kaliņsku, un zinātniskajā publikācijā aktualizēts jautājums, vai glaciālā vide rada glaciālas izcelsmes kvarca graudus<sup>14</sup>. Pētījumi veikti arī sadarbībā ar vairāku atšķirīgu jomu zinātniekiem no LU ĢZZF, LU Mikrobioloģijas un biotehnoloģijas institūta un Latvijas Biomedicīnas pētījumu un studiju centra. Pētījumā raksturota mikroorganismu taksonomiskā un funkcionālā daudzveidība dažāda vecuma pieledāja ezeru nogulumos<sup>15</sup>, atklājot jaunas sakarības par mikroorganismu ekoloģiju.

2018. gadā īstenotas divas zinātniskās ekspedīcijas – uz Islandi un Antarktiku. Islandē izpētītas tās lielākā ledus kupola Vatnajokula izvadledāja Eijabakajokula virsmas struktūras un augstuma izmaiņas, termiskie apstākļi, biežums un zemledāja topogrāfija. Identificēts līdz 45 m dziļš, iegarens erozijas padziļinājums, kas veidojies daudzkārtīgu ledāja uzplūdu laikā<sup>16</sup>. Pētījumā arī pievērsta uzmanība ģeoradara datu interpretācijas problemātikai un radarogrammās novērojamās vāju atstarojumu zonas izcelsmei saistībā nevis ar auksta ledus klātbūtni, bet ar piezometrisko virsmu ledājā.

Antarktīkas ekspedīcijas rezultāti pirmo reizi ļāva raksturot Argentīnas salu ledus kupolu izplatību, biezumu, uzbūvi, virsmas un gultnes reljefu<sup>17</sup>. Pēc ekspedīcijas datiem izveidotas gan salu ortofotokartes un virsmas digitālie modeļi (2. attēls), kas brīvi pieejami jebkuriem zinātniekiem<sup>18</sup>, gan salu ledāju biezuma un zemledāja reljefa modeļi. Šie jaunie dati sniedz līdz šim nezināmu augstas detalizācijas informāciju par ledājiem, kuri uzskatāmi par klimata pārmaiņu indikatoriem Antarktīdas pussalas apkārtnē. Daļa ekspedīcijā iegūto paraugu joprojām tiek analizēti, savukārt Latvijas Biomedicīnas pētījumu un studiju centra pētnieks Ņikita Zrelovs ir veicis Antarktīdas augšņu analīzes un atklājis līdz šim nezināmus baktēriju vīrusus (bakteriofāģus). Sadarbībā ar antarktiskās ekspedīcijas

<sup>7</sup> Lamsters et al., 2016; Kaliņska-Nartiša et al., 2017a, b; Chernov et al. 2018a, b; Stivriņš et al. 2018; Karušs et al. 2019; Lamsters et al. 2019a, b; Lamsters et al. 2020a, b, c, d; Kaliņska et al. 2021.

<sup>8</sup> Lamsters 2021.

<sup>9</sup> Johnson et al. 2010.

<sup>10</sup> Lamsters et al. 2016.

<sup>11</sup> Lamsters et al. 2020a.

<sup>12</sup> Stivriņš et al. 2018.

<sup>13</sup> Kaliņska-Nartiša et al. 2017a, b.

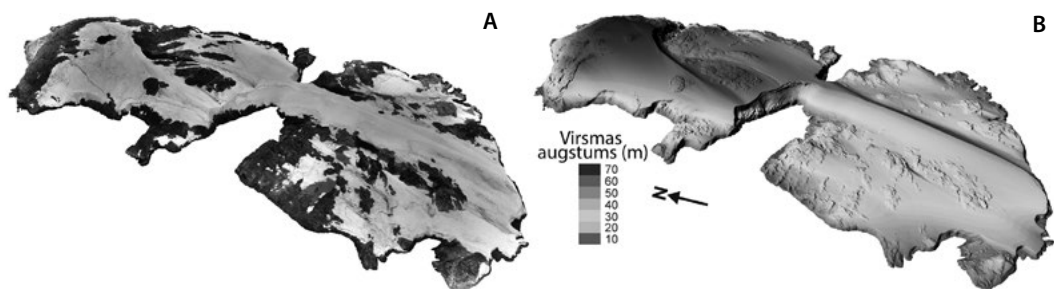
<sup>14</sup> Kaliņska et al. 2021.

<sup>15</sup> Lamsters et al. 2020d.

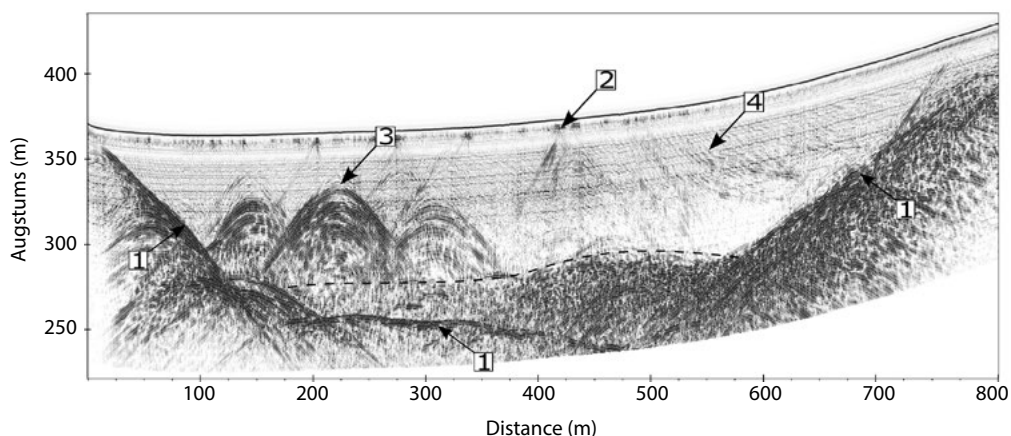
<sup>16</sup> Lamsters et al., 2020c.

<sup>17</sup> Chernov et al. 2018a, b; Karušs et al. 2019; Lamsters et al. 2019a, b, 2020b.

<sup>18</sup> Lamsters et al. 2020b.



2. attēls. A. Urugvajas salas Antarktīkā ortofoto. B. Salas virsmas modelis



3. attēls. Iekšējās uzbūves piemērs no Valdemarbrēna ledāja Svalbārā. Ar cipariem atzīmēti ģeoradara signāla atstarojumi no (1) ledāja gultnes, (2) plaisas, (3) iekšledāja tuneļa un (4) primārā ledus slāņojuma

komandu jaunatklātajam bakteriofāgam, to oficiāli reģistrējot, tika piešķirts nosaukums *Sporosarcina phage Lietuvens*.

2019. gadā septītajā zinātniskajā ekspedīcijā LU ģeologi izpēta Valdemarbrēna ledāja termisko struktūru un iekšledāja noteces sistēmas veidošanos Svalbārā (3. attēls). Pētījumos atklāta ledāja politermālā struktūra, kuru veido daļēji relikti silta ledus slānis ledāja akumulācijas zonas pamatnē, virs kura visā pārējā ledājā izplatīts auksts ledus. Nozīmīgākais atklājums saistās ar iekšledāja tuneļu izvietojuma rekonstrukciju un to potenciālā veidošanās mehānisma noskaidrošanu saistībā ar hidroplaisāšanu ledājā. Ekspedīcijas rezultāti pieņemti publicēšanai Starptautiskās Glacioloģijas savienības žurnālā *Journal of Glaciology*.

2021. gada ekspedīcijas uz Svalbāru zinātniskie dati vēl ir apstrādes sākumposmā, bet paredzams, ka tie sniegs jaunas zināšanas par vairāku Arktikas kalnu ieleju ledāju virsmas un termiskās struktūras izmaiņām, kas mūsdienās norisinās sevišķi strauji.

## Nobeigums

Mūsdienu klimata un aizvien straujāku apkārtējās vides pārmaiņu kontekstā palielinās detalizētu mūsdienu ledāju pētījumu nepieciešamība un nozīmība. Kopš 2014. gada ledāju pētījumus Arktikā un Antarktīkā īsteno arī LU ĢZZF zinātnieki sadarbībā ar vairākām zinātniskajām institūcijām Latvijā un ārzemēs. Pētījumos izstrādāta metodika,

lai veiktu augstas precizitātes ģeofizikālos mērījumus ledājos un iegūtu aerofotogrāfijas no bezpilota gaisa kuģiem. No iegūtajiem datiem un attēliem tiek izveidoti ledāju virsmas, ledu biezuma un zemledāja reljefa augstuma modeļi. Pētījumu rezultāti ļauj identificēt aukstus, siltus un politermālus ledājus, izvērtēt to biezumu, iekšējo struktūru, noteces sistēmu, termikas, virsmas augstuma un malas stāvokļa atšķirības un izmaiņas, kas ir vieni no būtiskākajiem faktoriem ledāju dinamikas

izpratnē. Mūsdienu ledāju pētījumi zinātniekiem ļauj labāk izprast arī seno ledāju darbību Latvijas teritorijā.

Lai turpmāk attīstītu polāro pētījumu jomu Latvijā, nepieciešams mērķtiecīgs valsts atbalsts ilglaicīgai pētījumu programmai. Lai aizstāvētu savas intereses un iekļautos globāli nozīmīgu jautājumu risināšanā un pētniecībā, Latvijai ieteicams pievienoties Antarktīkas Līguma sistēmai un Arktikas padomei novērotājvalsts statusā.

## VĒRES

- Benn, D. I.; Evans, D. J. A. (2010) *Glaciers and glaciation*. 2nd. ed. London : Hodder Education.
- Chernov, A.; Karušs, J.; Lamsters, K.; Krievāns, M.; Otruba, Y. (2018a) First results of glacier monitoring on Woosle Hill (Galindez Island, the Argentine Islands, Antarctica) for the period April 2017–August 2018. *12th International Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*.
- Chernov, A.; Lamsters, K.; Karušs, J.; Krievāns, M.; Otruba, Yu. (2018b) A Brief Review of Ground Penetrating Radar Investigation Results of Ice Caps on Galindez, Winter and Skua Islands (Wilhelm Archipelago, Antarctica) for the period April 2017–January 2019. *Ukrainian Antarctic Journal*, 1, 17, 40–47.
- ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2, 757–763.
- Johnson, M. D.; Schomacker, A.; Benediktsson, Í. Ö.; Geiger, A. J.; Ferguson, A.; Ingólfsson, Ó. (2010) Active drumlin field revealed at the margin of Múlajökull, Iceland: a surge-type glacier. *Geology*, 38, 10, 943–946.
- Kalińska-Nartiša, E.; Lamsters, K.; Karušs, J.; Krievāns, M.; Rečs, A.; Meija, R. (2017a) Fine-grained quartz from cryoconite holes of the Russell Glacier, southwest Greenland – a scanning electron microscopy study. *Baltica*, 30, 2, 63–73.
- Kalińska-Nartiša, E.; Lamsters, K.; Karušs, J.; Krievāns, M.; Rečs, A.; Meija, R. (2017b) Quartz grain features in modern glacial and proglacial environments: A microscopic study from the Russell Glacier, southwest Greenland. *Polish Polar Research*, 38, 3, 265–289.
- Kalińska, E.; Lamsters, K.; Karušs, J.; Krievāns, M.; Rečs, A.; Ješkins, J. (2021) Does glacial environment produce glacial mineral grains? Pro-and supra-glacial Icelandic sediments in microtextural study. *Quaternary International*. doi.org/10.1016/j.quaint.2021.03.029.
- Karušs, J.; Lamsters, K.; Chernov, A.; Krievāns, M.; Ješkins, J. (2019) Subglacial topography and thickness of ice caps on the Argentine Islands. *Antarctic Science*, 31, 6, 332–334.
- Lamsters, K.; Karušs, J.; Rečs, A.; Bērziņš, D. (2016) Detailed subglacial topography and drumlins at the marginal zone of Múlajökull outlet glacier, central Iceland: evidence from low frequency GPR data. *Polar Science*, 10, 4, 470–475.
- Lamsters, K.; Krievāns, M.; Karušs, J. (2019a) Argentīnas salu (Vilhelma arhipelāgs, Antarktīka) ledu kupolu ģeofizikālie pētījumi. Ījabs, I. (red.) *Perpetuum mobile 2019: Latvijas Universitātes fonda mecenātu atbalstīto pētnieku zinātniskais rakstu krājums*. Rīga : LU Akadēmiskais apgāds.
- Lamsters, K.; Karušs, J.; Krievāns, M.; Ješkins, J. (2019b) Application of unmanned aerial vehicles for glacier research in the Arctic and Antarctica. *Environment. Technology. Resources: Proceedings of the 12th International Scientific and Practical Conference, I*. Rezekne : Rezekne Academy of Technologies 1, 131–135.
- Lamsters, K.; Karušs, J.; Krievāns, M.; Ješkins, J. (2020b) High-resolution orthophoto map and digital surface models of the largest Argentine Islands (the Antarctic) from unmanned aerial vehicle photogrammetry. *Journal of Maps*, 16, 2, 335–347.
- Lamsters, K.; Karušs, J.; Krievāns, M.; Ješkins, J. (2020c) The thermal structure, subglacial topography and surface structures of the NE outlet of Eyjabakkajökull, east Iceland. *Polar Science*, 26, 100566, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S187396522030075X?via%3Dihub>

- Lamsters, K.; Ustinova, M.; Birzniece, L.; Silamiķelis, I.; Gaidelene, J.; Karušs, J.; Krievāns, M.; Kasparinskis, R.; Fridmanis, D.; Muter, O. (2020d) Bacterial and archaeal community structure in benthic sediments from glacial lakes at the Múlajökull Glacier, central Iceland. *Polar Biology*, 43, 12, 2085–2099.
- Lamsters, K. (2021) *Mūsdienu ledāji*. Rīga : LU Akadēmiskais apgāds.
- Shepherd, A.; Ivins, E.; Rignot, E.; Smith, B.; Van Den Broeke, M.; Velicogna, I.; Whitehouse, P.; Briggs, K.; Joughin, I.; Krinner, G.; Nowicki, S. (2018) Mass balance of the Antarctic Ice Sheet from 1992 to 2017. *Nature*, 558, 219–222.
- Stivrins, N.; Lamsters, K.; Karušs, J.; Krievāns, M.; Rečs, A. (2018) Spheroidal carbonaceous particles in cryoconite sediment on the Russell glacier, Southwest Greenland. *Baltica*, 31, 2, 115–124.
- The IMBIE Team (2020) Mass balance of the Greenland Ice Sheet from 1992 to 2018. *Nature*, 579, 233–239.
- WGMS (2020, updated, and earlier reports). Global Glacier Change Bulletin No. 3 (2016–2017). Zemp, M.; Gärtner-Roer, I.; Nussbaumer, S. U.; Bannwart, J.; Rastner, P.; Paul, F.; Hoelzle, M. (eds.) *ISC(WDS)/IUGG(IACS)/UNEP/UNESCO/WMO*. Zurich : World Glacier Monitoring Service.