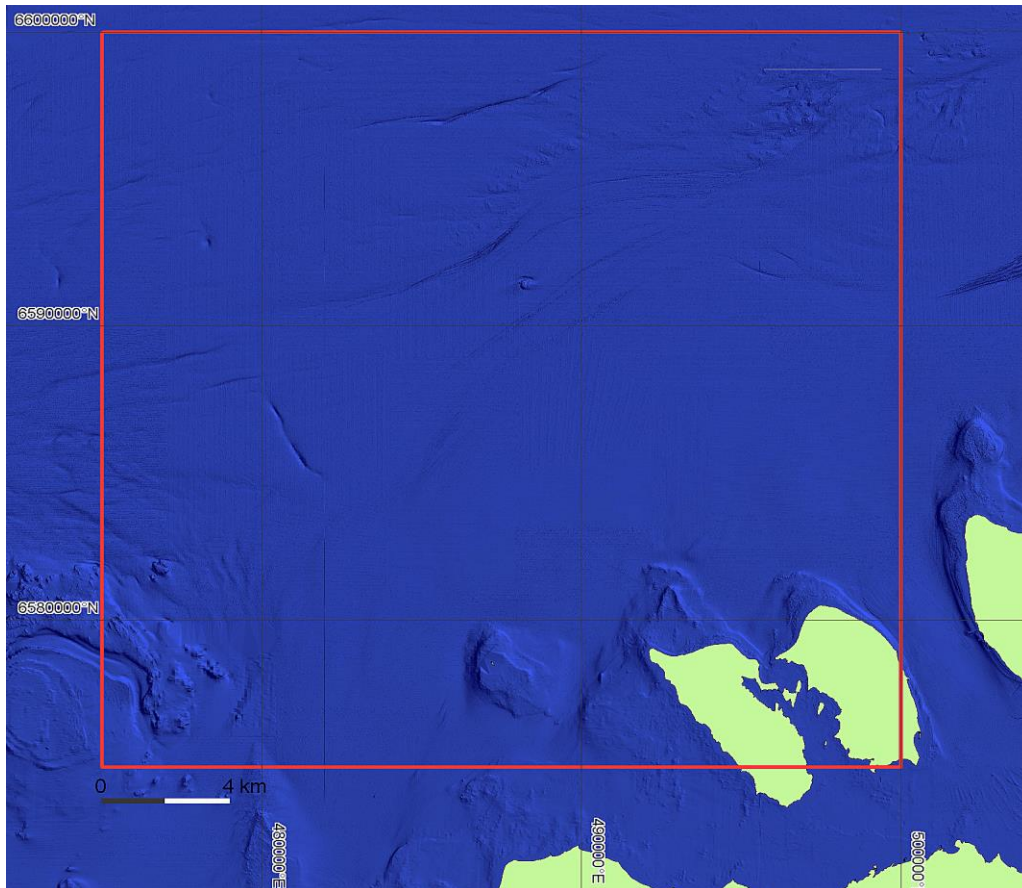




Kalle Suuroja, Kuldev Ploom, Katrin Kaljuläte,
Eriina Morgen, Sten Suuroja

**PAKRI (6244) KAARDILEHE MEREPÕHJA TÄIENDAVALD
GEOLOOGILIS-GEOFÜÜSIKALISED UURINGUD**



Eesti Geoloogiakeskus
Kaardistamise osakond
Geofüüsika, mere- ja keskkonnageoloogia osakond

Kalle Suuroja
Kuldev Ploom
Katrín Kaljuläte
Eriina Morgen
Sten Suuroja

**PAKRI (6244) KAARDILEHE MEREPÕHJA TÄIENDAVALD
GEOLOOGILIS-GEOFÜÜSIKALISED UURINGUD**

Aruanne

Tallinn, 2013

Esikaanel: Pakri kaardilehe merepõhja varjutatud reljeefi kaart

Eesti Geoloogiakeskus, 2013

Kadaka tee 82

Tallinn 12618

Annotatsioon

Kalle Suuroja, Kuldev Ploom, Katrin Kaljuläte, Eriina Morgen, Sten Suuroja. Pakri (6244) kaardilehe merepõhja täiendavad geoloogilis-geofüüsikalised uuringud. Eesti Geoloogiakeskus, kaardistamise ning geofüüsika, mere- ja keskkonnageoloogia osakond. Tallinn, 2013. Tekst 30 lk, 2 tabelit, 14 joonist (Eesti Geoloogiakeskus, Eesti Maa-amet).

Käesolev kokkuvõte põhineb valdavalt aastatel 1984–2013 Pakri kaardilehe ja sellest lääne poole jääval akvatooriumiosal läbi viidud arvukatel geoloogilis-geofüüsikalistel uuringutel. Konkreetselt Pakri lehe kaardistamise tarvis uuriti akvatooriumit geofüüsikaliste meetoditega (kõrgsageduslik seismiline pidevsondeerimine Chirp tüüpi profilaatori ja külgvaate sonariga) 2012. aasta 2.–5. oktoobrini Tallinna Tehnikaülikooli uurimislaeval „Salme”. 2013. aasta 28.–30. juunini tehti väikelaeval merepõhja sondeerimist, põhjaproovide võtmist haardkopaga, merepõhja sondeerimist Väike-Pakri ja Suur-Pakri vahelises väinas ja sukeldumisi Pakri saarte ümbruses. Uuringuid tehti Eesti Veeteede Ametilt selle tarvis saadud kõrgresolutsioonilise merepõhja reljeefi kaardi alusel. Tööde kompleksi kuulus ka 2012. aasta ekspeditsiooni käigus tehtud seismoakustiliste pidevsondeerimise profiilide dešifreerimine. Kõik need materjalid on leidnud kasutamist 2013. aastal valminud pinnakatte kaardi koostamisel.

Märksõnad: Pakri saared, Neugrundi madalik, Neugrundi meteoriidikraater, Krassi saar, Krässgrundi madalik, aluskord, aluspõhi, kvaternaarisetted, geomorfoloogia, põhjasetted, kristalne aluskord, seismoakustiline pidevprofileerimine (Chirp), külgvaate sonar, seismiliste lainete levimiskiirus.

Sisukord

SISSEJUHATUS	5
1. ÜLEVAADE UURITAVA ALA MEREPÕHJAST	5
2. UURITUS	21
3. TÖÖDE METOODIKAST	24
4. ALA GEOLOOGILINE ISELOOMUSTUS	25
4.1. Aluskord.....	25
4.2. Aluspõhi	26
4.3. Pinnakate.....	28
KOKKUVÕTE	28
KASUTATUD MATERJALID	29

SISSEJUHATUS

Käesolevas aruandes on leidnud kajastamist Pakri kaardilehe piires pikemal perioodil (aastad 1984–2013) tehtud merepõhja geoloogilis-geofüüsikalised uuringud. Põhiosa andmestikust pärineb aastatel 1984–2010 läbi viidud geoloogilis-geofüüsikalistel uuringutel. Kuid oma osa on ka vahetult kaardistamise käigus 2012. aasta 2.–5. oktoobrini Tallinna Tehnikaülikooli uurimislaeval „Salme” ja 2013. aasta 28.–30. juunini väikelaeval tehtud uuringutel. Neist esimese käigus sondeeriti merepõhja Pakri kaardilehe piires üheaegselt seismilise pidevsondeerimise Chirp tüüpi profilaatori ja külgvaate sonariga ja seda 100 km ulatuses. Uuringute hea taseme tagas Eesti Veeteede Ametilt saadud lehvik-kajaloodiga (inglise *multibeam echosounder*) tehtud kõrgresolutsiooniline merepõhja varjutatud reljeefi kaart, mis hõlmas suurt osa akvatooriumist ning võimaldas operatiivselt suunata profile, et välja selgitada merepõhja reljeefis ilmnenu probleemsete struktuurielementide olemus.

Neisse uuringutesse olid kaasatud merepõhja geofüüsikaliste uuringute tippspetsialistid Rootsist (Tom Floden Rootsist Stockholmi ülikoolist) ja Soomest (Meridata Finland Ltd) koos nende aparatuuri (külgvaate sonar Meridata Finland Ltd) ja tarkvaraga.

2013. aasta juunis tehtud ekspeditsiooni käigus võeti merepõhjast proove (tabel 2.1, 2.2) Pakri saarte ümbruse madalmerest nii haardekopa kui puuriga. Sukelduti mõningate huvitavamate struktuurielementide (Neugrundi meteoriidikraater, Krassi saar, Suur-Pakri konks) piirkonnas. Tööde kompleksi kuulus ka 2012. aasta ekspeditsiooni käigus tehtud seismoakustilise pidevsondeerimise profiilide dešifreerimine. Kõik need materjalid on leidnud kasutamist ka käesoleva töö käigus valminud pinnakatte kaardi koostamisel ja selle aasta lõpus valmiva seletuskirja juures.

1. ÜLEVAADE UURITAVA ALA MEREPOHJAST

Eesti baaskaardi Pakri (6244) leht asub Loode-Eestis Soome lahe värvasuul (Soome lahe ja Läänemere piir kulgeb üle Osmussaare Hanko neemeni) hõlmates ca 605 km² ulatuses akvatooriumi Eesti Vabariigi territoriaalvetes.

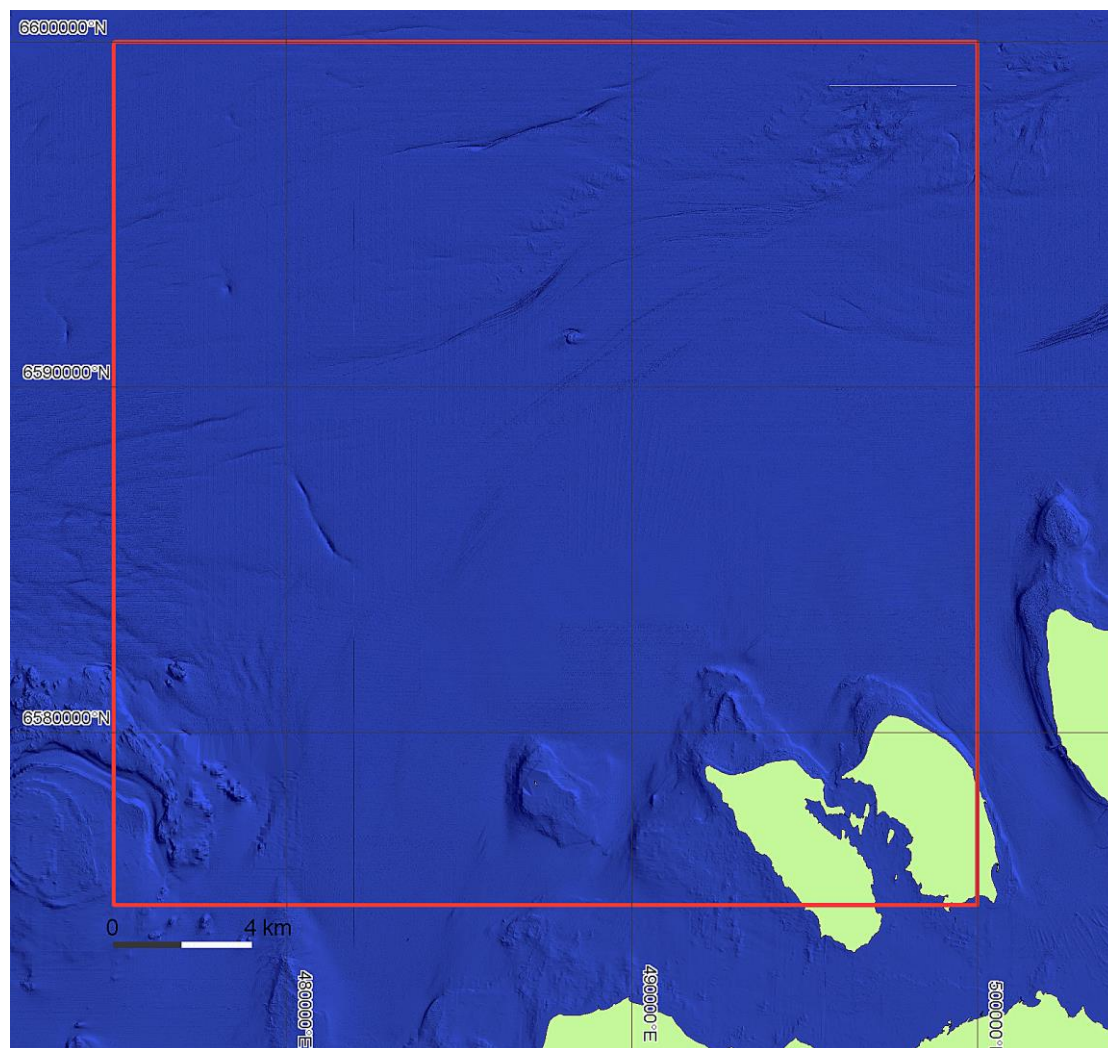
Merepõhja sügavus kaardilehe akvatooriumil ulatub ligi 100 meetrini ja seda Neugrundi meteoriidikraatrist põhja poole jääval alal. Neugrundi madaliku kohal laskub merepõhi astmeliselt ida suunas 15–20 meetrini, et siis 200–500 m laiuse ringsüviku kohal laskuda kuni 70 meetrini. Sügavuste diferentseeritus on eriti suur Neugrundi meteoriidikraatri ringvalli kirdenõlval, kus merepõhi kerkib 80–90 m meetri sügavusest merepõhjast kuni 60 meetrit kõrgemale.

Krässgrundi madaliku lael, millel omakorda asub 0,6 ha suurune paeklibust Krassi saar, on vett alla 2 meetri. Krassi saarest läänes laskub rannanõlv paarisaja meetriga kuni 50 meetrit. Lisaks sellele on paeplatoo äärel kuni 10 m kõrgune ahang. Teistes suundades laskub Krassi saare rannanõlv laugemalt. Krässgrundi madaliku ja Suur-Pakri saare vahelt kulgeb läbi umbes 1 km laiune Krässgrundi mattunud ürgorg. Merepõhja reljeefis eristub kuni 70 m sügavune mattunud ürgorg 20–30 m sügavuse ja kuni 5 km pikkuse laugenõlvalise nõona.

Üle kaardilehe keskosa kulgeb kirde-edela sihiliselt ja 5–6 km laiuselt laugeperveline voolunõva, mille piires merepõhja sügavus on 80–100 m.

Krassi saarest umbes 13 km põhja pool, eelmainitud voolunõva keskosas, kerkib merepõhjast, mis on siinkohal kuni 90 m sügav, kuni 30 m kõrgemale Krassi “torn” ehk umbes paarisaja meetrise läbimõõduga ja aluskorra pinnalt kuni 50 meetrit kõrgemale tõusev kristalse aluskorra kivimitest küngas.

Keskse voolunõva lõunaserval, joonel, kus Ediacara liivakivid-aleuoliidid katavad kristalse aluskorra kivimeid, on kümnekonna meetri kõrgune lauge mattunud astang. Nii selle, kui ka mitmete teiste laugenõlvaliste astangute jalamil, kohtades, kus astangujoon suunda muudab, on merepõhja mudalasundisse lõikunud 5–10 m sügavused mõnekümne meetri laiused voolunõvad. Nende kujundajaks on olnud ilmselt põhjahoovused.



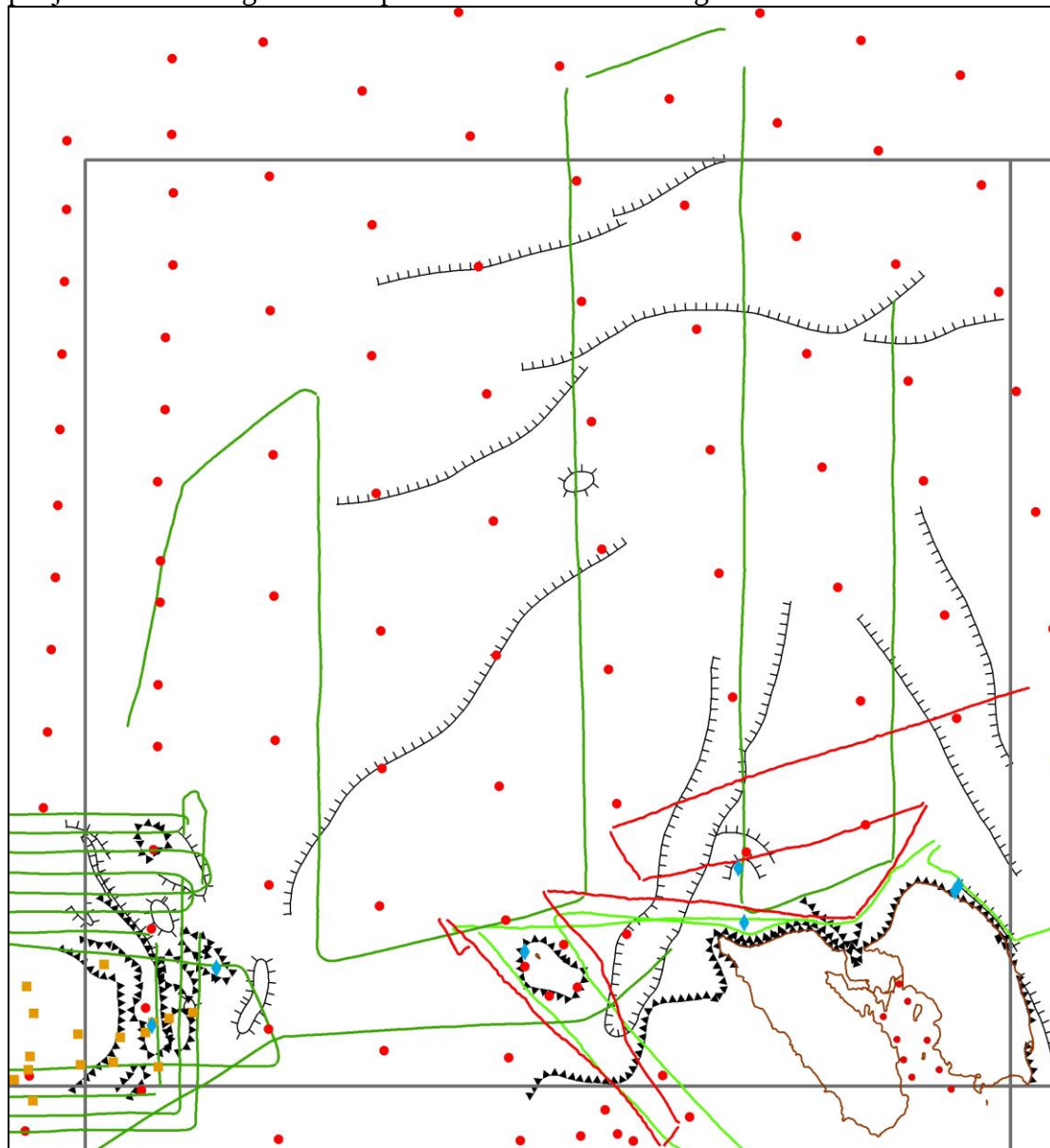
Joonis 1. Pakri baaskaardilehe piirid (punane joon) merepõhja sügavuste varjutatud reljeefil (andmed Eesti Veeteede Amet).

Ala põhjaosas, kristalse aluskorra kivimite avamusalal, kulgeb enam-vähem ida-lääne sihiliselt lauge astang, millega merepõhi kerkib kuni 15 meetrit ehk 95-lt 80 meetrini.

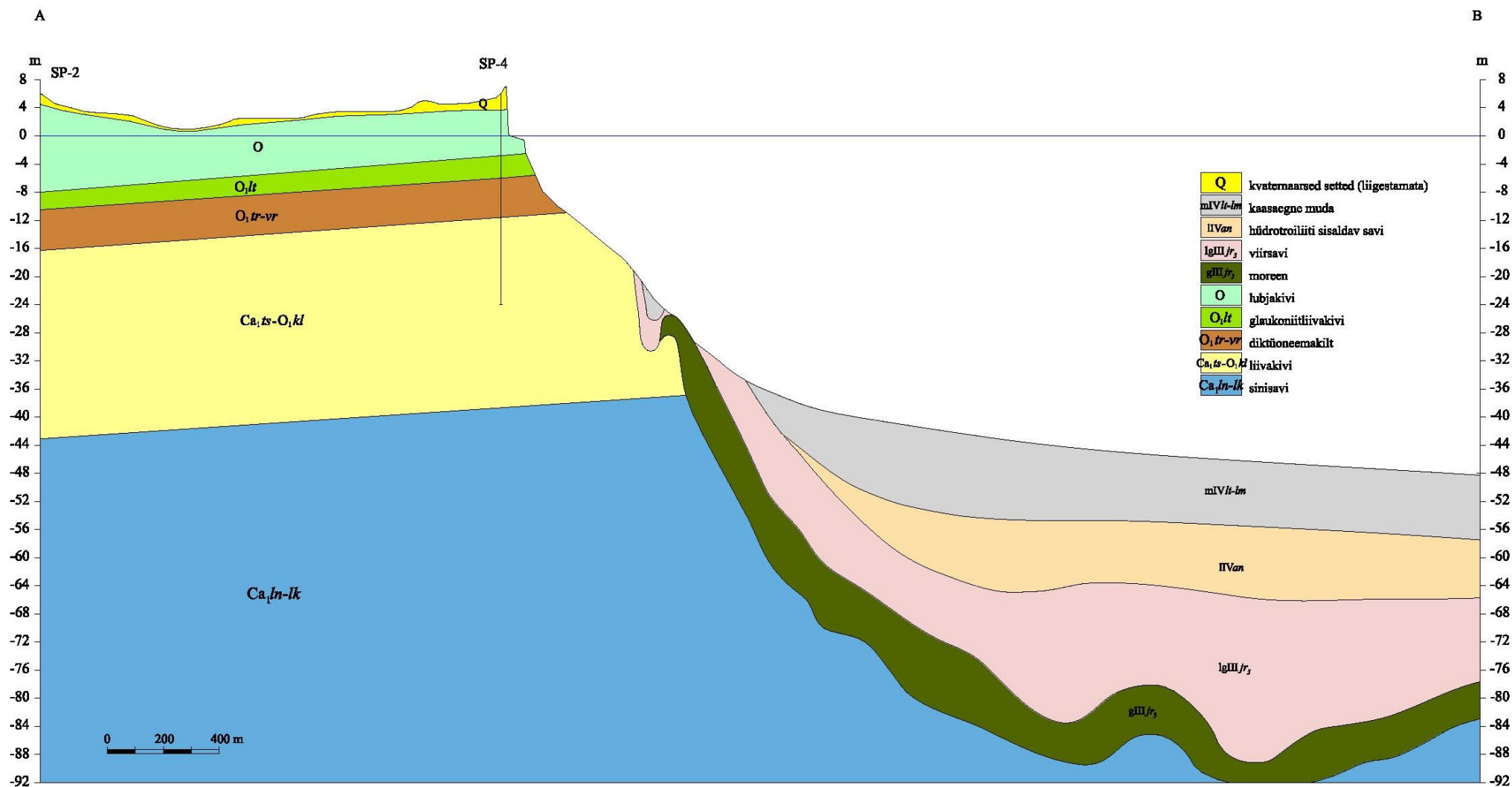
Pakri kaardilehe kaguosas eraldavad Krässgrundi ja Pakri mattunud orud umbes 50 m sügavusest merepõhjast kuni 9 km laiuse ja 7 km loodesse enduva kolmeosalise Pakri saarte paeplatoo. Sellel asuvad ka Suur- ja Väike-Pakri saar. Pakri saarte paeplatoo madaldub lääne suunas Väike-Pakri (laius ca 2,5 km) keskmiselt 6 m-lt ümp, Suure-Pakri (laius ca 1,5 km) keskmiselt 3 m ümp kuni Kolviku madaliku

(laius ca 1,5 km) -5 m-ni amp. Paeplatoo kõrgemaid osi eraldavad üksteisest kuni 1,5 km laiused ja kuni 5 m sügavused väinad. Kui Väike- ja Suur-Pakri vaheline väin on hästi välja kujunenud, siis Väike-Pakri ja Kolviku madaliku vaheline veaalune väin seda ei ole.

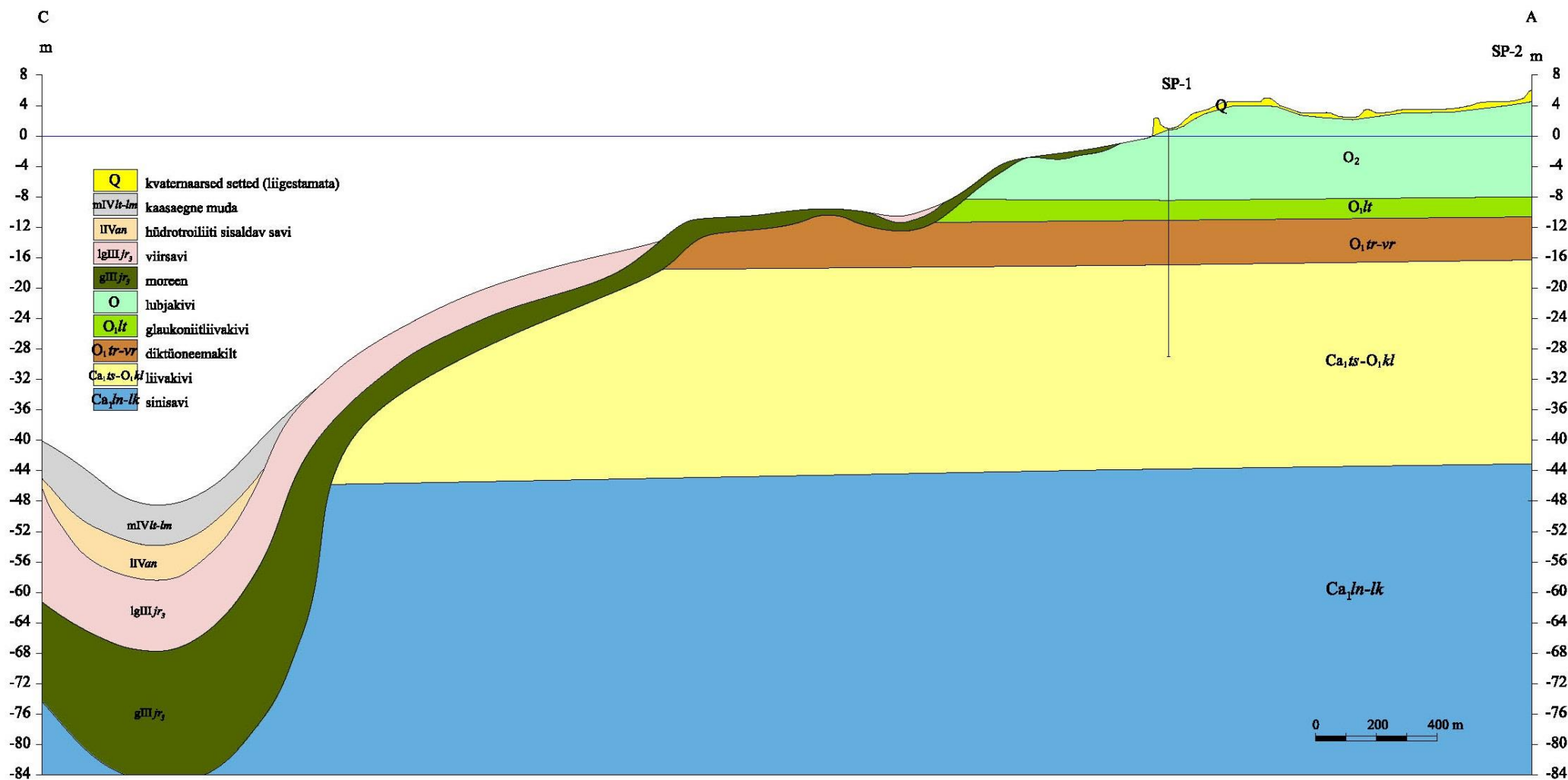
Suur-Pakri põhjanõlval kerkib umbes 20 m sügavuselt liivakiviterrassilt kümnekond meetrit omapärane hobuseraua kujuline kuni 1 km pikkuste harudega vallitaoline moodustus – nn Suur-Pakri „konks“. Sukeldumise ja dragimise tulemuste põhjal on ilmselt tegu liivakiviplatool asuva moreenvalliga.



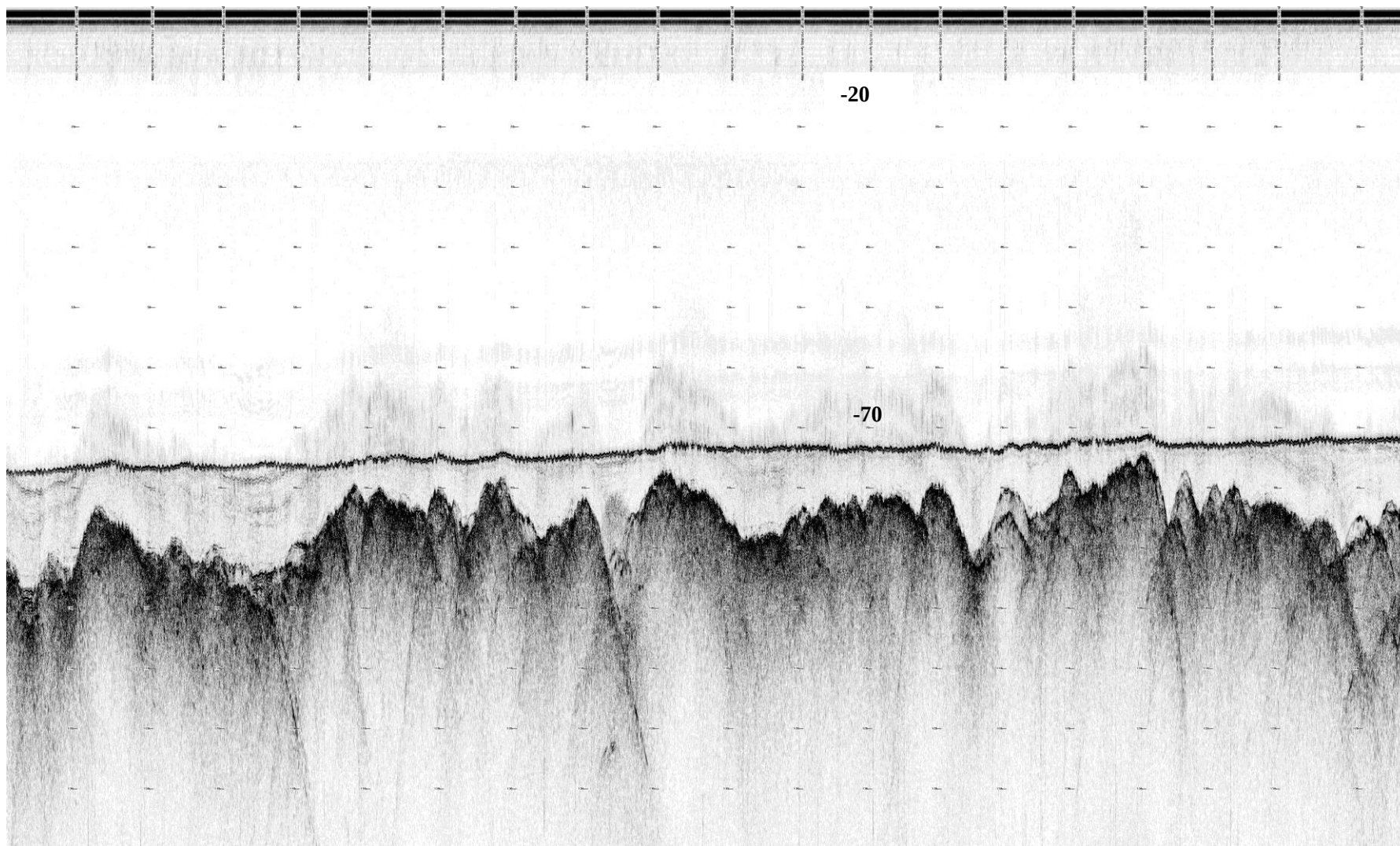
Joonis 2. Pakri kaardilehe akvatooriumil tehtud uurimistöid. Punased punktid (suured) – raskustoru; punased punktid (väikesed) – põhja sondeerimine puuriga; pruunid ruudud – proovimine haardekopaga; sinised rombid – sukeldumised; rohelised jooned – Chirp pidevsondeerimise profiilid; punased jooned – õhukahuri profiilid.



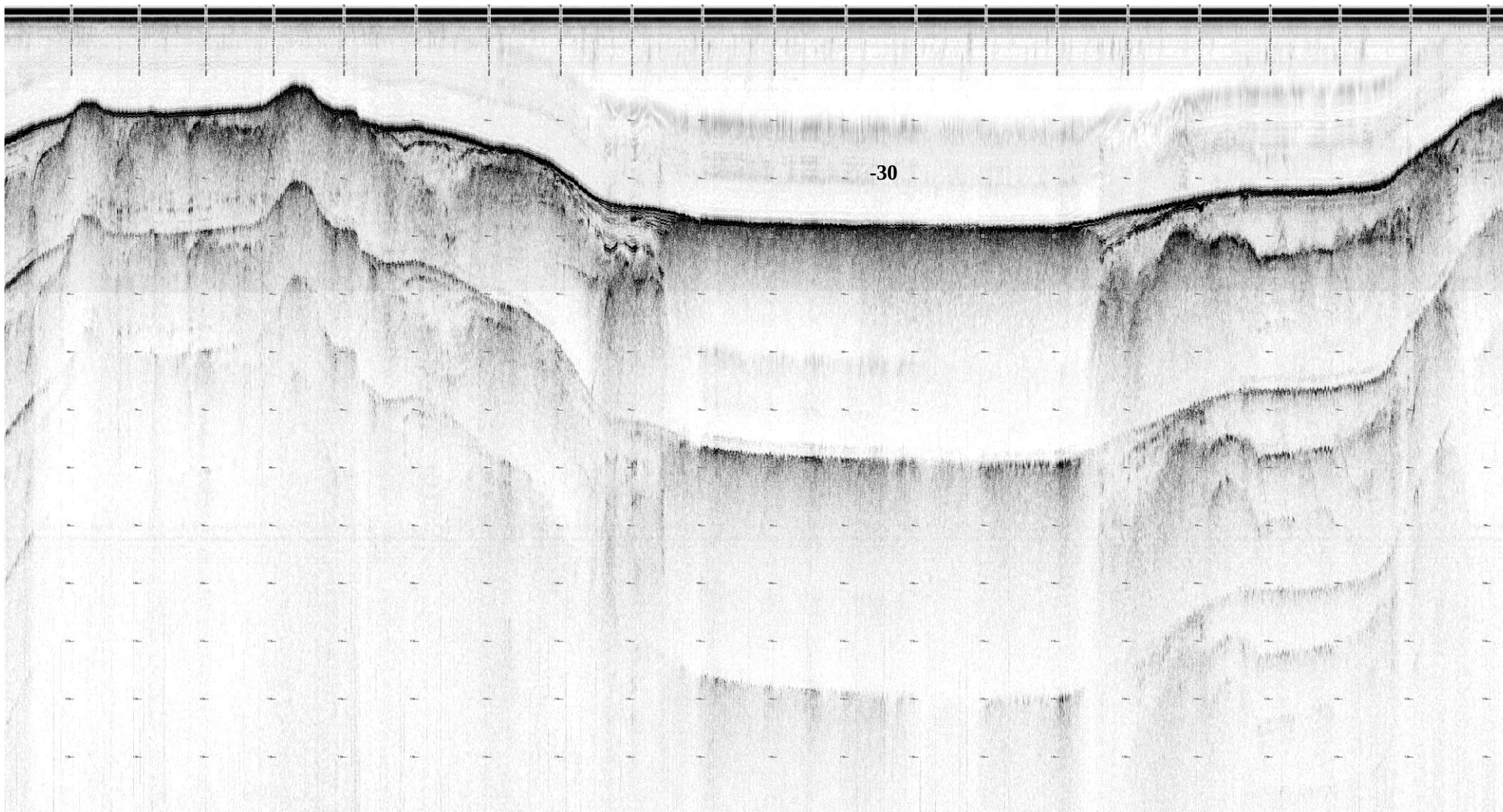
Joonis 3. Suur-Pakri rannanõlva lõuna–põhja suunaline geoloogiline läbilõige A–B (Suuroja jt 2010b).



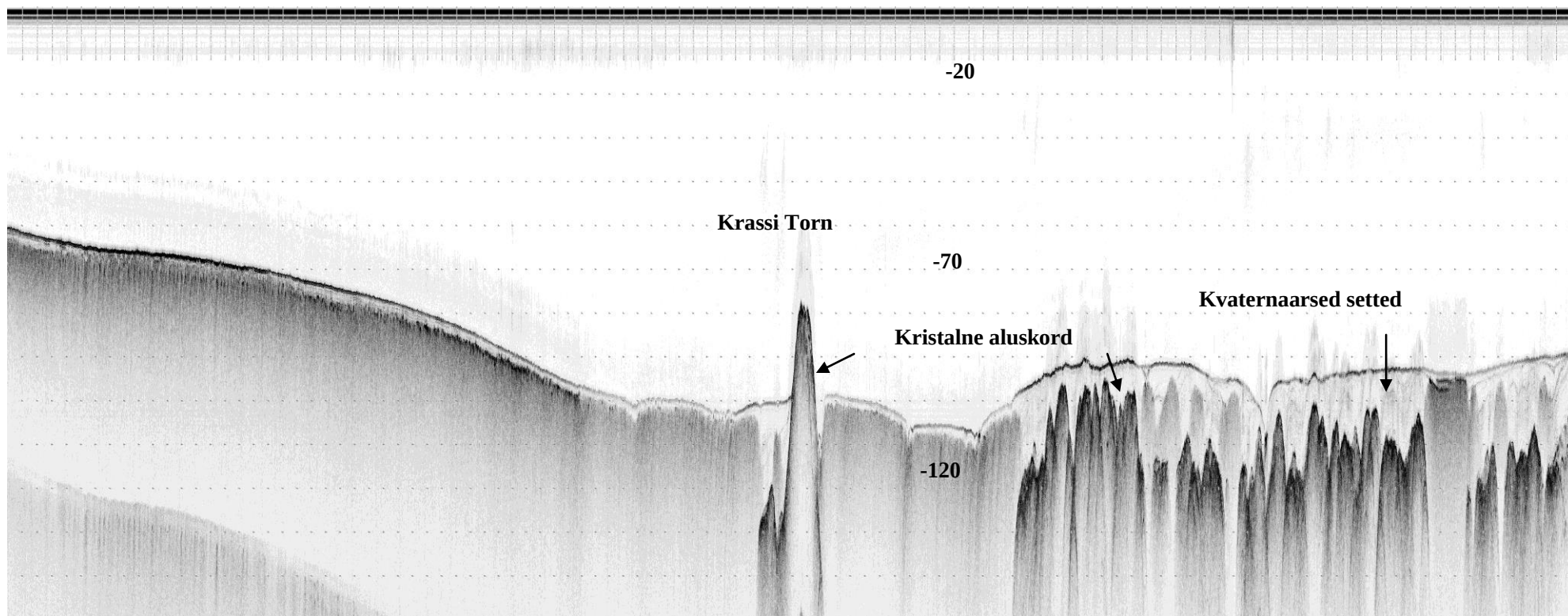
Joonis 4. Suur-Pakri rannanõlva lääne–ida suunaline geoloogiline läbilõige C–A (Suuroja jt 2010b).



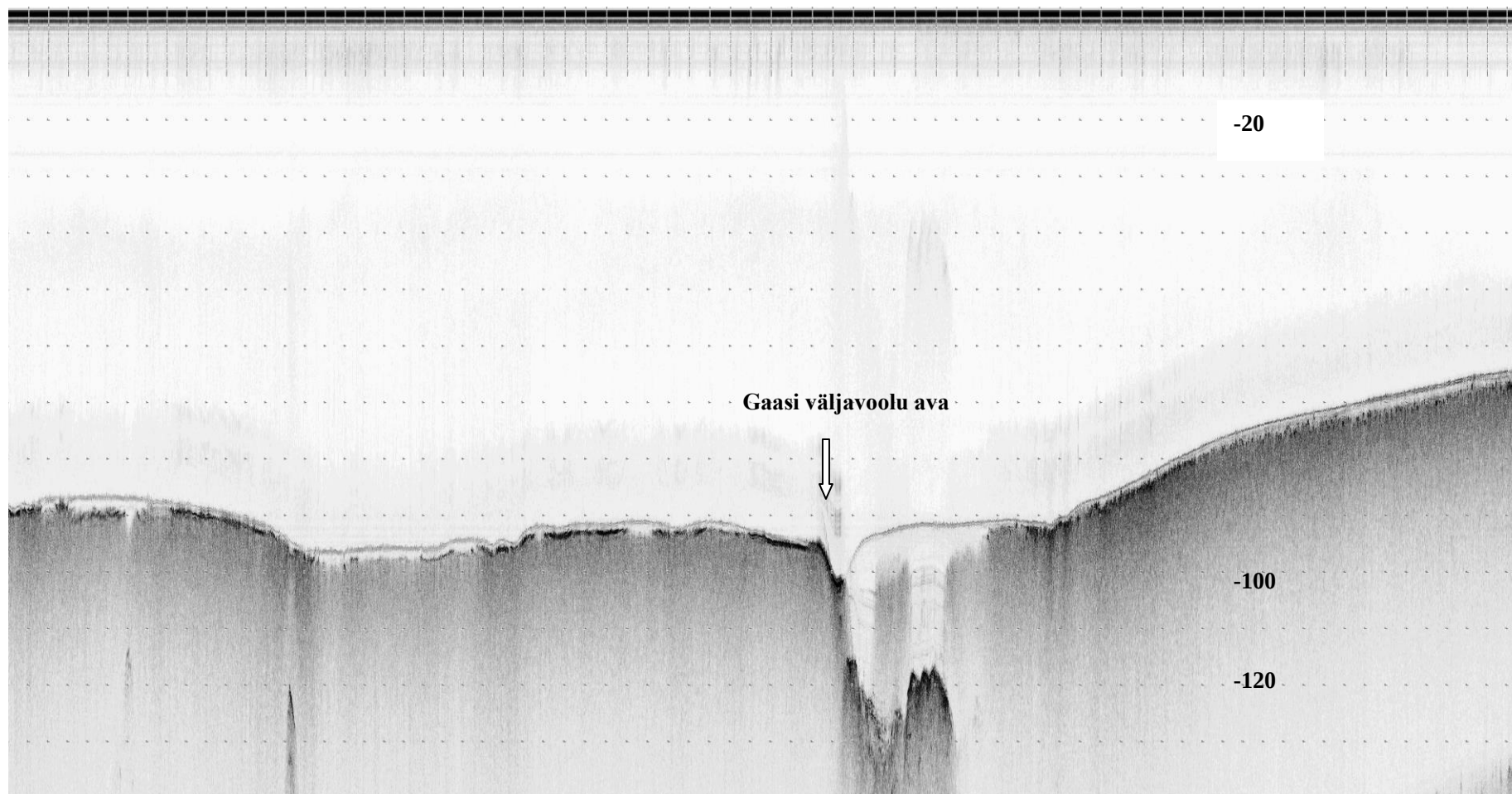
Joonis 5. Seismoakustilise pidevsondeerimise (Chirp) profiil kaardilehe põhjapiirilt. Merepõhja sügavus ca 75 m. Tumehall – kristalse aluskorra pealispind – on 5–10 m paksuselt mattunud Antsülusjärve savide alla. Laiguti on lohkudes ka Holotseeni savi. Horisontaalsete täpiridade vahe ca 10 m (esimene rida ca -20 m). Vertikaalsete markerite vahe ca 200 m.



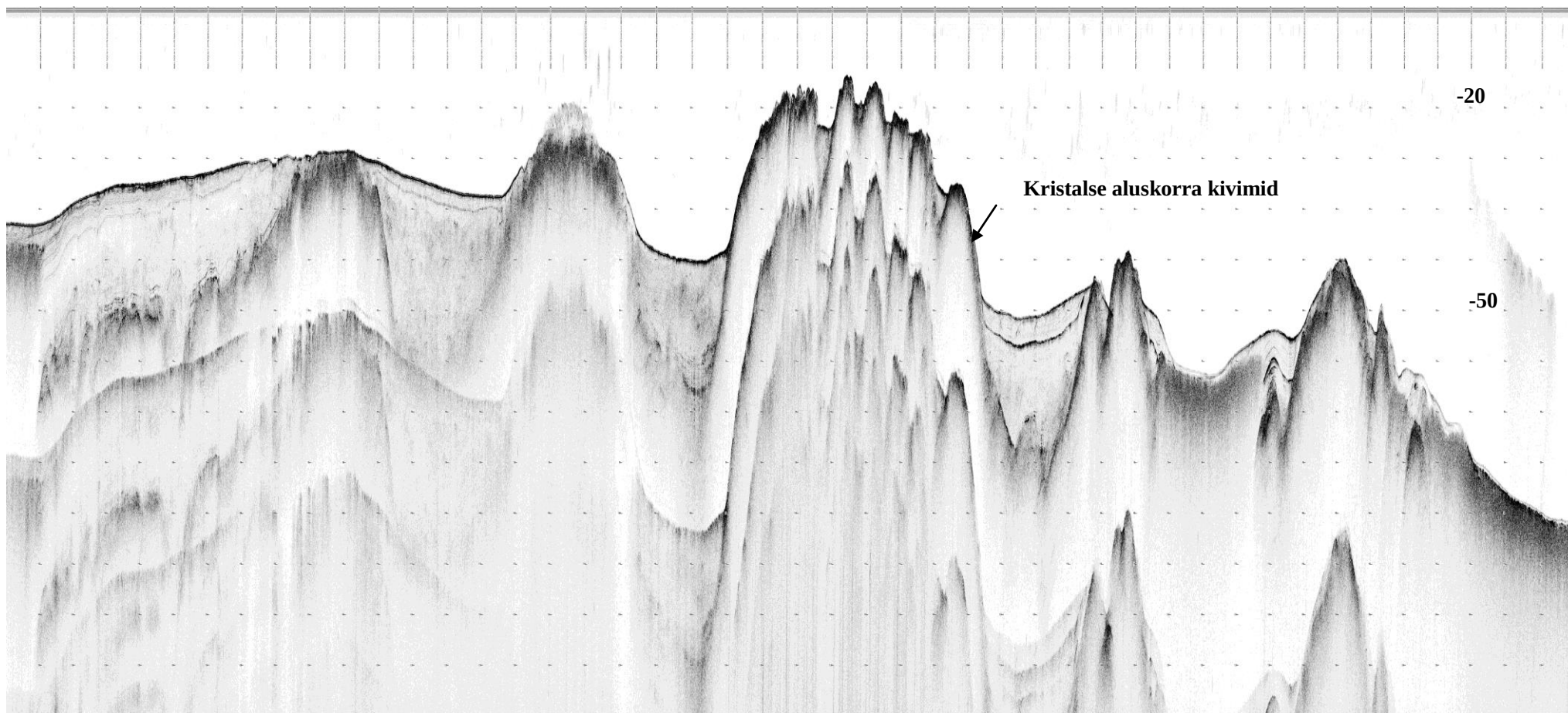
Joonis 6. Seismoakustilise sondeerimise (Chirp) profiil 2-1655 Pakri saarte vahelisel rannanõlval. Horisontaalsete täpiridade vahe ca 10 m (esimene rida ca -20 m). Vertikaalsete markerite vahe ca 200 m.



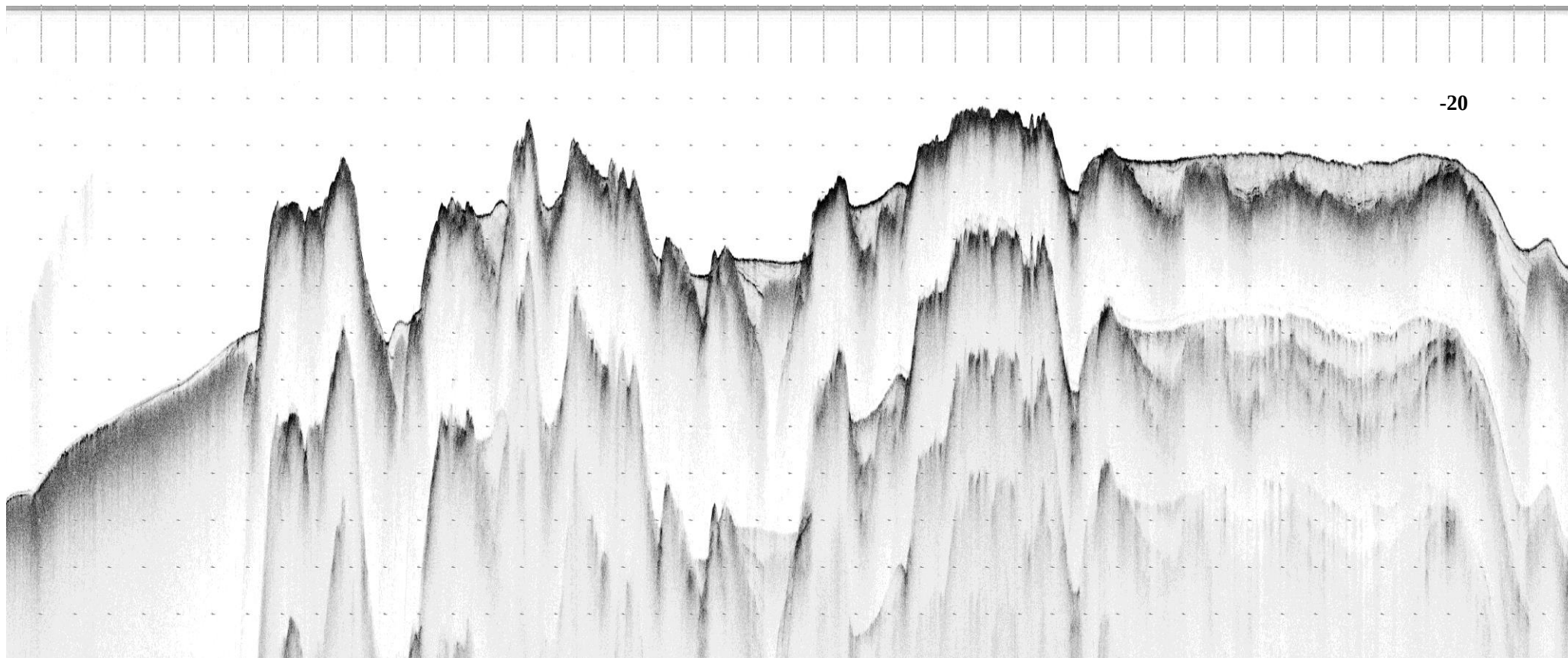
Joonis 7. Seismoakustilise pidevsondeerimise (Chirp) lõuna-põhja suunaline profiil 2-2043 üle Krassi “torni” – ca 50 m kõrguse ja 300 m-se läbimõõduga kristalse aluskorra kivimitest künka. Horisontaalsete täpiridade vahe ca 10 m (esimene rida ca -20 m). Vertikaalsete markerite vahe ca 200 m. Tumehallid sambad paremal – Antsülusjärve saviga 2–20 m paksuselt kaetud kristalse aluskorra kivimitest “oinapead”.



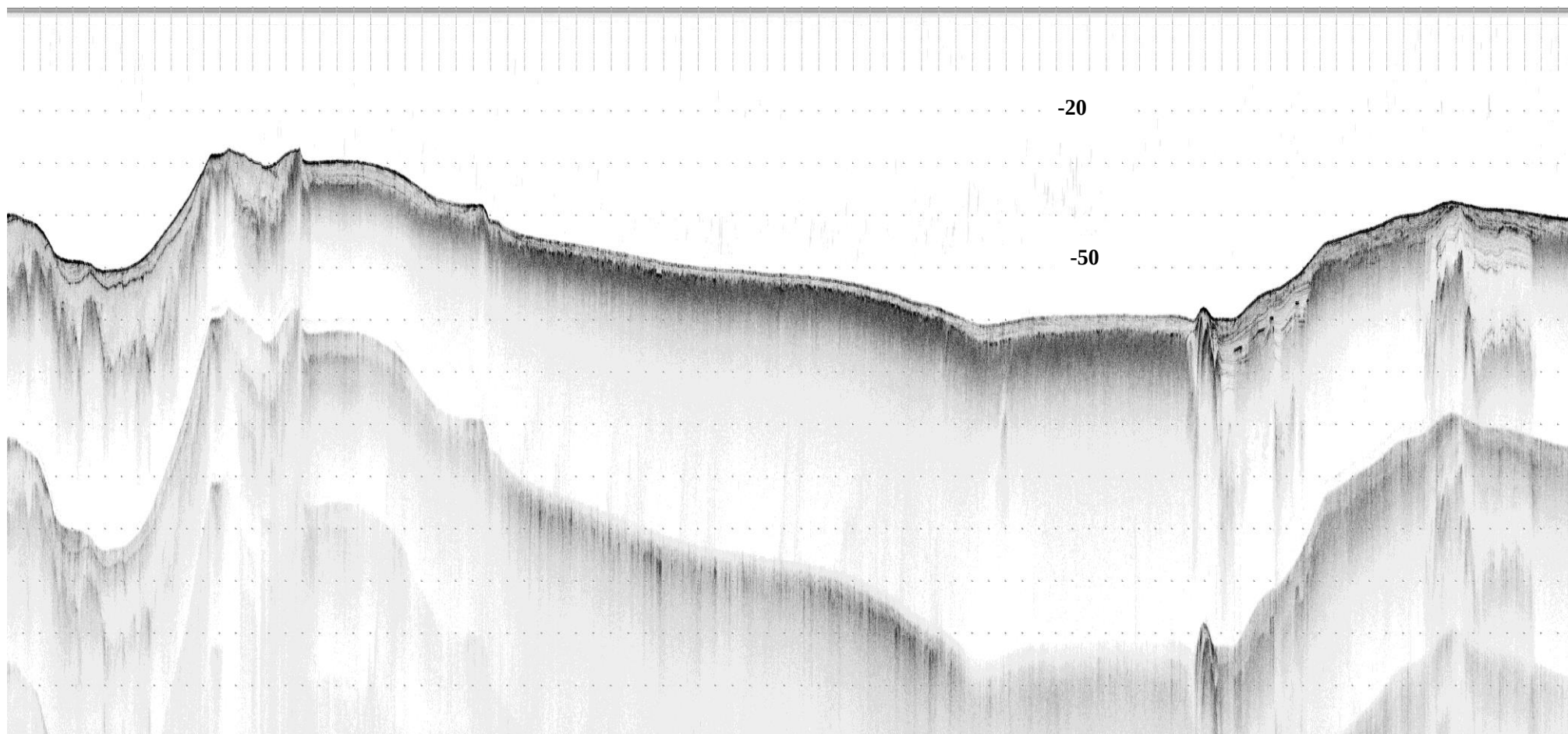
Joonis 8. Seismoakustilise pidevsondeerimise (Chirp) lõuna-põhja suunaline profiil üle gaasi väljavoolu jälje. Horisontaalsete täpiridade vahe ca 10 m (esimene rida ca -20 m). Vertikaalsete markerite vahe ca 200 m. Tumehallid sambad paremal – kristalse aluskorra pind.



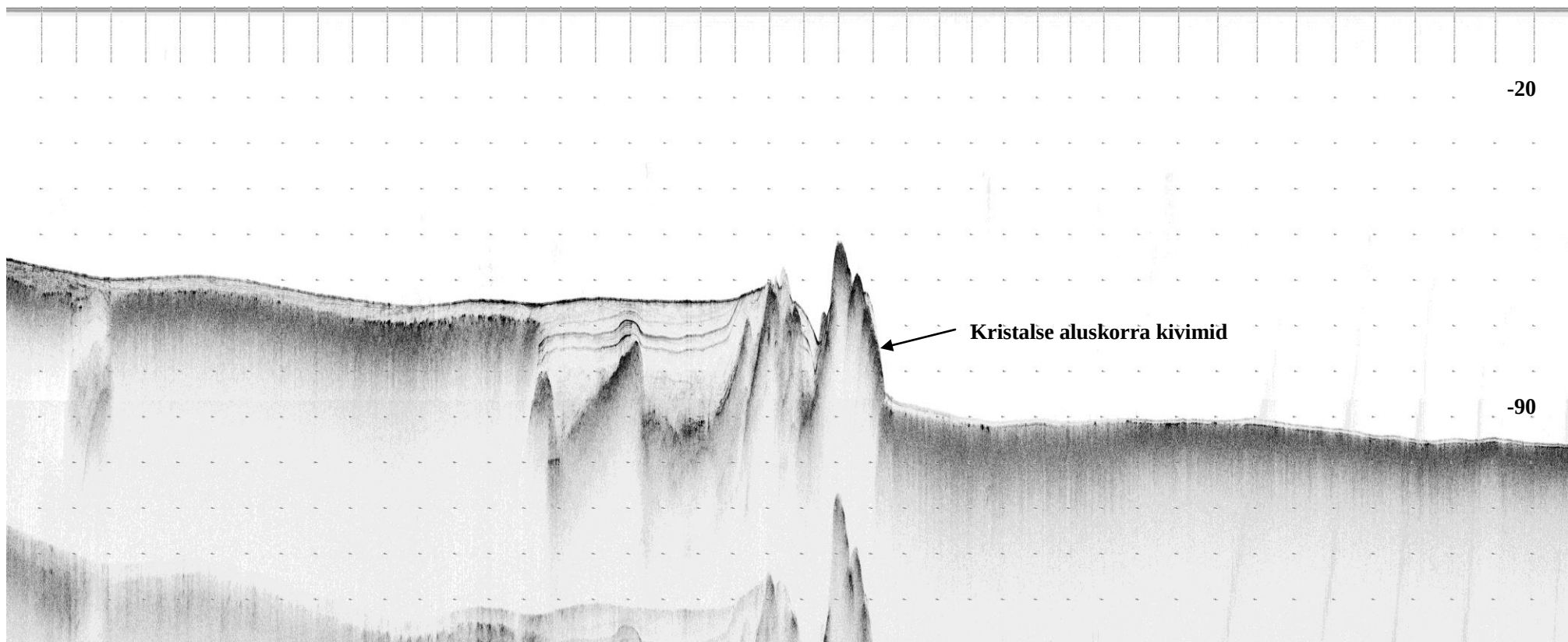
Joonis 9. Seismoakustilise pidevsondeerimise (Chirp) lääne-ida suunaline profiil üle Neugrundi meteoriidikraatri ringvalli. Horisontaalsete täpiridade vahe ca 10 m (esimene rida ca -20 m). Vertikaalsete markerite vahe ca 200 m. Tumehalli harjaga sambad – kristalse aluskorra kivimite pind.



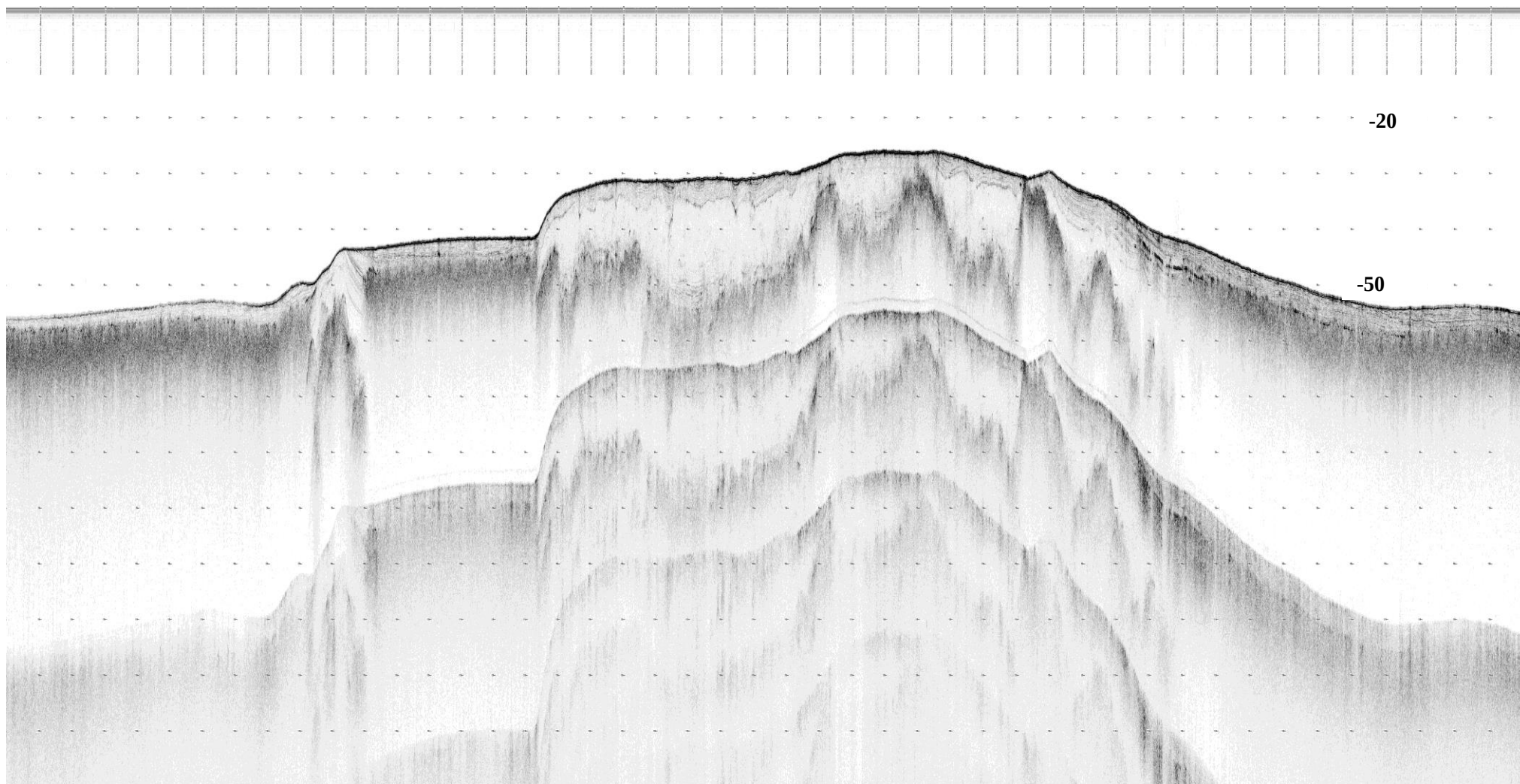
Joonis 10. Seismoakustilise pidevsondeerimise (Chirp) lõuna-põhja suunaline profiil üle Neugrundi meteoriidikraatri ringvalli idaosa. Horisontaalsete täpiridade vahe ca 10 m (esimene rida sügavusel ca -20 m). Vertikaalsete markerite vahe ca 200 m. Tumehalli harjaga sambad – kristalse aluskorra kivimite pind.



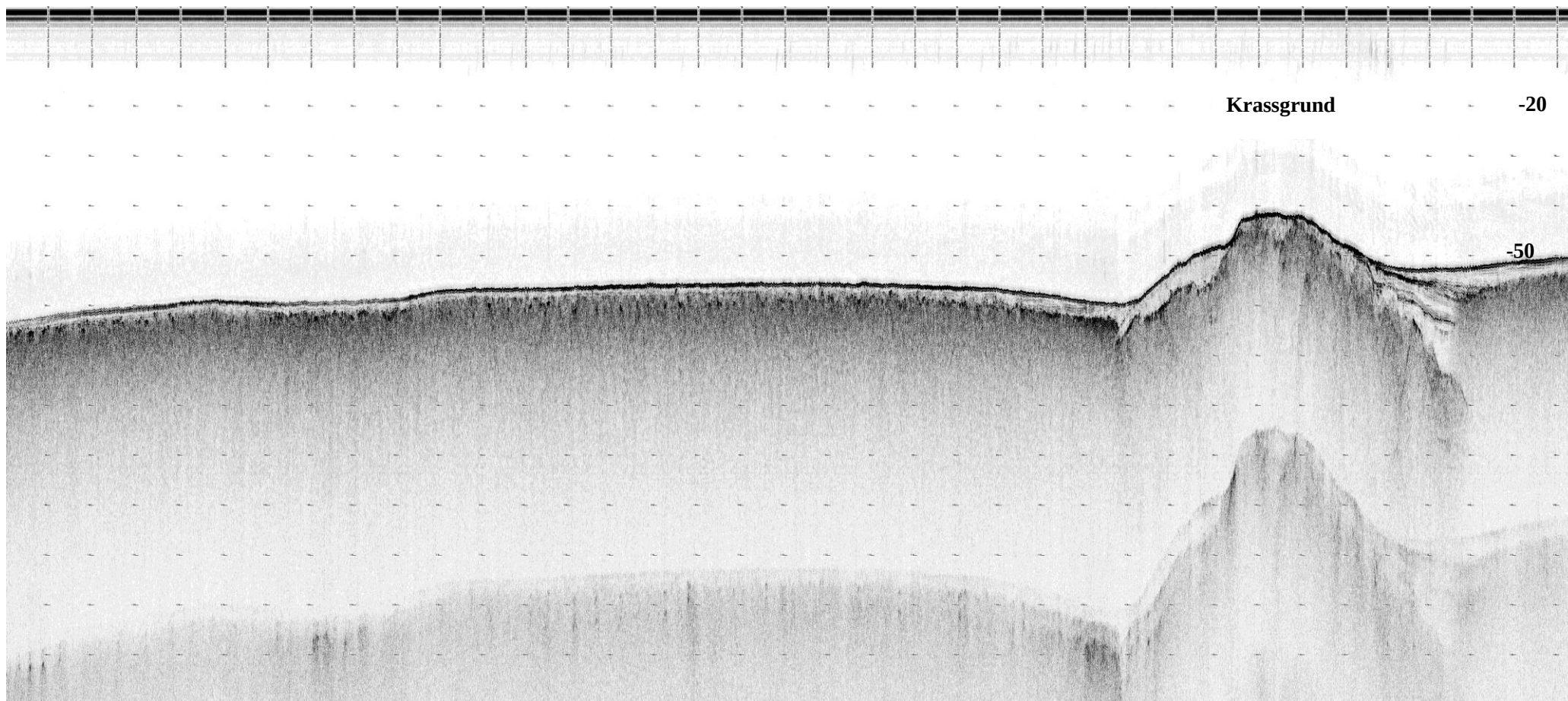
Joonis 11. Seismoakustilise pidevsondeerimise (Chirp) lõuna-põhja suunaline profiil 4-0532 üle Neugrundi meteoriidikraatri ringvalli kaguosa. Horisontaalsete täpiridade vahe ca 10 m (esimene rida sügavusel ca -20 m). Vertikaalsete markerite vahe ca 200 m.



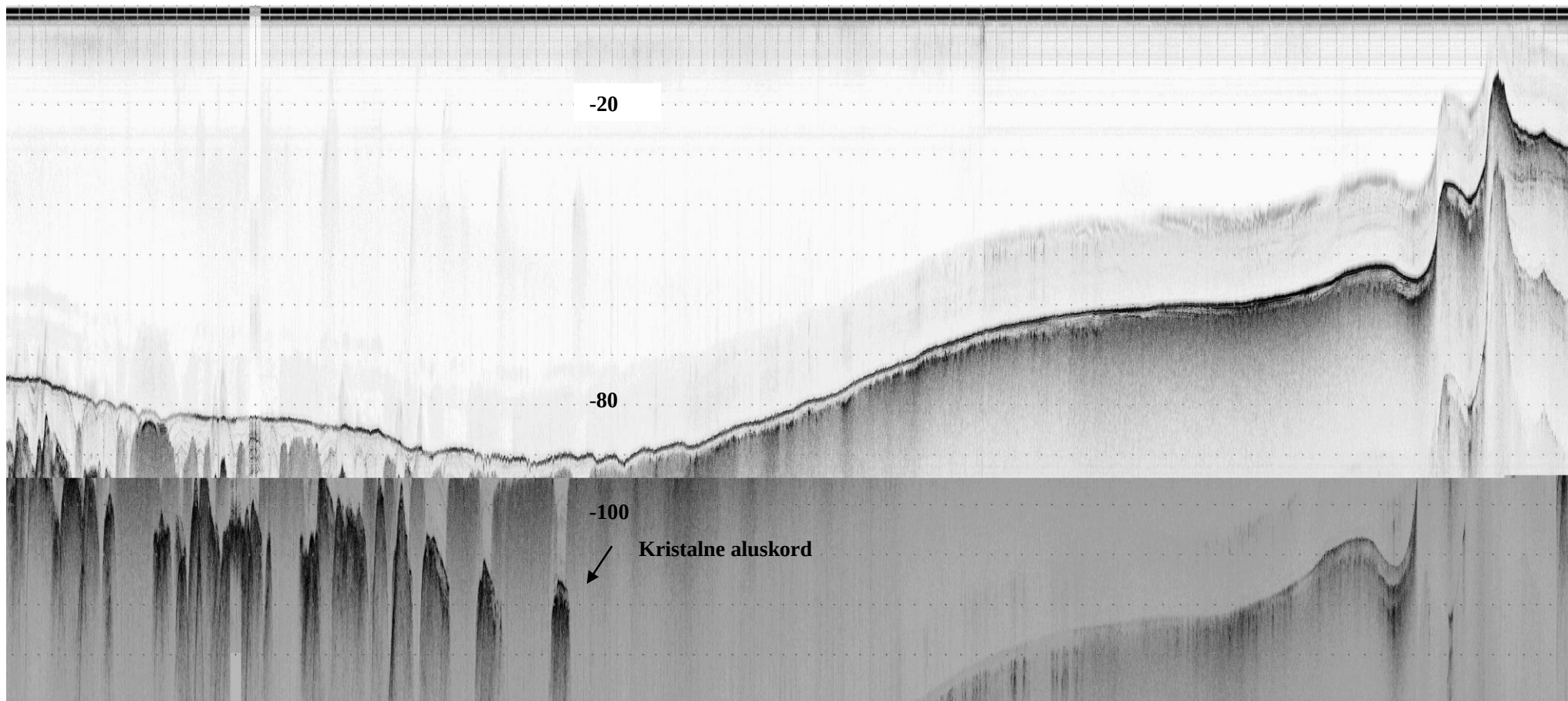
Joonis 12. Seismoakustilise pidevsondeerimise (Chirp) lõuna-põhja suunaline profiil 4-0101 üle Neugrundi meteoriidikraatri ringvalli idaosa. Horisontaalsete täpiridade vahe ca 10 m (esimene rida sügavusel ca -20 m). Vertikaalsete markerite vahe ca 200 m. Tumehallid “hambad” – kristalse aluskorra mooned-kivimites pangased



Joonis 13. Seismoakustilise pidevsondeerimise (Chirp) lõuna-põhja suunaline profiil 4-0201 üle Neugrundi meteoriidikraatri mattunud ringvalli lõunosa. Horisontaalsete täpiridade vahe ca 10 m (esimene rida sügavusel ca -20 m). Vertikaalsete markerite vahe ca 200 m.



Joonis 14. Seismoakustilise pidevsondeerimise (Chirp) lääne-ida suunaline profiil 2-2301 üle Krassgrundi madala põhjanõlva. Horisontaalsete täpiridade vahe ca 10 m (esimene rida sügavusel ca -20 m). Vertikaalsete markerite vahe ca 200 m.



Joonis 14. Seismoakustilise pidevsondeerimise (Chirp) põhja-lõuna suunaline profiil 2-1725 Pakri “konksu” suunas. Horisontaalsete täpiridade vahe ca 10 m (esimene rida sügavusel ca -20 m). Vertikaalsete markerite vahe ca 200 m.

2. UURITUS

Eesti baaskaardi Pakri (6244) leht asub Loode-Eestis Soome lahe värvasuul (Soome lahe ja Läänemere piir kulgeb üle Osmussaare Hanko neemini) hõlmates ca 605 km² ulatuses akvatooriumi.

Merepõhja geoloogilis-geofüüsikalised uuringud sellel alal on tehtud alates 1980-ndast aastast, kui piirkonnas hakati tegema merepõhja keskmisemõõtkavalist (mõõtkavas 1:500 000) geoloogilist kaardistamist (Kõrvel jt 1986). Hiljem lisandus sellele Balti mere šelfiala merepõhja geoloogiline kaardistamine mõõtkavas 1:200 000 (Talpas jt 1994). Nende tööde käigus tehti uurimislavalt “Marina” seismoakustilist pidevprofileerimist ja võeti põhjaproove raskustoru ning haardekopaga. Seismoakustilist pidevprofileerimist tehti ühekanalise Sparker-tüüpi profilaatoriga, mille signaale filtreeriti välja sagedusalas 0–450 Hz. Põhjaproove võeti kuni 11 m pikkuse raskustoruga, kusjuures merepõhja pehmetest setetest (mudad, viirsavid) võetud proovide maksimaalne pikkus oli 7–8 meetrit. Nende tööde tulemused on ära toodud aruannetes (Kõrvel jt 1986, Talpas jt 1994) ja suuresti nende andmete põhjal on koostatud Eesti šelfiala geoloogiat käsitlev kogumik (Lutt ja Raukas 1993). Neid andmeid on kasutatud ka käesoleva Pakri lehe pinnakatte kaardi koostamisel.

Kuna Pakri kaardilehe edelaossa jääb Neugrundi meteoriidikraatri idaosa, siis pea iga sellele unikaalsele veealusele struktuurile korraldatud mereekspeditsiooni käigus tehti mõningaid uuringuid ka Pakri kaardilehe piires.

Tabel 2.1. Pakri kaardilehe ala hõlmanud mereekspeditsioonid.

Aasta	Korraldaja d riigid	Uurimislae v	Kasutatud uurimismeetodi d	Viide
1984-85	Eesti	Marina	SAP, RT, HK	Kõrvel jt 1986
1989-93	Eesti	Marina	SAP, RT, HK	Talpas jt 1994
1996	Rootsi,	Strombus	SAP, MP	Suuroja jt 1998
1996	Saksa, Eesti	Humboldt	SAP, RT, VP	Suuroja jt 1999
1996	Saksa, Eesti	Littorina	SAP, KVS, HK,	Suuroja jt 1999
1998	Eesti	Mare	KVS, S	Suuroja jt 1999
1999	Eesti	Mare	KVS, S, HK,	Suuroja, Suuroja 2000
2000	Eesti	Mare	KVS, S, HK,	Suuroja, Suuroja 2000
2001	Eesti	Mare	KVS, S, HK	Suuroja, Suuroja 2000
2002	Eesti	Mare	KVS, S, HK	Suuroja jt 2002
2002	Rootsi,	Skagerak	SAP	Suuroja jt 2002
2003	Eesti	Mare	KVS, S, HK	Suuroja jt 2004
2010	Eesti,	Mare	SAP	Suuroja jt 2010b
2011	Eesti	Mare	S	Suuroja, Suuroja 2010
2012	Eesti	RIB	S	Suuroja jt 2012
2012	Eesti,	Salme	SAP, KVS	Suuroja jt 2012
2013	Eesti	Kaater	HK, S	Suuroja jt 2013

SAP – seismoakustiline profileerimine; KVS – profileerimine külgaate sonariga; MP – magnetomeetriline profileerimine; VR – vaatlused videorobotiga; HK – põhjaproovide võtmine haardekopaga; RT – põhjaproovide võtmine raskustoruga; S – sukeldumised veealusteks uuringuteks ja proovide võtmiseks.

Tabel 2.2. 2013. aastal Pakri kaardilehe piires tehtud merepõhja proovi- ja vaatluspunktid.

Nr	X	Y	Z	D	Kirjeldus	Tüüp
K_71	6578295	475516	-54	0,1	Savi, hall, sitke, pinnal 2-3 cm liiva-kruusa veeristega, retsentsed karbid	Kopp
K_72	6576455	476630	-49	0,1	Savi, hall, sitke, pinnal vallilt pärit TMK tükid 1-10cm	Kopp
K_73	6575534	476985	-60	0,1	Savi, sinakashall, hüdrotroiliidi roheliste tükidega, pinnal mõni mm beeži muda karpidega	Kopp
K_74	6575653	475761	-32	0,1	Liiv, eri(kesk)teraline, TMK vähese kruusa ja veeristega; põhi kõva	Kopp
K_75	6575585	474878	-13	0	Keskplato, 2 tühja heidet – paas	Kopp
K_76	6575455	473473	-13	0	Keskplato, 2 tühja heidet - paas	Kopp
K_96	6576411	474805	-19	0,1	Keskplato: TMK veeristik kruusaga, karbid	Kopp
K_97	6576324	475951	-35	0,1	Liiv aluriitne, pinnal TMK kruus-veerised, valged karbid	Kopp
K_98	6576723	476835	-20	0	Oinapea: PP1 migmatiit	Kopp
K_99	6576841	477272	-43	0,1	Ringvalli väliskül: Liiv, peeneteraline, aleuriitne. Pinnal TMK kruus	Kopp
K_100	6576996	477923	-61	0,15	Ringvalli tagune süvik: Savi, hall, aleuriitne, milles hüdrotroiliidi rohelisti kihikesi. Pindmine 10 cm liivakas, TMK, LBK, liivakivi tükidega	Kopp
K_102	6574609	473590	-23	0,1	Ringvall: Liiv, peeneteraline, pindmises kihis TMK kruus-veerised, valged karbid	Kopp
K_103	6575181	473088	-13	0	Keskplato: 2 viset - vetikad, TMK veerised	Kopp
K_104	6575807	473518	-14	0,1	Keskplato: Liiv, peeneteraline. Pindmine 5 cm TMK kruus, veerised	Kopp
K_105	6576976	473616	-13	0	Keskplato - 2 viset: Lubjakivi, afaniitne, püriidi laikudega (O3rk tükid); migmatiidi veeris	Kopp
K_106	6577702	473422	-10	0	Keskplato: TMK ja lubjakivi tükid, vetikad.	Kopp
S_65	6580903	492650	-35	0	Pakri "konksu" alam: Liivakivi, helehall, peeneteraline Ca1ts tükid	Sukeldumine
S_11-7	6576649	476802	-17	0	Oinapea: Bi-gneiss	Sukeldumine
S_00-5	6578193	478545	-27	0	Oinapea: Bi-gneiss, kõva, sile	Sukeldumine
S_99-1-1	6578641	486880	-0,8	0	Krassi astang: lubjakivi O2vä	Sukeldumine
S_99-1-2	6578641	486880	-2	0	Lubjakivi, helehall O2vä	Sukeldumine
S_99-1-3	6578641	486880	-3	0	Lubjakivi, helehall O2vä	Sukeldumine
S_99-1-4	6578641	486880	-3,2	0	Lubjakivi, helehall O2vä	Sukeldumine
S_99-1-5	6578641	486880	-5,4	0	Lubjakivi liiva lisandiga, nõrgalt pruunikas O2pk	Sukeldumine
S_99-1-6	6578641	486880	-6,1	0	Lubjakivi liiva lisandiga, nõrgalt pruunikas O2pk	Sukeldumine
S_99-1-7	6578641	486880	-6,7	0	Lubjakivi glaukoniidiga O1-2tl	Sukeldumine
S_99-1-8	6578641	486880	-8,5	0	Lubjakivi glaukoniidiga O1-2tl	Sukeldumine
S_99-1-9	6578641	486880	-10	0	Glaukoniitliivakivi, hallikasroheline, peeneteraline O1lt	Sukeldumine
S_99-1-10	6578641	486880	-11,7	0	Maarjaskilt, pruun O1tr	Sukeldumine

S_99-1-11	6579416	492802	-15	0,1	Suur-Pakri konks: Ca 10 m kõrgune moreenist vall: hall savikas aleuriit kruusliiva ja veeristega. TMK munakad-rahnud	Sukeldumine
S_12-1	6580272	498499	-2	0	Maarjaskilt, pruun O1tr	Sukeldumine
S_12-2	6580413	498601	-6	0	Liivakivi Ca1ts	Sukeldumine
KU-11	6574925	498399	-2	0,2	0,05 aleuriit (muda)/0,3+ aleuriit ja peenliiv, alla jämedamaks	Sond
KU-12	6575456	498074	-2,2	0,6	0,05 aleuriit (muda)/0,6+ viirsavi	Sond
KU-13	6576247	497746	-2	0,8	0,15 keskliiv, ühtlane/0,8+ viirsavi, hall	Sond
KU-14	6577295	497223	-2	0,5	0,3 aleuriit taimejäänustega (muda)/0,5+ moreen?	Sond
KU-15	6577765	496987	-2	0,8	0,45 muda, hallikasmust/0,8+ peenliiv, alla jämedamaks	Sond
KU-16	6576885	496569	-1	0,4	0,05 muda, hallikasmust/0,4+ aleuriit ja peenliiv, alla jämedamaks	Sond
KU-17	6576266	496933	-1,5	0,3	0,1 muda, hall/0,3+ aleuriit ja peenliiv, alla jämedamaks	Sond
KU-18	6575718	497118	-0,8	0,1	0,1+ muda, hallikasmust	Sond
KU-19	6575250	497338	-1,5	0,35	0,35+ jämeliiv	Sond

3. TÖÖDE METOODIKAST

Alljärgnevalt leiab kajastamist Pakri kaardilehe akvatooriumi kaardistamisel kasutatud uuringute metoodika.

3.1. Asukoha määrangud ja kasutatud koordinaatsüsteemid

Profileerimisel kasutati asukoha määranguteks diferentsiaal GPS vastuvõtjat. Navigeerimisandmestik arvutati ümber NMEA signaalkoodi WGS-84 pikkus/laius süsteemist L-EST97 kaardiprojektsiooni (KKM määrus nr. 44). Lisaks viidi sisse mõõteaparatuuri asukoha parandused laeva ja pukseeritava aparatuuri suhtes. Kõik koostatud kaardid põhinevad Balti kõrguste süsteemil.

3.2. Seismoakustiline profileerimine

Merepõhja seismiliseks sondeerimiseks kasutati seismoakustilist profileerimissüsteemi EdgeTech 3200-XS. Selle koostisosadeks on:

pukseeritav kiirgur-vastuvõtja SB-0512i ("Kala");

kaabel-tross (Kevlar®) 75 m;

juhtimiseseade X-STAR;

arvuti koos EdgeTech "DISCOVER" tarkvaraga.

Seismoakustilisteks uuringuteks kasutatud Chirp tüüpi seismoakustilise profilaatori impulssvõimsus on 2 kW. See võimaldab tekitada ja registreerida tagasipeegelduvaid seismoakustilisi signaale sagedusalas 0,5–12 kHz. Maksimaalse uurimissügavuse saavutamiseks kasutati eelmainitud sagedusvahemiku madalamat osa 0,5–4,5 kHz. Genereeritud laineimpulsside sagedus oli 3 Hz, mis annab pidevprofileerimisel moodustunud andmepunktide tiheduseks u 0,5 m. "Kala" pukseeriti uurimislaeva taga väljaspool vindivett umbes 3 m sügavusel kiirusega 4 sõlme. Kogutud andmestik salvestati digitaalkujul EdgeTech JSF failiformaadis. Hiljem JSF failid konverteeriti Stockholmi ülikooli poolt koostatud tarkvara READ-JSF abil standardsesse SEG-Y failiformaati. Failide konverteerimise käigus sisestati parandid pukseeritava "Kala" täpse asukoha määranguteks.

Kasutatud metoodika tagab üldjuhul vertikaalse eraldusvõime kuni 20 cm. Uuringusügavus võib normaalsetes (gaasita) setetes küündida kuni 60 meetrini. Antud piirkonna hilis- ja pärastjääaegsed setted (viirsavid ja mudad) sisaldavad enamasti aga üle 1% gaasi (metaani) ja seepärast jäi uurimissügavus enamasti alla 20 meetri. Sedagi vaid merepõhja positiivsete pinnavormidega kaasnevate gaasivabade „akende” kohal, millega tavaliselt kaasnes ka muda ja viirsavilasundi väiksem (alla 30 m) paksus.

3.3. Seismoakustilise andmestiku interpreteerimiseks kasutati kahel juhul (Suuroja jt 2010b, 2012) Meridata interpreteerimistarkvara versioone MDPS 5.0 ja MDPS 5.1 BETA ning Viewer 2.0. ja interpreteerimise juhendeid (Floden 2009).

Andmete interpreteerimisel eraldati seismoakustilistel profiilidel välja merepõhi ja 5 erinevate akustiliste omadustega settekompleksi:

1. Litoriina- ja Limneamere setted;
2. hilisjääaegsed varvilised savid;
3. moreen;
4. aluspõhja settekivimid;
5. kristalsed kivimid (kristalse aluskorra moonde- ja tardkivimid).

Akustiliste sette- ja kivimkomplekside interpreteerimiseks ja nende tõeliste paksuste määramiseks kasutati järgmisi helilainete levimiskiirusi (Floden 1981, 2009; Suuroja jt 2010b):

vesi – 1450 m/s;

kaasaegne muda – 1500 m/s;

troiliiti sisaldav savi – 1550 m/s;
hilisjääaegsed varvilised savid (viirsavi) – 1550 m/s;
moreen – 1600–1700 m/s;
terrigeensed settekivimid (liivakivid, savid) – 2100–2500 m/s;
kristalse aluskorra tard- ja moondekivimid – 6000 m/s.
Profilide interpreteerimisel eraldati välja ja tähistati värvidega üldnimetatud kompleksid. Interpreteerimisprogramm interpoleerib ajaskaala (millisekundites) automaatselt sisestatud lainelevikukiiruste põhjal meetermõõdustikku. Iga kompleksi lamami kohta koostati interpreteeringu tulemusel sügavuste tärkandmestik.

3.4. Külgvaate sonariga profileerimisel kasutati erinevate ekspeditsioonide käigus erineva sagedusega (100, 200, 400 jne kHz) profilaatoreid. Geoloogilise suunitlusega tööde puhul osutus optimaalsemaks 100 kHz sagedusdiapasoon ja maksimaalse, st 400 meetri laiuse tööribaga profileerimine. “Kala” optimaalne pukseerimissügavus sellisel juhul moodustas 90% veesamba kõrgusest.

3.5. Raskustoruga võeti proove vaid varasemate kaardistamistöödega (Kõrvel jt 1986 ja Talpas jt 1994) seondunud mereekspeditsioonide käigus. Põhjaproovide võtmiseks kasutati neil juhtudel kuni 11 m pikkust raskustoru. Merepõhja pehmetest setetest (kaasaegsed mudad, viirsavid) võetud proovide maksimaalne pikkus oli seejuures 7–8 meetrit.

3.6. Haardekopaga võeti proove enamasti rannalähedasest merepõhjast ja seda liiva-kruusa ning moreeni levialadelt. Uudse meetodina kasutati õhukese pindmise kihi läbimiseks nn ankur-dragi. See koosnes admiraliteedi tüüpi ankrust, mille labade külge oli kinnitatud kaks umbes 100 mm-se läbimõõduga ja 40 cm pikkust 45° nurga all lõigatud otsaga raudtoru. Sissevisatud ankrut järel vedades tungis ankrulaba koos selle külge kinnitatud toruga kuni 40 cm sügavuselt merepõhja setetesse läbides seejuures põhjasetete kihi. Nii oli võimalik uurida ka suhteliselt õhukese põhjasetete kihi all olevaid Kvaternaari setteid.

3.7. Sukeldumistega uuriti Pakri kaardilehe piires viit objekti: kahte kristalse aluskorra kivimite paljandit Neugrundi meteoriidikraatri ringvallil, Krässgrundi madaliku paeplatood ääristavat astangut, moreenvalli Suure-Pakri “konksul”, Väike-Pakri saare veealuse astangu kirdenõlva. Proovide võtmisega kaasnes proovivõtu koha ja selle lähiümbruse dokumenteerimine (märkmete tegemine, jäädvustamine videolindile). Tavapäraselt oli sukeldujaid kaks, kellest vähemalt üks oli geoloog. Geoloog valis välja proovivõtu koha ja võttis proovi ning tema kaaslane fikseeris proovivõtu koha sügavuse. Võimaluse korral fikseeriti proovivõtu koht ka videokaameraga. Seejärel pandi proov läbipaistva kaanega kohvrissi ja selle kaanele kirjutati veekindla pliiatsiga proovivõtu koha sügavuse. Kohver proovidega tõmmati kas nõoriga üles või saadeti õhkpadjaga.

4. ALA GEOLOOGILINE ISELOOMUSTUS

Pakri kaardilehe akvatooriumiala merepõhjale geoloogilise iseloomustuse andmisel kasutatakse lisaks viimati Pakri kaardilehe kaardistamise käigus läbi viidud uuringutele veel eelnevate uuringute käigus kogutud informatsiooni: Suuroja jt 1987, Kõrvel jt 1986, Talpas jt 1994, Suuroja jt 1998, Suuroja jt 1999, Suuroja jt 2010, Suuroja jt 2012. Kaardilehe akvatooriumil levivate kivimite ja setete iseloomustamisel on kõrvale jäetud eri käsitlemist vajav kaardilehe edelanurka jääv Neugrundi meteoriidikraatri ala.

4.1. Aluskord

Kristalse aluskorra tard- ja moondekivimid (kristalsed kivimid) avanevad Kvaternaari setete all kaardilehe põhja- ja edelaosas. Lisaks avanemisele Kvaternaari setete all paljanduvad kristalsed kivimid laiguti ala edela- (Neugrundi meteoriidikraatri ringvall) ja kirdeosas.

Avamusalal lasuvad kristalsed kivimid sügavusel -16 (Neugundi kraatri ringvall) kuni -190 m (kaardilehe äärmine kaguosa) amp. Ala keskosa läbib diagonaalselt, st enam-vähem kirde-edela sihiliselt, umbes 5 km laiune laugenõlvaline vöönd, mille piires aluskord on tasemel -150 – -160 m amp. Sellest vööndist põhja pool kerkib aluskorra pind mõne kilomeetriga kuni 80 m ehk kuni tasemeni -80 m amp. Ala äärmises kirdeosas avanevad kristalsed kivimid vähem kui 80 m sügavuses vees otse õhukese (2–5 m) savikihi all ja laiguti isegi paljanduvad.

Krässgrundi mattunud ürgoru suudmest loode pool (Krassi saarest umbes 13 km põhja pool) kerkib aluskorra pealispinnast, mis on siinkohal umbes -120 m amp tasemel, kuni 50 meetrit kõrgemale paarisaja meetrise läbimõõduga kristalsetest kivimitest järsunõlvaline ümara kujuga sammasjas küngas – Krassi “torn”.

Aladel, kus kristalse aluskorra pealispind on kaetud settekivimitega, on see oma ülemises osas 5–10 m ulatuses murenenud ja suhteliselt tasase pinnaga. Aga neil aladel, kus kristalsed kivimid avanevad otse kvaternaarse setete all, murenemiskoorik puudub ja kristalse aluskorra pealispind on seal künklik „oinapäid“ meenutava reljeefiga.

Paleoproterosoilisel Orosiri ajastul (ca 1,9 Ga) moodustunud kristalne aluskord on alal esindatud Lääne-Eesti kompleksile omase tugevasti kurrutatud ja migmatiidistunud moondekivimite lasundiga, milles on valdavaks mitmesugused biotiit- ja biotiit-amfiboolgneissid ning amfiboliidid (Suuroja jt 1987, Koistinen 1996, Kirs jt 2009).

4.2. Aluspõhi

Settekivimitest katte paksus ala kaguosas (Pakri saarte lõunaosas) on umbes 180 meetrit (Suur-Pakri puuraugus SP2 180,5 m). Pakri saartest 7–8 km põhja pool kiildub settekivimitest kate diagonaalselt kirdest edelasse suunduva lauge astanguga välja. Aluspõhja ehituses eristuvad selgelt kaks kivimkompleksi: üheltpoolt Ediacara ja Alam-Kambriumi purdkivimid (kuni 150 jm) ning teisalt – Kesk- ja Ülem-Ordoviitsiumi karbonaatkivimid (kuni 13 m). Üleminekulisena jääb nende vahele Alam-Ordoviitsiumi ompärasest terrigeensetest kivimitest (oobolusliivakivi, maarjaskilt, glaukoniitliivakivi) koosnev umbes 13 m paksune kivimlasund.

Kogu aluspõhjalise kivimkompleksi iseloomustamisel on kasutatud põhiliselt Suur-Pakri saarel puuritud süvapuuraugu SP2 (sügavus 302 meetrit) südamiku uurimise tulemusi (Suuroja jt 2010). Ordoviitsiumi kivimkomplekside iseloomustamisel on kasutatud ka Suur-Pakri saarel puuritud madalamate (30 m) puuraukude SP1, SP3 ja SP4 südamiku uurimise tulemusi ning Suur- ja Väike-Pakri saare klindiasanguis paljanduvaid kivimlasundeid. Huvitavat lisa aluspõhja kivimite kohta saadi ka Neugrundi meteoriidikraatri keskplatood, Krässgrundi madala paeplatood ja Väike-Pakri saart põhjakaarest ääristavate veealuste astangute piirkonnas tehtud sukeldumistest.

Ediacara ladestu on alal esindatud Kroodi kihistu nõrgalt kuni keskmiselt tsementeerunud liivakividega, milles on vähemal määral kirjuvärvilise aleuoliidi kuni 0,5 meetrиси vahekihte. Kroodi kihistu täispaksus on ca 50 meetrit (puuraugus SP2 50,5 m). Merepõhjas avaneb kihistu settekivimitest katte põhjapiiril 3–4 km laiuse vööndina.

Kambriumi ladestu, mis on alal esindatud Alam-Kambriumi ladestiku kolme kihistuga (Lontova, Lükati, Tiskre), paksus on kuni 100 meetrit (puuraugus SP2 98,0 m). Sinisavi lasundiks nimetatava kompleksi, millesse kuuluvad valdavalt sinisaviga esindatud Lontova ja Lükati kihistu, paksus puuraugus SP2 on 75 meetrit. **Lontova kihistu**, mille paksus on ca 55 m, on esindatud enamasti sinisaviga, kuid kihistu alaosa paarikümnel meetril on valdavaks eriteralise nõrgalt kuni keskmiselt tsementeerunud kvartslüivakivid. **Lükati kihistu** piir Lontova kihistuga on paleontoloogiline, ehk foraminifeeri *Volbortella* asendumine *Platysolenites*’ega. Kihistu paksus puuraugus SP2 on ca 20 meetrit. Ta on seal esindatud sinisavilasundiga, milles on arvukalt glaukoniiti sisaldava kvartslüivakivi vahekihte. **Tiskre kihistu**, mis on esindatud enamasti nõrgalt kuni keskmiselt tsementeerunud pisiteralise kvartslüivakivi lasundiga, paksus puuraugus SP2 on kuni 23

meetrit. Suur- ja Väike-Pakri saarte ning Krässgrundi paeplatoo esisel veealusel terrassil paljandub samuti Tiskre kihistu liivakivi.

Ordoviitsiumi ladestu, mille avamus hõlmab kaardilehe kaguosas Pakri saarte ja Krässgrundi madala paeplatoo, paksus puuraugu SP2 läbilõikes on 26 meetrit. Sellest umbes 13 meetrit kuulub Alam-Ordoviitsiumi terrigeensetele kivimitele (oobolusliivakivi, maarjaskilt, glaukoniitliivakivi) ja ülejäänud 13 meetrit Kesk- ja Ülem-Ordoviitsiumi karbonaatkivimitele.

Kallavere kihistu, mis kuulub Pakerordi lademesse, on alal esindatud nõrgalt kuni keskmiselt tsementeerunud oobolusliivakivi umbes 4 m paksuse lasundiga. Maismaal oobolusliivakivi ei paljandu, kuid on avatud Suur-Pakril puuritud nelja puurauguga (SP1, SP2, SP3, SP4). Lisaks sellele paljandub oobolusliivakivi veel Väike- ja Suur-Pakri saart ning Krässgrundi madalat ümbritsevatel veealustel astangutel.

Türisalu kihistu, mis kuulub samuti Pakerordi lademesse, on alal esindatud tumepruuni maarjaskilda (diktüoneemakilt, graptoliitargelliit jne) lasundiga. Maismaal Türisalu kihistu ei paljandu, kuid on avatud nelja puurauguga Suur-Pakri saarel. Lisaks sellele paljandub maarjaskilt veel Väike- ja Suur-Pakri saart ning Krässgrundi madalat ümbritsevatel veealustel astangutel. Türisalu kihistu paksus Suur-Pakri puuraukudes on 4,7–5,5 m.

Varangu kihistu, mille paksus Suur-Pakri puuraukudes on 0,4–0,9 m, on esindatud enamasti glaukoniitliivakivi vahekihte sisaldava helehalli bentoniitsaviga.

Leetse kihistu, mis kuulub Hunnebergi lademesse, on alal esindatud nõrgalt kuni keskmiselt tsementeerunud roheline peeneteralise aleuriidika glaukoniitliivakiviga. Maismaal paljandub glaukoniitliivakivi Väike-Pakri saare klindiasangu põhjaosa jalamil ja on avatud nelja puurauguga Suur-Pakri saarel. Puuraukudes on Leetse kihistu paksus 2,5–3,3 meetrit. Lisaks sellele paljandub glaukoniitliivakivi veel Suur-Pakri saart ja Krässgrundi madalat ääristavates veealustel astangutel.

Kesk- ja Ülem-Ordoviitsiumi ladestiku karbonaatkivimid levivad kaardilehe kaguosas Väike- ja Suur-Pakri saarel ning Kolviku ja Krässgrundi madaliku paeplatool. Lasundi paksus Suur-Pakri saare lõunaosas on kuni 27 meetrit. Parima ülevaate karbonaatkivimite lasundi kivimitest saab Väike- ja Suur-Pakri saare klindiasanguist, kus need paljanduvad kuni 10 km ulatuses ja 8 m paksuselt. Oma osa annavad ka Suur-Pakril puuritud neli puurauku: SP1, SP2, SP3, SP4. Kaheksast Ordoviitsiumi karbonaatkivimite lasundi kihistust seitse (Toila, Pakri, Kandle, Vão, Kõrgekald, Tatruse, Vasavere) kuuluvad Kesk-Ordoviitsiumi ja üksnes Viivikonna kihistu Ülem-Ordoviitsiumi.

Toila kihistu, mis kuulub Hunnebergi lademesse, on alal esindatud enamasti rohekashalli glaukoniiti sisaldava lubjakiviga. Kihistu parimad paljandid on Väike-Pakri klindiasangu põhjaosas, kus see paljandub kuni 6 km ulatuses. Paljandeis on Toila kihistu paksus 1–1,2 meetrit ja Suur-Pakri puuraukudes umbes 1 meeter.

Pakri kihistu, mis kuulub Kunda lademesse, on esindatud erineval määral liiva sisaldava lubjakiviga kuni lubiliivakivini välja. Kihistu paljandub Väike- ja Suur-Pakri saare klindiasanguis ca 8 km ulatuses. Väike-Pakri klindiasangu Peetri paemurrust mõnisada meetrit põhja pool on Pakri kihistu stratotüüp. Kihistu paksus paljandeis on 1–1,5 meetrit ja Suur-Pakri puuraukudes 0,9–1,5 m. Stratotüüpsel alal eristuvad kihistus kolm kihikompleksi (alt üles): 1. ca 0,4 m – lainjaskihiline lubjakivi rohekashalli lubimergli vahekihtidega; 2. ca 0,6 m – lainjaskihiline lubjakivi pruunikashalli kerogeense liivaka lubimergli vahekihtidega; 3. ca 0,4 m – massiivne helehall liivakas lubjakivi. Kihi ülaosas on kivim bioturbitiidne. Kihi lael on 3–5 uuretega püritset katkestuspinda.

Pakri kihistu tähelepanuväärsemaks nähtuseks on selles esinevad omapärased settesooned – „krokodillid“ või nagu viimasel ajal neid on hakatud nimetama – “osmod”. Olemuselt on Pakri saarte osmod väga sarnased Osmussaarel jälgitavate settesoontega, kuid erinevad nendest nii esinemisageduse, mõõtmete kui statigraafilise ulatuse poolest. Osmosid esineb harvemini ja nii nende mõõtmed kui statigraafiline ulatus on väiksemad.

Kui Osmussaarel on osmusaarbreksia soonte-kehade vertikaalne ulatus kuni 1,5 meetrit, ehk Toila kihistu alumiselt pinnalt kuni Vão kihistu alumise pinnani, siis Pakri saartel on see vaid kuni 0,5 meetrit ehk Pakri kihistu 3. kihi alumiselt pinnalt kuni Vão kihistu alumise pinnani. Kolmanda kihi alaosa näivad lähtuvat ka osmod – lubiliivakivist settesooned.

Kandle kihistu, mis kuulub Aseri lademesse, on alal esindatud raudoiide sisaldava lubjakiviga. Kihistu paksus on väike – kümnekonnast sentimeetrist kuni väljakiildumiseni.

Vão kihistu kuulub enamjaolt Lasnamäe lademesse ja selle paksus alal on 5–6 meetrit. Kihistu paljandub Väike- ja Suur-Pakri saare klindiasanguis ning vee all ka Neugrundi keskplatood ka Krässgrundi madalat ääristavatel astangutel. Vão kihistu on neis läbilõigetel esindatud talle omase Lasnamäe ehituspäega.

Kõrgekalda kihistu, mis esindab alal Uhaku ladet, paksus on ligi 1,5 meetrit. Kihistu paljandub maismaal vaid Väike-Pakri idaranniku ja Suur-Pakri lääneranniku lõunaosas. Kihistu läbilõikes vahelduvad lubjakivi lubimergli ja savika lubjakiviga.

Viivikonna kihistu, mis esindab alal Kukruse ladet, paljandeid alal ei oma, kuid avaneb klibukihi all Väike- ja Suur-Pakri saarel. Kihistu mittetäielik paksus puuraugus SP2 on 3,6 meetrit. Viivikonnale kihistule omased kukersiidikihid alal peaaegu puuduvad, on vaid nõrgalt kerogeenset lubjakivi ja kerogeeni sisaldava mergli vahekihte.

4.3. Pinnakate

Pea kogu kaardilehe akvatoorium on kaetud mõne kuni mõnekümne meetri paksuselt kvaternaarse setetega. Pinnakatte setete kaardi koostamisel kasutatud proovipunktidest enamik pärineb varasematest töödest (Kõrvel jt 1986, Talpas jt 1994), millele oma osa lisavad ka käesoleva töö käigus tehtud uuringud.

Aluspõhja pind on kaardilehe alal valdavalt kaetud viimase jäätumise Järva kihistu (gIIIj₃) moreeniga. Moreenikihi paksus mattunud orgudes võib küündida kuni 30 meetrini.

Kõige laiemalt levinud lasundiks alal on hilisjääaegsed Balti paisjärve (lgIIIj₃) viirsavid. Nende paksus levialal on enamasti mõne kuni paarikümne meetri vahemikus.

Antsülusjärve hüdrotroiliiti sisaldava savi (IIIVan) lasundi paksus jääb enamasti alla 5 meetri ja selle avamused akvatooriumil üsna harvad.

Kõige suurema ala kaardilehe akvatooriumist hõlmavad kaasaegsed mudad (mIVlt-lm). Selle lasundi paksus jääb enamasti alla 10 meetri, kuid üksikutes aluspõhjalistes nõgudes võib küündida ka kuni paarikümne meetrini.

KOKKUVÕTE

Pakri kaardilehe, millest enam kui 95% on merepõhi, aluspõhja ja pinnakatte geoloogiline kaart on koostatud valdavalt varemalt kaardilehe piirkonnas läbi viidud merepõhja geofüüsikalise-geoloogiliste uuringute andmestiku (Kõrvel jt 1986, Suuroja jt 1987, Metlitskaja, Papko 1992, Talpas jt 1994, Suuroja jt 1998, Suuroja jt 1999, Suuroja jt 2010) põhjal. 2012. oktoobris ja 2013. aasta juunis toimunud mereekspeditsioonid lisasid Pakri lehe merepõhja uurimisse samuti oma olulise osa. Merepõhja geoloogilise kaardistamise võimalusi parandas oluliselt Eesti Veeteede Ameti poolt lehvik-kajaloodiga tehtud merepõhja kõrgresolutsiooniline varjutatud reljeefi kaart. See on teinud võimalikuks mitmete omapäraste merepõhja struktuurielementide kaardistamise. Nendeks oleks: Neugrundi meteoriidkraater (teadaolevaist maailmamere kõige paremini säilinud meteoriidkraater), kristalse aluskorra kivimite avamused ala põhjaosas, veealuste hoovuste orundid merepõhjas, Krassi “torn” – kristalse aluskorra kivimitest sammasjas kungas, gaasi immitsevad lõhed ja lehtrid.

KASUTATUD MATERJALID

- Flodén, T. 1981. Current geophysical methods and data processing techniques for marine geological research in Sweden. *Stockholm Contributions in Geology* 37/5, 49–66.
- Flodén, T. 2009. Instructions for online digital processing and interpretation of acoustic and seismic recordings in the Meridata MDPS ver. 5.1 format and their presentation in digital level maps. *Marina geovetenskapliga undersökningsmetoder*. 2009 edition “Vättern data set”.
- Kirs, J., Puura, V., Soesoo, A., Klein, V., Konsa, M., Koppelmaa, H., Niin, M., Urtson, K. 2009. The crystalline basement of Estonia: rocks complexes of the Paleoproterozoic Orosirian and Statherian and Mesoproterozoic Calymmian periods, and regional correlations. *Estonian Journal of Earth Sciences* 58, 4, 219–228.
- Koistinen, T. (ed.). 1996. Explanation to the map Precambrian basement of the Gulf of Finland and surrounding area 1:1 mln. Espoo. Geological Survey of Finland. 141 p.
- Kõrvel, V., Malkov, B., Kiipli, T. ja Tammik, P. 1986. Aruanne Balti mere Eestiga piirneva šelfiala geoloogiliste kaartide komplektist mõõtkavas 1:500 000 (vene keeles). Tallinn. EGF 4197.
- Lutt, J., Raukas, A. (toim.), 1993. Eesti šelfi geoloogia. Eesti Geoloogia Selts. Tallinn. 192 lk.
- Metlitskaja, V. I., Papko, A. M. 1992. Aeromagnetical mapping territory of Estonia at a scale of 1:25 000 and 1:50 000 in 1987–1991. Geological Survey of Belorussia. Minsk. (in Russian).
- Sinialu, R., Suuroja, S., Talpas, A., Floden, T., Karimov, M. 2006 a. Hiiumadala liivamaardla täiendav geoloogiline uuring. Eesti Geoloogiakeskus. EGF 7830.
- Sinialu, R., Suuroja, S., Talpas, A., Floden, T., Karimov, M. 2006 b. Liiva otsing merepõhjas Kõpu poolsaarest läänes. Eesti Geoloogiakeskus. EGF 7831.
- Suuroja, K. 1996 a. The geological mapping as a source of geological discoveries. Vilnius. Geological mapping in Baltic States. Newsletter 2, 19–22.
- Suuroja, K. 1996 b. Neugrund – a key to the problems of geology of the southern side of Gulf of Finland. *Bulletin of Estonian Geological Society*, 12–13.
- Suuroja, K., Kadastik, E., Ploom, K., Saadre, T. 1998. Loode-Eesti 1:50 000 (1:25 000) geoloogilise kaardistamise aruanne. Eesti Geoloogia-keskus. Tallinn, EGF 5920, 203 lk.
- Suuroja, K., Koppelmaa H., Kivisilla, J., Niin, M., Gromov, O., Klein, V. 1987. Geoloogiline süvakaardistamine Nõva-Haapsalu piirkonnas mõõtkavas 1:500 000 (topoalusel 1:200 000) 1985.-1987.a. (vene keeles). Eesti NSV Geoloogia Valitsus. Tallinn. EGF 4259.
- Suuroja, K., Morgen, E., Mardim, T., Otsmaa, M., Kaljuläte, K., Vahtra, T., All, T., Kõiv, M. 2010a. Eesti geoloogilise baaskaardi Paldiski (6333) leht. Seletuskiri. Tallinn.
- Suuroja, K., Niin, M., Suuroja, S., Ploom, K., Kaljuläte, K., Talpas, A., Petersell, V. 2010b. Suur-Pakri saare ja selle lähiümbruse geoloogilis-geotehnilis-hüdrogeoloogiliste uuringute aruanne. Eesti Geoloogiakeskus. Tallinn.
- Suuroja, K., Saadre, T. 1995. The gneiss-breccia erratic boulders from northwestern Estonia as witnesses of an unknown impact structure. *Bulletin of Geological Survey of Estonia* 5/1, 26–28.
- Suuroja, K., Suuroja, S. 1999. Neugrund structure - a submarine meteorite crater at the entrance to the Gulf of Finland. *Estonia Maritima* 4, 161–189.
- Suuroja, K., Suuroja, S. 2000. Neugrund Structure – the newly discovered submarine early Cambrian impact crater. In: Gilmour, I., Koeberl, C. (eds.) *Impacts and the Early Earth* Springer Verlag, Berliin-Heidelberg. Lecture Notes in Earth Sciences 91, 389–416.
- Suuroja, K., Suuroja, S. 2010. The Neugrund meteorite crater on the seafloor of the Gulf of Finland. *Baltica* 23 (1), 47–58.

- Suuroja, K., Suuroja, S., Talpas, A. 1999. Meregeoloogilised uuringud Osmussaare ja Pakri saarte vahemikus. Kaardid ja seletuskiri. Eesti Geoloogiakeskus. Tallinn, EGF 6119, 180 lk.*
- Suuroja, S. 2007. Comparative morphological analyse of the Early Palaeozoic marine impact structures Kärkla and Neugrund, Estonia. Tallinn University of Technology, PhD Thesis, 187 pp.*
- Suuroja, S., All, T., Plado, J., Suuroja, K. 2002. Geology and Magnetic Signatures of the Neugrund Impact Structure, Estonia. In: Plado, J., Pesonen, L. (eds.) Impacts in Precambrian Shields. Springer Verlag. Impact Studies, 277–294.*
- Suuroja, S., Suuroja, K. 2004. The Neugrund Marine Impact Structure (Gulf of Finland, Estonia). In: Dypvik, H., Burchell, M., Claeys, P. (eds.) Cratering in Marine Environments and on Ice. Springer Verlag. Berlin – Heidelberg. Impact Studies, 75–95.*
- Suuroja, S., Suuroja, K., Floden, T., Talpas, A., Kask, A., Ploom, K. 2012. Pakri (6244) kaardilehe merepõhja geoloogilis-geofüüsikalistest uuringutest. Eesti Geoloogiakeskus. Tallinn, EGF 8445.*
- Suuroja, S., Suuroja, K., Talpas, A. 2008. About seafloor geological investigations in Estonia. Baltica 20 (1/2), 34–42.*
- Talpas, A., Väling, P., Kask, J., Mardla, A., Sakson, M. 1994. Balti mere šelfiala geoloogiline kaardistamine mõõtkavas 1:200 000 (vene keeles). Aruanne. Eesti Geoloogiakeskus. Tallinn, EGF 4586.*