

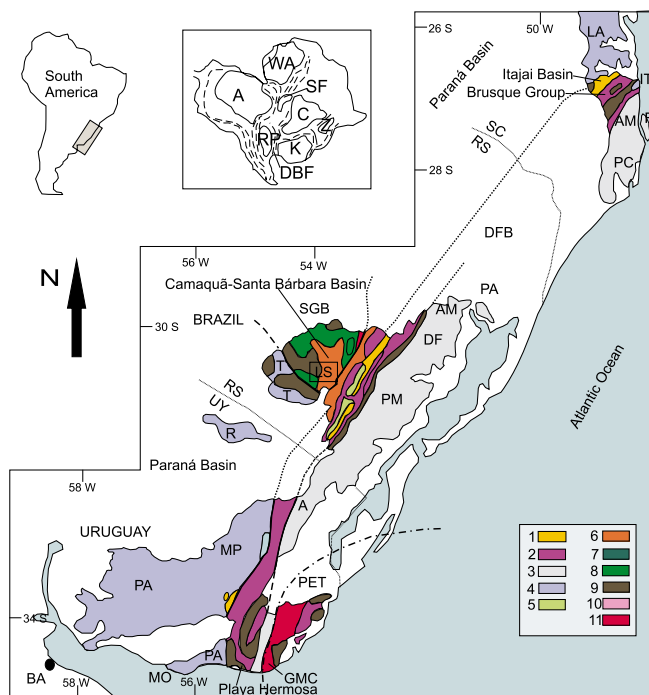
## Ei tillittejä, ei karbonaattilakkeja? Mikä vialla ”lumipallomaan” Etelä-Brasiliassa?

TONI EEROLA

Myöhäisproterotsoois-kambrikan taustat ovat olleet vilkkaan kansainvälisen keskustelun kohteena jo vuosikymmeniä. Sen ajan ilmastomuutokset ovat yksi tämän hetken polttavimmista geotieteellisistä kysymyksistä (Knoll *et al.* 2004). Vaikka aihe saattakin olla melko kaukainen Suomen geologian näkökulmasta, on siitä viime aikoina keskusteltu täälläkin (Laajoki 2001, Eerola 2006, Haapaniemi 2006). Asia on ollut esillä myös ulkomaisten vierailijoiden D. Evansin (2006) ja N. Eylesin (2006a) hiljattain täällä pitämässä esitelmissä.

Myöhäisproterotsooisia jäätikkömuodostumia on tavattu kaikilla mantereilla. Näihin perustuen on ehdotettu että koko maapallo oli jään peitossa, jopa päiväntasaajalla ja vieläpä useampaan kertaan, muodostaen nk. lumipallomaan (*snowball Earth*, Hoffman *et al.* 1998, Hoffman ja Schrag 2002). Hoffmanin *et al.* (1998) mukaan jääpallomaassa, eli jäätikköiden tai merijään peittämällä alueella, elämä miltei tukahtui kylmään ja valon puutteeseen, koska hydrologinen kierto pysähtyi jäätyminen takia. Yleensä näitä jäätikkömuodostumia peittävät karbonaattikerrostumat tai -”lakit”, jotka ovat merkkejä rajusta ja äkkinäisestä ilmastomuutoksesta kylmästä lämpimään. Ne ja niiden isotooppitutkimukset ovat suuren mielenkiinnon kohteena (Gaucher *et al.* 2003, Corsetti ja Kaufman 2005, Dehler *et al.* 2005, Halverson *et al.* 2005 ja niiden viitteet).

Globaaleja, myöhäisproterotsooisia jääkausia oli vähintään kolme (Halverson *et al.* 2005): Sturtian (<746–720 Ma), Marinoan (663–636 Ma) ja Gaskiers (~580 Ma, taulukko 1). Niiden muodostumia ei kuitenkaan tavata kaikista samanikäisistä altaista. Hyde *et al.* (2000) onkin ehdottanut, että päiväntasaajalla olisi tuolloin sijainnut myös pieniä, jäästä vapaita maa- ja merialueita,



Kuva 1. Etelä-Brasiliian ja Uruguain geologinen kartta (muutettu Baisein *et al.* 2000 kartasta).

*Fig. 1. Geological map of southern Brazil and Uruguay (after Baisein *et al.* 2000). A=Amazonian Craton; RP=Rio de la Plata Craton; DFB=Dom Feliciano Belt; K=Kalahari Craton; C=Congo Craton; Z=Zambia Craton; SF=São Francisco Craton; WA=West African Craton.*

Dom Feliciano Belt (DFB), 1 – Foreland basins: Itajaí, Camaquã, El Soldado-Piriápolis; 2-Schist Belts and intrusive granitoids: Brusque Group, Lavelleja Group; 3-Granitoid Belt: Florianópolis Batholith (AM, PG), Pelotas Batholith (AM, PC, PM), Aiguá Batholith (A); 4-Basement inliers: Morro do Boi, Encantadas, Punta Rasa; 5-Foreland, internally preserved of Neoproterozoic overprint: Luís Alves Microplate (LA) and Piedras Altas terrane (PA); affected by Neoproterozoic heating and granitogenesis: Taquarembó (T), Rivera (R) and Nico Perez (NP); São Gabriel Block (SGB), 6-Foreland basins (Santa Bárbara); 7-Intrusive granitoid (São Sepé, Caçapava and São Gabriel); 8-Metamorphic rocks (Cambaí and Vacacaí Groups); Punta del Este Terrane (PET), 9-Intrusive granitoid (Santa Tereza and San Ignacio); 10-Metasedimentary cover (Rocha Group); 11-Basement (orthogneiss with metasedimentary enclaves).

Geographic references: SC – Santa Catarina State, RS – Rio Grande do Sul State, FL – Florianópolis, PA – Porto Alegre, IT – Itajaí, LS – Lavras do Sul, MO – Montevideo, BA – Buenos Aires.

Taulukko 1. Camaquã-Santa Bárbara-altaan stratigrafia (Paim *et al.* 2000, Pelosi ja Fragoso-Cesar 2003, Janikian *et al.* 2004, Fambrini *et al.* 2005), muodostumien iät (Hartmann *et al.* 2000, Paim *et al.* 2000), merenpinnan vaihtelut – X (R-lasku, T-nousu) sekä Namibiassa tavatut myöhäisproterotsooiset jääkaudet (Germs 1995, Halverson *et al.* 2005). Globaalit jääkaudet lihavoidulla kursivilla. C-Kambriikausi; O-Ordovikikausi. Muutettu Eerolan (2006) artikkelista. *Table 1. The stratigraphy of the Camaquã-Santa Bárbara basins (Paim et al. 2000, Pelosi & Fragoso-Cesar 2003, Janikian et al. 2004, Fambrini et al. 2005), ages of formations (Hartmann et al. 2000, Paim et al. 2000, Janikian et al. 2004, Saalman et al. 2005), base level changes – X (R-Regression; T-Transgression), and Neoproterozoic glaciations in Namibia (Germs 1995, Halverson et al. 2005). Global glaciations with bold and italic. C -Cambrian, O - Ordovician. After Eerola (2006).*

PERIOD	ALLOGROUP	ALLOFORMATION AND ITS CHARACTERISTICS	BASE LEVEL		ICE AGE
			R	T	
O	<b>Guaritas</b> (540–470 Ma) Cratonization	<b>Varzinha:</b> alluvial fan and deltaic sandstones, desiccation cracks		X	<b>Ordovician</b>
		<b>Pedra Pintada:</b> aeolian sandstones, Rodeio Velho andesites	X		<b>Nama</b>
C	<b>Santa Bárbara</b> (559–540 Ma)	<b>João Dias:</b> coastal and beach deposits		X	
		<b>Rincão dos Mouras:</b> alluvial fans	X		
		<b>Seival:</b> tempestites, coastal deposits	X		
		<b>Passo da Capela:</b> turbidites		X	
	<b>Cerro do Bugio</b> (573–559 Ma)	<b>Serra dos Lanceiros:</b> deltaic sandstones, desiccation cracks		X	
		<b>Acampamento Velho:</b> acid volcanism	X		<b>Moelv</b>
	<b>Bom Jardim</b> (592–573 Ma) Rifting	<b>Picada das Graças:</b> alluvial conglomerates, sandstones, diamictites, rhythmic shales with limestones, turbidites, desiccation cracks	X		<b>Gaskiers</b>
		<b>Hilário:</b> ~592 Ma, shoshonitic andesites, basalts, rhyolites and pyroclastics entering into water bodies		X	
		<b>Cerro da Angélica:</b> alluvial sandstones, shales and pebbly sandstones, peperites	X		
	<b>Maricá</b> (~640–600 Ma) Dom Feliciano Orogeny, basin installation	<b>Arroio América:</b> sandstones, conglomerates, braided rivers	X		
		<b>São Rafael:</b> turbidites, tempestites		X	
		<b>Passo da Promessa:</b> sandstones, braided rivers	X		
C	<b>Non-deposition or unpreservation</b>		?	?	<b>Marinoan</b>
		<b>Vila Nova Belt</b> (860–700 Ma) Rifting from Rodinia (?) and São Gabriel Orogeny	Gneisses, amphibolites, ophiolites, metagranitoids, schists, BIFs, metavolcanics, metacarbonates, metadiamictites	Uninvestigated	<b>Sturtian</b>
					<b>Kaigas</b>



Kuva 2. Myöhäisproterotsooinen diamiktiitti Bom Jardim -ryhmän Picada das Graças -muodostumassa, Camaquã-Superryhmä. Passo da Areia, Lavras do Sul, Etelä-Brasilia. Kuva kirjoittajan.  
*Fig. 2 A Neoproterozoic diamictite within the Picada das Graças Formation of the Bom Jardim Group, Camaquã Supergroup. Passo da Areia locality, Lavras do Sul, southern Brazil. Photo by the author.*

muodostaen nk. sohjopallomaan (*slushball Earth*). Tällaisten ei-glasiaalisten alueiden paikantaminen on tärkeää, koska näissä tapahtui elämän kehitystä (Hyde *et al.* 2000, Runnegar 2000). Keskustelu on merkittävää mm. Ediakara-eliöstön ilmestymisen suhteen (ks. Haapaniemi 2006 ja sen viitteet).

Sturtianin ja Marinoanin jääkausien aikaa kutsutaan syystäkin Kryogeeniksi, kun taas sitä seuraavaa sattuneesta syystä Ediakaraksi (Knoll *et al.* 2004, taulukko 1).

Namibiassa tavataan neljän tai jopa kuuden eri myöhäisproterotsoois-kambriakauden jäätiköitymisen merkit (Kaigas ~770–735 Ma, Sturtian, Marinoan, Gaskiers, Moelv/Egan <~570 Ma, sekä Nama (kambrikautinen), joista ainakin kolme oli maailmanlaajuisia (Germs 1995, Hoffman *et al.* 1998, Halverson *et al.* 2005, taulukko 1). Kalahari- ja Rio de la Plata-kratonit törmäsivät tuolloin. Etelä-Brasilia, Uruguay ja Argentiina olivat näin lähellä Namibiaa.

Etelä-Brasilian myöhäisproterotsooiset altaat ovat n. 860–700 Ma (Vacacaí-, Porongos- ja Brusque-ryhmät, Saalman *et al.* 2005) sekä ~640–470 Ma ikäisiä (Camaquã- ja Itajaí-superryhmät, A. Hartmann ja A. Barbosa, henk. koht. tiedonannot 2006)(kuva 1, taulukko 1). Näistä voidaan siis odottaa Kaigas-, Sturtian-, Gaskiers- Moelv/Egan- sekä Nama-jääkausien jälkiä.

Eerola (1995) ehdotti että Etelä-Brasilian myöhäisproterotsoois-kambri-

kautinen jäätikkömuodostuma (kuvat 2, 3). Koska diamiktiittejä ja ”pultereita” voi muodostua muillakin tavoin kuin glasiaalivaikutuksesta, on sen tulkinta kuitenkin vielä epäselvä (Eerola ja Gofferman 2005, Eerola 2006). Tällä hetkellä näyttääkin siltä ettei Etelä-Brasiliasta ole löytynyt ainakaan selkeästi tunnistettavia myöhäisproterotsooisia jäätikkömuodostumia (Eerola 2002, 2006, Janikian *et al.* 2004, Eerola ja Gofferman 2005). Alue on kuitenkin myöhäisproterotsooisien jäätikkömuodostumien ympäröimä (Eerola 2001). Näin Etelä-Brasilia muodostaakin anomaalisen alueen Gondwana-supermantereen rekonstruoinneissa (Eerola 2002). Se on paradoksi, jolle pitää löytää vastaus. Aiheesta ei kuitenkaan keskustella aluetta käsittelevässä kirjallisuudessa. On kuin koko ongelmaa ei olisi.

Tässä artikkelissa tarkastellaan joitakin mahdollisia syitä selkeästi tunnistettavien myöhäisproterotsooisien jäätikkömuodostumien puuttumiseen Etelä-Brasilian alueella. Sen luonne on spekulatiivinen ja se on jatkoa Eerolan (2006) kirjoitukselle. Samalla tarkastellaan alueen myöhäisproterotsoois-kambrikautista stratigrafiaa ja -merenpinnan vaihteluita, joita yritetään alustavasti korreloida tuon ajan globaaleihin tapahtumiin. Tässä esitettyjä kysymyksiä voidaan myös soveltaa muille samanikäisille alueille, mistä jäätikkömuodostumia ei ole löytynyt.



Kuva 3. Pyörästynyt, porfyriittinen lohkkare myöhäisproterotsooisen Bom Jardim-ryhmän Picada das Graças -muodostuman savikivessä. Kuva kirjoittajan.

Fig. 3. Rounded, porphyritic clast within mudstone of the Picada das Graças Formation, Bom Jardim Group, Lavras do Sul, southern Brazil. Photo by the author.

### Sytä jäätikkömuodostumien (näennäiseen?) puuttumiseen Etelä-Brasiliassa

Onko Hoffmanin *et al.* (1998) lumipallomaaske-naariossa jotain vialla, jos Etelä-Brasiliassa ei ole tuon ikäisiä jäätikkömuodostumia? Eerola (2002) tarkasteli joitakin mahdollisia syitä siihen, ettei selkeästi tunnistettavia myöhäisproterotsooisia glasiogeenisia muodostumia ole (ainakaan vielä) Etelä-Brasiliasta löytynyt:

- Asiaa on tutkittu vähän, jos ollenkaan;
- Jäätikkömuodostumia esiintyy pieninä jäänteinä vähän tutkituissa tai tuntemattomissa paikoissa;
- Jäätikkömuodostumien täydellinen erodoituminen tai uudelleen työstäminen;
- Etelä-Brasilian tuolloinen sijainti päiväntasaajalla, ts., ei-glasiiaalinen ilmasto ja yksi lumipallomaan jäästä vapaista”aukoista”.

### Inhimilliset syyt

Kaksi ensimmäistä syytä voivat olla vastaus siihen, miksi näitä jäätikkömuodostumia ei ole vielä löytynyt Etelä-Brasiliasta (A. Hartmann, henk. koht. tiedonanto 2006). Mutta on myös todennäköistä, ettei niitä ole alueella kahdesta viimeisestä, luonnollisesta syytä johtuen.

### Luonnolliset syyt

#### *Erodituminen tai työstäminen*

Etelä-Brasilian myöhäisproterotsooisten molassisten altaiden (~640–470 Ma) vyörykeilojen, palmikkojokien ja deltojen konglomeraatit ja diamiktiitit voivat olla vuoristoissa sijainneiden jäätikkömuodostumien distaaliosia, joissa glasiiaalivaikutuksen merkit ovat tuhoutuneet muiden prosessien vaikutuksesta. Näiden sedimentaatio ja -rakenteet eivät eroa mitenkään ei-glasiaalista; siksi näitä voi olla vaikea tunnistaa, varsinkin muinaisissa kerrostumissa (Eyles ja Kocsis 1988, Lønne 1995, Owen *et al.* 2006). Ilmaston vaikutusten tunnistaminen onkin vaikeaa tektonisesti aktiivisessa ympäristössä kerrostuneissa, muinaisissa sedimenttimuodostumissa (Eyles ja Januszczak 2004, Arnaud ja Eyles 2006, Vakarelov *et al.* 2006).

Paimin *et al.* (2000) ja Janikianin *et al.* (2003) mukaan Camaquã-Santa Bárbara-altaan konglomeraattien klattit ovat lähialueiden silloisilta vuorilta tulleita. Mahdolliset tiliitit ovat taas voineet erodoitua allasta muinoin ympäröineiden vuoristojen mukana, jos kyseessä oli vuoristojäätikköjä.

Koska Marinoa-jääkausi on varhaisempi kuin molassiset Camaquã- ja Itajaí-altaat (ks. taulukko 1), sen jäljet eivät ole luultavasti säilyneet, jos sen jäätiköt ylipäätään levisivät alueelle. On kuitenkin mielenkiintoista, että Camaquã-altaan pohjakerrostuma (Maricá-ryhmä) merkitsee siirtymistä kryogeenisestä aikakaudesta Ediakaraan, Mari-

noa-jääkauden päättyessä (~636 Ma), pitkän, kymmeniä miljoonia vuosia kestäneen hiatuksen jälkeen (taulukko 1). On mahdollista, että Maricá-ryhmän Passo da Promessa -muodostuma on Marinoanin jäätikköiden distaali sulamistuote. Sen sedimentaatio on voinut tuhota mahdolliset Marinoanin jäätikkömuodostumat (vrt. Eyles 2006b). Tämän jälkeen merenpinta nousi (São Rafael -muodostuma).

Gaskiersin ja Moelv/Egan-jääkausien merkit taas tavataan vain joissakin paikoissa maailmalla, mm. Namibiassa (Halverson *et al.* 2005). Vaikka ikänsä puolesta niiden voisikin odottaa löytyvän Etelä-Brasiliasta, niiden jäljet eivät ole säilyneet, ainakaan selkeästi tunnistettavina, tai jäätiköt eivät ole ehkä sinne levinneet. Lavras do Sulissa tutkiman muodostuma (ks. Eerola 2006) on kuitenkin suurin piirtein Gaskiers-jääkauden ikäinen (taulukko 1) ja se on varteenotettava kandidaatti glasiaalivaikutuksen suhteen (kuvat 2, 3).

Taas Kaigasın ja Sturtianin ikäisten jäätikkömuodostumien tunnistaminen Vacacaí- ja Brusque-ryhmissä voi olla hankalaa, niiden deformaation ja metamorfoosin vuoksi. Bocchi (1970) on kuitenkin ehdottanut sellaisen olemassoloa Vacacaí-ryhmässä. Sitä ei ole kuitenkaan toistaiseksi tutkittu.

### ***Sijainti päiväntasaajalla ja lämmin ilmasto***

D'Agrella Filho ja Pacca (1988) paikansivat myöhäisproterotsoois-kambrikautisen Etelä-Brasilian keskileveysasteille, mutta tuloksiin ei voi luottaa (L. Pesonen, henk. koht. tiedonanto 1996, Evans 2000, D'Agrella Filho, henk. koht. tiedonanto 2002). Grunowin *et al.* (1996) ja Sánchez-Bettuccin ja Rapalinin (2002) mukaan Etelä-Brasilia, Uruguay ja Namibia sijaitsivat tuolloin samoilla keskileveysasteilla. Evans (2000) sijoittaa kuitenkin useammat myöhäisproterotsooiset jäätikkömuodostumat päiväntasaajan läheisyyteen. Se vahvistaa näin osaltaan lumipallomaa-teoriaa.

Uruguaysta on äskettäin esitetty löytyvän n. 600 Ma ikäinen jäätikkömuodostuma (Pazos *et al.* 2003). C- ja Sr-isotooppien avulla Gaucher *et al.* (2003) määrittivät kylmän ilmaston merkit uruguailaisen Arroyo del Soldado -metasedimentti-ryhmän karbonaateista. Jos Uruguay ja Namibia olivat tuolloin Etelä-Brasilian kanssa lähekkäin, saman ilmaston olisi pitänyt vallita tuolloin myös Etelä-Brasiliassa.

Hoffmanin ja Schragin (2002) mukaan siellä missä ei glasiogeenisiä muodostumia tavata, on ablaatio voinut ylittää sademäärän, jolloin jäätikköjä ei synny. Jäätiköitymisten merkkien näen-

näistä puuttumista Etelä-Brasiliasta voi myös yrittää selittää paikallisten ilmavirtaus- ja sademäärien eroilla Namibian, Uruguayn ja Etelä-Brasilian välillä (ks. esim. Yang *et al.* 2006). Tällaisia eroja ovat voineet aiheuttaa mm. Brasiliano-Pan-Afrikan orogenioiden kohoavat vuoristot ja niiden tuomat muutokset. Eli Uruguayssa ja Namibiassa on saattanut hyvinkin vallita glasiaali-ilmasto, kun taas Etelä-Brasiliassa lämpimämpi, ehkä peri-glasiiaalinen.

Tämä tosin ei sovi yhteen lumipallomaa-teorian kanssa, jossa koko hydrologinen kierto olisi tukahtunut. Itse asiassa jäätikötkään eivät kasvaisi hydrologisen kierron puuttuessa. Se, kuten muutkin evidenssit maailmalla osoittavat, että kierron on täytynyt toimia tuolloin normaalisti (ks. Eyles ja Januszczak 2004 ja sen viitteet).

Jos Etelä-Brasilia sijaitsi tuolloin päiväntasaajalla, missä vallitsi lämpimämpi ilmasto, alueella esiintyvät diamiktiitit edustaisivat tällöin vain punktuaalisia, katastrofaalisia sedimentaatiotapah-tumia tektonisesti epävakaisissa molassisissa altaissa, ilman glasiaalivaikutusta.

### **Keskustelua – epäsuorat ilmastoindikaattorit**

Vacacaí-ryhmässä tavataan rauta- ja karbonaattimuodostumia. Näiden mahdollinen assosiaatio diamiktiittien kanssa voi olla merkki tyypillisistä Sturtianin ikäisistä jäätikkömuodostumista. Asiaa ei ole kuitenkaan vielä tutkittu.

Taas Camaquã- ja Itajaí-altaista (640–470 Ma) ei ole toistaiseksi löytynyt ilmastoindikaattoreita, kuten tilliittejä, karbonaatteja, rautamuodostumia, evaporiitteja, tms. Sedimentaatio oli täysin klastista. Flintin (1961) mukaan klastinen sedimentaatio merkitsee yleensä kylmää, jopa periglasiaalista ilmastoa. Juuri vyörykeila- ja palmikkokojiki-muodostumat ovat yleisiä Camaquã-altaassa. Niiden muodostumisessa ovat tärkeitä sekä ilmasto, että tektoniikka. Sekä lämmin- ja kuiva-, että periglasiiaalinen ilmasto ovat niille suotuisia (Rust ja Koster 1984, Van Steijn *et al.* 2002, Owen *et al.* 2006). Tämä ja täysin klastinen sedimentaatio voivat näin epäsuorasti viitata ei-glasiiaaliseen, mutta kylmään ilmastoon myöhäisproterotsooisessa Etelä-Brasiliassa. Tätä yritetään selvittää mm. geokemiallisen provenanssi- ja -paleoilmastotutkimuksen avulla Lavras do Sulissa.

Joka tapauksessa näiden muodostumien kerrostumiseen on täytynyt vaikuttaa myöhäisproterotsoois-kambrikauden globaalit- ja rajut ilmaston-

muutokset sekä niitä seuranneet merenpinnanvaihtelut (ks. Christie-Blick *et al.* 1995, taulukko 1).

Sekvenssistratigrafiaa onkin alettu käyttämään enenevässä määrin myös myöhäisproterotsoisten kerrossarjojen korrelaatioissa (esim. Corsetti ja Kaufman 2005 ja sen viitteet). Tosin tätä on myös kritisoitu (Eyles ja Januszczak 2004).

Paim *et al.* (2000), Pelosi ja Fragoso-Cesar 2003, Janikian *et al.* (2003, 2004) ja Fambrini *et al.* (2005) ovat paikantaneet useita epäjatkuvuuksia ja merenpinnan vaihteluita Camaquã-altaan stratigrafiassa (taulukko 1). Heille nämä ovat kuitenkin muodostuneet tektoniikan ansiosta; mahdollisia ilmastomuutosten aiheuttamia eustaattisia vaihteluita ei ole huomioitu.

Camaquã-altaassa tapahtunut merenpinnan lasku ja sedimenttien kuivumisrakojen esiintyminen Bom Jardim -ryhmässä (Paim *et al.* 2000, Janikian *et al.* 2003) voivat merkitä Gaskiers-jääkauden vaikutusta (ks. taulukko 1). Jääkauden ilmasto aiheuttaa merenpinnan laskun sekä kuivuutta päiväntasaajavyöhykkeillä ja supermantereiden sisäosien vuoristojen välisissä altaissa (Hoffmann ja Schrag 2002, Dehler *et al.* 2005, Owen *et al.* 2006). Taulukon 1 mukaan alhainen merenpinta sopii Marinoanin jälkeiseen aikaan ja varsinkin Gaskiers- ja Moelv/Egan-jääkausiin. Merenpinta vaihteli niiden jälkeen jyrkästi.

Ilmastomuutosten aiheuttamien signaalien havaitseminen on kuitenkin vaikeaa tektonisesti aktiivisissa altaissa; jääkausien aiheuttamat merenpinnan vaihtelut yleensä peittyvät tektoniikan aiheuttamiin muutoksiin (Eyles and Januszczak 2004), mutta myös päinvastoin (Vakarelov *et al.* 2006), eli tektoniikan aiheuttamien merenpinnanvaihteluiden tarkastelu on vaikeaa jääkausien ja voimakkaasti epävakaaan ilmastoon aikana. Tämä pätee erityisesti myöhäisproterotsooiseen aikaan. Tämä pitää ottaa huomioon, kun tämän ikäisiä alaita tutkitaan.

### **Yhteenveto**

Etelä-Brasilia oli myöhäisproterotsoisten jäätikömuodostumien ympäröimä. Siellä ei niitä ole toistaiseksi kuitenkaan todistettavasti tavattu. Kuitenkin Kaigasin, Sturtianin, Gaskiersin ja Moelvin/Egonin jääkaudet ovat samanikäisiä alueen altain kanssa.

Jäätiköiden merkkien näennäiseen puuttumiseen esitettiin neljä mahdollista syytä. Kaksi inhimmillistä syytä voidaan niputtaa yhteen: asiaa ei ole tarkemmin tutkittu. Siksi onkin vielä liian aikais-

ta sanoa, ovatko myöhäisproterotsooiset jäätiköt jättäneet jälkiä alueelle vai eivät.

Mahdollisia luonnollisia syitä taas ovat alueen sijainti jäädä vapaalla vyöhykkeellä päiväntasaajan läheisyydessä tai jäätiköiden jälkien erodoituminen tai työstäminen.

Camaquã-altaan täysin klastinen sedimentaatio viittaa kuitenkin epäsuorasti kylmään, jopa mahdollisesti periglasiaaliseen ilmastoon. Myös merkittävät merenpinnan vaihtelut ovat mahdollisesti yhdistettävissä Gaskiers- ja Moelv/Egan-jääkausiin. Marinoa-jääkausi on puolestaan vanhempi kuin alueen molassiset altaat ja sen mahdolliset merkit ovat luultavasti erodoituneet. Maricá-ryhmä taas merkitsee siirtymistä kryogeenikaudesta ediakarakauteen ja mahdollisesti Marinoanin postglasiaalikerrostumia.

Yksi asia on kuitenkin varmaa: Etelä-Brasilia ei ollut eristyksissä muusta myöhäisproterotsooisesta maailmasta, kuten paikallisesta kirjallisuudesta voisi olettaa. Onkin tullut aika asettaa se tuon ajan globaalien tapahtumien yhteyteen.

Alueen muinaisen leveysasteen ja sijainnin määrittäminen Gondwanamantereeseen-rekonstruoinnissa, sedimenttien provenanssi- ja geokemialliset sekä sekvenssistratigrafiset tutkimukset ovat tässä keskustelussa avainasemassa.

### **Summary: No tillites, no cap carbonates? What's wrong with the "snowball Earth's" southern Brazil?**

The article deals with the research on Neoproterozoic diamictites in southern Brazil. Some of these diamictites might be related with global Neoproterozoic glaciations, although no consistent evidences for that have been found yet by the author. However, research on this issue is in its very beginning. No attention has been given for this issue in the current local literature.

The ages of the Neoproterozoic successions of southern Brazil are 860–700 Ma (Vacacaí, and Brusque Groups), and ~640–450 Ma (Camaquã-Santa Bárbara-Itajaí Basins). The age of the first one coincides with the Kaigas and Sturtian glaciations (<770–700 Ma), and there is one reference on glacial influence near Caçapava do Sul by Bocchi (1970), but it has not been reinvestigated. A possible association of diamictites with existent iron formations and carbonates within the Vacacaí Group can also be suggestive of Sturtian glacial deposits, but this relationship should be studied.

The Marinoan glacial record (663–636 Ma) is most probably absent, because it is older than the Camaquã-Santa Bárbara-Itajaí basins, and was eroded, if it was present there. A huge hiatus is found between the Vacacaí and Camaquã groups. It is noteworthy that the beginning of sedimentation (Maricá Group) of the Camaquã Supergroup (~640 Ma) marks the transition from Cryogenian to Ediacaran in southern Brazil and the Maricá Group can then represent a distal, post-Marinoan meltwater deposition, that can have destroyed Marinoan glacial deposits, if existed there.

The Gaskiers and Moelv/Egan (~580 Ma and ~570 Ma) glacially influenced deposits may well be present within the Camaquã Supergroup. Suggestive features (diamictites and lonestones) have been found within the Bom Jardim Group at Passo da Areia, Lavras do Sul, and the sequence is under investigation by the author.

However, due to lack of clearly identifiable glacial deposits, the region forms an anomalous area in the middle of extensive Sturtian, Marinoan, and Gaskiers glacial records found at paleogeographically surrounding areas (Paraná, Mato Grosso, Namíbia, Uruguay, Argentina and Laurentia).

The apparent absence of clearly identifiable glacial deposits and a general ignoring of the Neoproterozoic climate changes in the current local literature give an impression that southern Brazil was not affected by Neoproterozoic glaciations at all, although several, significant sea-level changes are recorded there. For some reason, eustatic causes have not been discussed in the local literature.

Table 1 shows that there are slight coincidences of base level variations during the evolution of the Camaquã Basin. The base level rose after the Marinoan glaciation, and dropped during the Gaskiers and Moelv/Egan glaciations. However, the tectonic effects on sedimentation have been systematically over-emphasized in literature on the region.

Four reasons are suggested in order to try to explain the apparent lacking of the Neoproterozoic glacial record at southernmost Brazil: (1) The subject remains little or uninvestigated; (2) Glacial deposits may be present in some little investigated or unknown places; (3) Total removal or reworking of glacial deposits, and (4) Equatorial location of southern Brazil, with warm climate.

However, according with A. Hartmann (pers. comm. 2006), the apparent absence of such record can be simply due to lack of specific studies on the subject. Therefore, it is premature to say if

there are remains of Neoproterozoic glacial deposits or not.

The proposed natural causes to explain such apparent absence are that the region was located at an ice-free, near-equatorial position, but with a cold, non-glacial climate, suggested by entirely clastic sedimentation of the Camaquã Supergroup, or that a possible glacial record was eroded or reworked, and has not been recognized.

Provenance, geochemical and sequence stratigraphic and paleomagnetic investigations on Neoproterozoic sedimentary sequences of southernmost Brazil are key topics in this discussion.

Hopefully, further research on southern Brazil would reveal if the region was affected by Neoproterozoic glaciations or not, and which of the presented reasons are valid to explain the apparent absence of their record, or are there other hypothesis that are not considered here.

At this moment, the only certainty is that southern Brazil was not isolated from the rest of the world during Neoproterozoic. It is time to locate it within a broad context of global events of that period.

The work is contribution for the IGCP 478 Neoproterozoic-Early Paleozoic Events in SW Gondwana, IGCP 493 Rise and fall of the Vendian biota-, and IGCP 512 Neoproterozoic ice ages.

## Kirjallisuus - References

- Arnaud, E. ja Eyles, C.H. 2006. Neoproterozoic environmental change recorded in the Port Askaig Formation, Scotland: climatic vs. tectonic controls. *Sedimentary Geology* 183:99–124.
- Basei, M.A.S., Siga Junior, O., Masquelin, H., Hara, O.M., Reis Neto, J.M. ja Preciozzi, F. 2000. The Dom Feliciano Belt of Brazil and Uruguay and its foreland domain, the Rio de la Plata Craton. Framework, tectonic evolution and correlation with similar provinces of southwestern Africa. Teoksessa: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A. ja Campos, D.A. (toim.). *Tectonic evolution of South America*. Rio de Janeiro, 31<sup>st</sup> International Geological Congress, 311–334.
- Bocchi, P.R. 1970. *Geologia da folha Caçapava do Sul*. 1 mapa escala 1:50.000. *Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia* 245:1–83.
- Christie-Blick, N., Dyson, I.A. ja Von der Borch, C.C. 1995. Sequence stratigraphy and the interpretation of Neoproterozoic earth history. *Precambrian Research* 73:3–26.
- Corsetti, F.A. ja Kaufman, A.J. 2005. The relationship between the Neoproterozoic Noonday Dolomite and the Ibex Formation: New observations and their bearing on “snowball Earth”. *Earth Science Review* 73:63–78.

- D'Agrella Filho, M.S. ja Pacca, I.G. 1988. Paleomagnetism of the Itajaí, Castro and Bom Jardim groups from southern Brazil. *Geophysical Journal* 93:365–376.
- Dehler, C.M., Elrick, M., Bloch, J.D., Crossoy, L.J., Karlstrom, K.E. ja Des Marais, D.J. 2005. High resolution  $\delta^{13}\text{C}$  stratigraphy of the Chuar Group (ca.770–742 Ma), Grand Canyon: implications for mid-Neoproterozoic climate change. *The Geological Society of America Bulletin* 117:32–45.
- Eerola, T. 1995. From ophiolites to glaciers? Review on geology of the Neoproterozoic-Cambrian Lavras do Sul region, southern Brazil. Teoksessa: Autio, S. (toim.) Geological Survey of Finland Current Research 1993–1994. Geological Survey of Finland Special Paper 20:5–16.
- Eerola, T. 2001. Climate changes at the Neoproterozoic-Cambrian transition. Teoksessa: Zhuravlev, A.Y ja Riding, R. (toim.). *The Ecology of the Cambrian Radiation*. New York, Columbia University Press, 90–106.
- Eerola, T. 2002. “A tropical paradise”? Neoproterozoic glaciations from the southern Brazilian perspective. Teoksessa: Gaucher, C. (toim.). *Extended Abstracts, II International Colloquium Vendian-Cambrian of W-Gondwana*, Montevideo 07.–08.03.2002. Montevideo, Facultad de Ciencias-UNESCO, 18–20.
- Eerola, T. 2006. Myöhäisproterotsooiset ilmastonmuutokset. Tutkimuksia Etelä-Brasiliassa (English summary: Neoproterozoic climate changes. Research on southern Brazil). *Geologi* 58:165–176.
- Eerola, T. ja Gofferman, M. 2005. A Neoproterozoic diamictite-lonestone association in the Bom Jardim Allogroup at Lavras do Sul, southern Brazil. Teoksessa: Cernuschi, F. (toim.) 2<sup>nd</sup> Symposium on Neoproterozoic – Early Paleozoic Events in Southwestern Gondwana. Windhoek, Geological Survey of Namibia/IGCP 478, 14–16.
- Evans, D.A.D. 2000. Stratigraphic, geochronological and paleomagnetic constraints upon the Neoproterozoic climatic paradox. *American Journal of Science* 300:347–433.
- Evans, D.A.D. 2006. Paleomagnetism of glacial deposits and evaporites through Earth history: Clues toward understanding ancient climates and the evolving geomagnetic field. Lecture at the Geological Society of Finland Meeting, 16.11.2006, Tieteiden Talo, Helsinki, Finland.
- Eyles, N. 2006a. Modern, Quaternary and Pre-Quaternary glaciations and their Sedimentary Record. Lecture at Short Course on Modern Approaches on Glacial Sedimentology, 25.–26.10.2006, University of Turku, Finland.
- Eyles, N. 2006b. The role of meltwater in glacial processes. *Sedimentary Geology* 190:257–268.
- Eyles, N. ja Kocsis, S. 1988. Sedimentology and clast fabric of subaerial debris flow facies in a glacially-influenced alluvial fan. *Sedimentary Geology* 59:15–28.
- Eyles, N. ja Januszczak, N. 2004. “Zipper-rift”: a tectonic model for Neoproterozoic glaciations during the breakup of Rodinia after 750 Ma. *Earth Science Review* 65: –73.
- Fambrini, G.L., Janikian, L., de Almeida, R.P. ja Fragoso-Cesar, A.R.S. 2005. O Grupo Santa Bárbara (Ediacarano) na sub-bacia Camaquã Central, RS: Estratigrafia e sistemas deposicionais. *Revista Brasileira de Geociências* 35:227–238.
- Flint, R.F. 1961. Geological evidence of cold climate. Teoksessa: Nairn, A.E.M. (toim.). *Descriptive climatology*. New York, Interscience Publishers Inc., 140–155.
- Gaucher, C., Boggiani, P.C., Sprechmann, P., Sial, A.N. ja Fairchild, T. 2003. Integrated correlation of the Vendian to Cambrian Arroyo del Soldado and Corumbá Groups (Uruguay and Brazil): palaeogeographic, palaeoclimatic and palaeobiologic implications. *Precambrian Research* 120:241–278.
- Germes, G.J.B. 1995. The Neoproterozoic of southwestern Africa, with emphasis on platform stratigraphy and paleontology. *Precambrian Research* 73:137–151.
- Grunow, A., Hanson, R. ja Wilson, T. 1996. Were aspects of Pan-African deformation linked to Iapetus opening? *Geology* 24:1063–1066.
- Haapaniemi, A. 2006. Ediacara. Stratotyypit ja elämän varhaiskehityksen problematiikka (English summary: Ediacara. Its stratotype and problematics of early life evolution). *Geologi* 58:117–126.
- Halverson, G.P., Hoffman, P.F., Schrag, D.C. ja Rice, A.H. 2005. Toward a Neoproterozoic composite carbon-isotope record. *The Geological Society of America Bulletin* 117:1181–1207.
- Hoffman, P.F., Kaufman, A.J., Halverson, G.P. ja Schrag, D.P. 1998. A Neoproterozoic snow-ball Earth. *Science* 281:1342–1346.
- Hoffman, P.F. ja Schrag, D.P. 2002. The snowball Earth hypothesis: testing the limits of global change. *Terra Nova* 14:129–155.
- Hyde, W.T., Crowley, T.J., Baum, S.K. ja Peltier, W.R. 2000. Neoproterozoic “snowball Earth” simulations with a coupled climate/ice-sheet model. *Nature* 405:425–429.
- Janikian, L., De Almeida, R.P., Fragoso-Cesar, A.R. ja Fambrini, G.L. 2003. Redefinição do Grupo Bom Jardim (Neoproterozóico III) em sua área tipo: litostratigrafia, evolução paleoambiental e contexto tectônico. *Revista Brasileira de Geociências* 33:347–360.
- Janikian, L., De Almeida, R., Fragoso-Cesar, A.R., Martins, V.T.S., D'Agrella Filho, M.S., McReath, I. ja Dantas, E.L. 2004. Neoproterozoic to Early-Cambrian volcano-sedimentary successions of the Camaquã Basin, Rio Grande do Sul State, Brazil. Teoksessa: Boggiani, P.C., Faichild, T.R., Gesicki, A.L., Schmitt, R.S. ja Warren, L.V. (toim.). 1<sup>st</sup> Symposium on Neoproterozoic-Early Paleozoic Events in SW-Gondwana. São Paulo, IG/USP, 40–42.
- Knoll, A., Walter, M.R., Narbonne, G.M. ja Christie-Blick, N. 2004. A new period for the geologic time scale. *Science* 305:621–622.



- Laajoki, K. 2001. Additional observations on the Late Proterozoic Varangerfjorden unconformity, Finnmark, northern Norway. *Bulletin of the Geological Society of Finland* 73:17–34.
- Lønne, I. 1995. Sedimentary facies and depositional architecture of ice-contact glaciomarine systems. *Sedimentary Geology* 98:13–43.
- Owen, L.A., Finkel, R.C. Haizhou, M. ja Barnard, P.L. 2006. Late Quaternary landscape evolution in the Kunlun Mountains and Quidam Basin, Northern Tibet: a framework for examining the links between glaciations, lake level changes and alluvial fan formation. *Quaternary International* 154–155:73–86.
- Paim, P.S.G., Chemale Jr., F. ja Lopes, R. da C., 2000. A Bacia do Camaquã. Teoksessa: Holz, M. ja De Ros, L.F. (toim.) *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, Centro de Investigação de Gondwana, 251–274.
- Pazos, P.J., Sánchez-Bettucci, L. ja Tófaló, R.O. 2003. The record of the Varanger glaciation at the Rio de la Plata Craton, Vendian-Cambrian of Uruguay. *Gondwana Research* 6:65–77.
- Pelosi, A.P. de M. ja Fragoso-Cesar, A.R.S. 2003. Proposta litoestratigráfica e considerações paleoambientais sobre o Grupo Maricá (Neoproterozóico III), Bacia do Camaquã, Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Geociências* 33:137–148.
- Runnegar, B. 2000. Loophole for snowball Earth. *Nature* 405:403–406.
- Rust, B.R. ja Koster, E.H. 1984. Coarse alluvial deposits. Teoksessa: Walker, R.G. (toim.). *Facies models* (2<sup>nd</sup> edition). Geoscience Canada Reprint Series 1, Geological Association of Canada Publication, 53–70.
- Saalmann, K., Hartmann, L.A., Remus, M.V.D., Koester, E. ja Conceição, R.V. 2005. Sm-Nd isotope geochemistry of metamorphic volcano-sedimentary successions in the São Gabriel Block, southernmost Brazil: evidence for the existence of juvenile Neoproterozoic oceanic crust to the east of the Rio de la Plata Craton. *Precambrian Research* 136:159–175.
- Sánchez-Bettucci, L. ja Rapalini, A.E. 2002. Paleomagnetism of the Sierra de las Animas Complex, southern Uruguay: its implications in the assembly of western Gondwana. *Precambrian Research* 118:243–265.
- Van Steijn, H., Boulhouwers, J., Harris, S. ja Héту, B. 2002. Recent research on the nature, origin and climatic relations of blocky and stratified slope deposits. *Progress in Physical Geography* 26:551–575.
- Vakarelov, B.K., Battacharya, J.P. ja Nebrigic, D.D. 2006. Importance of high-frequency tectonic sequences during greenhouse times of Earth history. *Geology* 34:797–800.
- Yang, J., Zhang, W., Cui, Z., Yi, C., Liu, K., Ju, Y., ja Zhang, X. 2006. Late Pleistocene glaciation of the Diancang and Gongwang Mountains, southeast margin of the Tibetan plateau. *Quaternary International* 154–155:52–62.

**Toni Eerola**  
Geologian laitosto  
Helsingin yliopisto  
PL 64  
00014 Helsinki  
*toni.eerola@helsinki.fi*

## Oulun yliopiston geologinen kerho

# Nikoli ry

kutsuu kaikkia entisiä ja nykyisiä jäseniään viettämään  
killan 45-vuotisjuhlaa lauantaina 21.4.2007  
klo 18.00 alkaen ravintola Hilikkuun  
(Kasarmintie 8 h, 90100 Oulu).

Lisätietoja ja ilmoittautumiset 4.4. mennessä:

Katja Mäkelä,  
*makelka@paju.oulu.fi*  
Juhla- tai tummapuku.  
Illalliskortti 55 €.