

ЭХ ӨГҮҮЛЭЛ

ЛУЙСВИЛЬ ХАЛУУН ЦЭГИЙН МААНЬТЫН ПЛЮМЫН ӨРГӨРӨГИЙН ДАГУУХ ХЯЗГААРЛАГДАМАЛ ШИЛЖИЛТ

Anthony A. P. Koppers^{1*} | Toshitsugu Yamazaki² | Jurg Geldmacher³ | Erdenesaikhan Ganbat¹⁶

^{1*} College of Earth, Ocean and Atmospheric Sciences, Oregon State University, 104 CEOAS Administration Building, Corvallis, Oregon 97331-5503, USA

² Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, 5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba 277-8564, Japan

³ GEOMAR, Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel, Germany

¹⁶ Institute of Geology & Mineral Resources, Mongolian Academy of Sciences, Enkhtaiwany gumaj 63, Ulaanbaatar 210351, PO Box 118, Mongolia

Хураангуй

Хүлээн авсан: 2012.02.06

Зөвшөөрөгдсөн:
2012.10.20

Хэвлэгдсэн: 2012.11.25

Түлхүүр үг:
палеомагнетизм,
тектоник, вулканологи

Харилцах зохиогч:

Anthony A. P. Koppers
College of Earth, Ocean
and Atmospheric Sciences,
Oregon State University,
104 CEOAS Administration
Building, Corvallis, Oregon
97331-5503, USA
Имэйл: akoppers@coas.
oregonstate.edu.

Халуун цэг нь гүний мааньтын халуун бодисын дээш өгсөх плюмын дээд хэсэгт хэлбэрждэг ба түүний дээгүүр тектоникийн плит нүүхэд далайн цуваа галт уулс үүсдэг. Эдгээр цуваа галт уулс нь дэлхийн гүний үйл ажиллагааг сайн хадгалж үлдсэн байдаг ба бидэнд эртний мааньтын плюмын шилжилт хөдөлгөөнийг судлах боломжийг олгодог. Мааньтын конвекцын хүчний нөлөөгөөр плюм нь өөрийн өгсөх босоо чиглэлийн траектороосоо гаждаг байна. Үүнийг мааньтын салхи буюу үлэмж цар хүрээтэй явагддаг хэвтээ чиглэлийн шилжилт хөдөлгөөн гэж үзсээр ирсэн ба ойролцоогоор 50-аас 80 сая жилийн өмнө Номхон далайн плитэд тохиосон ба Хавайн мааньтын плюмыг урд чиглэлд өргөрөгийн 15°-аар хазайлгасан байдаг. Халуун цэгүүд нь байрлалын хувьд харьцангуй тогтвортой оршсоор ирсэн эсэхийг харуулахын тулд Өмнөд Номхон далайн Луйсвиль халуун цэгтэй холбоотой үүссэн далайн цуваа галт уулсаас дөрвөн арал дээр нь хийсэн эртний соронзон орны өөрчлөлт болон 40Ar/39Ar насны шинжилгээг бид ашиглав. Тодруулбал, Луйсвиль халуун цэг нь бөмбөрцгийн өмнөд хагаст оршдог ба Хавайн цуваа галт уулстай ижил юм. 50-аас 70 сая жилийн хооронд, ойролцоогоор өмнөд өргөрөгийн 51° одоогийн байрлалаасаа 3-5° хооронд байсаар ирсэн. Хэдийгээр бид тухайн цаг үеэс өмнө урагш чиглэлийн тодорхой шилжилт хөдөлгөөн байсныг үгүйсгэхгүй ч, Луйсвиль болон Хавайн халуун цэгүүд нь Номхон далайн плит дэх асар-өргөн цар хүрээний мааньтын салхинаас үл хамааран өөр хоорондоо салангид байдлаар шилжиж байдаг гэсэн санааг дэвшүүлж байна.

Jeffrey S. Gee⁴, Nicola Pressling⁵, Hiroyuki Hoshi⁶, L. Anderson⁷, C. Beier⁸, D. M. Buchs⁹, L-H. Chen¹⁰, B. E. Cohen¹¹, F. Deschamps¹², M. J. Dorais¹³, D. Ebuna⁴, S. Ehmann¹⁴, J. G. Fitton¹⁵, P. M. Fulton¹, E. Ganbat¹⁶, C. Hamelin¹⁷, T. Hanyu¹⁸, L. Kalnins¹⁹, J. Kell²⁰, S. Machida²¹, J. J. Mahoney²², K. Moriya²³, A. R. L. Nichols¹⁸, S. Rausch²⁴, S-i. Sano²⁵, J. B. Sylvan²⁶, R. Williams²⁷

4. Scripps Institution of Oceanography, University of California, San Diego, La Jolla, California 92093-0225, USA
5. National Oceanography Centre, University of Southampton, Waterfront Campus, European Way, Southampton SO14 3ZH, UK
6. Department of Earth Sciences, Aichi University of Education, 1 Hirosawa, Igaya-cho, Kariya City, Aichi 448-8542,

Ишлэлийг Anthony, A. P. K., et al., 2012. "Limited latitudinal mantle plume motion for the Louisville hotspot", *Nature Geoscience*, 5, 911-917. <https://doi.org/10.1038/ngeo1638> хийнэ үү. Монгол орчуулга хянасан:

Х.Уламбадрах

- Japan
7. Department of Geology, University of Leicester, Leicester LE1 7RH, UK
 8. GeoZentrum Nordbayern, University of Erlangen-Nürnberg, Schlossgarten 5, 91054 Erlangen, Germany
 9. Research School of Earth Sciences, Australian National University, 61 Mills Road, Building J1, Canberra ACT 0200, Australia
 10. Earth Sciences, Nanjing University, Hankou Road 22, Nanjing 210093, China
 11. Department of Earth Sciences, University of Queensland, Steele Building, St Lucia, Brisbane QLD 4068, Australia
 12. Laboratoire de Géodynamique des Chaînes Alpines, Maison des Géosciences, LGCA, Université Joseph Fourier, 1381, Rue de la Piscine, 38400 Saint Martin d'Hères, France
 13. Department of Geology, Brigham Young University, S-335 ESC, Provo, Utah 84602, USA
 14. Institut für Geophysik und Extraterrestrische Physik, TU Braunschweig, Mendelssohnstrasse 3, 38106 Braunschweig, Germany
 15. School of Geosciences, University of Edinburgh, West Mains Road, Edinburgh, Scotland EH9 3JW, UK
 17. Geosciences Marine UMR 7154, Institut de Physique du Globe de Paris, 4 Place Jussieu, 75252 Paris, France
 18. Institute for Frontier Research on Earth Evolution (IFREE), Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2-15 Natsushima-cho, Yokosuka, Kanagawa 237-0061, Japan
 19. Department of Earth Sciences, University of Oxford, South Parks Road, Oxford OX1 3AN, UK
 20. Earth and Atmospheric Sciences Department, University of Nebraska, 214 Bessey Hall, Lincoln, Nebraska 68588-0340, USA
 21. Department of Resources and Environmental Engineering, Waseda University, 3-4-1 Okubo, Shinjyuku, Tokyo 169-8555, Japan
 22. School of Ocean & Earth Science & Technology, University of Hawaii at Manoa, 1680 East-West Road, Room 606D, Honolulu, Hawai'i 96822, USA
 23. Department of Earth Sciences, Waseda University, 1-6-1 Nishiwaseda, Shinjuku-ku, Tokyo 169-8050, Japan
 24. Department of Geosciences, University of Bremen, Klagenfurter Strasse, 28359 Bremen, Germany
 25. Fukui Prefectural Dinosaur Museum, 51-11 Terao, Muroko, Katsuyama, Fukui 911-8601, Japan
 26. Department of Biological Sciences, University of Southern California, 3616 Trousdale Boulevard, Los Angeles, California 90089, USA
 27. Department of Geology, University of Leicester, University Road, Leicester LE1 7RH, UK. All authors are member of the IODP Expedition 330 Scientific Party.

Толилуулж буй өгүүлэл нь Далайн Өрөмдлөгийн Хамтын Ажиллагааны 330-р экспедицийн (Integrated Ocean Drilling Program Expedition 330) ажлын үр дүн.

ОРШИЛ

Дэлхийн конвекцийн үйл явцын талаарх бидний ойлголт нь мааньтын томографи, сейсмологи, мааньтын урсгалын олон тооны загварчлал болон халуун цэгийн үл мөрийн судалгаа зэргээр хязгаарлагддаг. Халуун цэгийн гаралтай далайн цуваа арлууд болон вулканы арлуудаас дээжлэгдсэн лаавууд нь цөм-мааньтын хил ба дээд мааньтын хооронд хаа нэгтээ болсон мааньтын үйл явцын зөвхөн бодит бүтээгдэхүүн юм (Koppers and Watts., 2010). Энэхүү халуун цэгийн гаралтай цуваа арлууд нь асар их гүнээс өгссөн мааньтын плюм болон дээгүүр нь нүүж буй тектоникийн плитүүдийн огтлолцоолоор бий болдог (Wilson, 1963; Morgan, 1974). Тектоникийн плит нь шилжиж хөдөлж байдаг (Wessel and

Kroenke, 2008) бол плюмүүдыг гүнээс улбаатай, харьцангуй тогтвортой байдаг гэж үзсээр ирсэн. Хэдий тийм боловч, орчин үед Хавайн плюм нь 50-аас 80 сая жилийн хооронд, урд зүгт ойролцоогоор 15° градусаар шилжиж байсан (Tarduno et al., 2003) ба плюмын шилжих хурд нь плитын нүүх хурдны хагас хүртэл хэмжээтэй байсныг тогтоосон байдаг. Энэхүү урагш шилжсэн шилжилт нь мааньтын дунд түвшин болсон тодорхой мааньтын салхи (Tarduno et al., 2003) эсвэл энэ плюмд нөлөөлсөн далайн голч-нурууны түр зуурын нөлөө байж ч болох талтай (Tarduno et al., 2009). Үүнээс урган гарах гол сонирхолтой асуулт нь Номхон далайн плитийн хэмжээн дэх бусад халуун цэгүүдэд мөн адил ийм үлэмж хэмжээний плюмын шилжилт хөдөлгөөн явагдсан уу үгүй юу гэсэн

асуулт юм.

Хэрэв бүхий л Номхон далайн мааньтын плюмүүд нь Хавайн мааньтын плюмтэй ижил шилжиж байдаг гэж үзвэл халуун цэгүүд нь плитүүдийн шилжилт хөдөлгөөнийг тогтоох чухал боломжийг бидэнд олгох юм. Хэдий тийм боловч хэрэв халуун цэг бүр өөрийн гэсэн хэмжээ ба онцлог чиглэлийн мааньтын плюмын шилжилттэй тохиолдолд салангид мааньтын плюмүүдийн хоорондын халуун цэгийн дотоодын шилжилт хөдөлгөөн чухал ач холбогдолтой болох ба мааньтын плюмын шилжилт хөдөлгөөн нь региональ байдлаар жишээлбэл үлэмж хэмжээний гүний мааньтын өгсөлт ба уруудалт гэх мэтээр хянагддаг гэж үзэж болох юм. Сүүлийн тохиолдолд Дэлхий дээрх халуун цэгүүдийн талаар ойлголт бий болгохын тулд бүхий л салангид халуун цэгүүдийн шилжилт хөдөлгөөнийг ойлгох шаардлагатай болно.

Энэ өгүүлэлээр бид Далайн Өрөмдлөгийн Хамтын Ажиллагааны 330-р экспедицийн (ДӨХА 330-р экспедиц) явцад Өмнөд Номхон далайн Луйсвил далайн цуваа галт уулсын дөрвөн арал дээр хийсэн өрөмдлөгийн ажлаар (Expedition 330 Scientists, 2011) шинээр авсан палео-соронзон болон $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ насны шинжилгээний үр дүнг толилуулж байна. Үүнд, Ригл арал (70 сая жил настай) дунджаар 47.0°S палео-өргөрөгтэй (95 %-ийн үнэмшилтэй $+10.5^{\circ}/-5.6^{\circ}$, $n=28$) байгаа нь Луйсвил халуун цэгийн одоогийн байршил буюу өмнөд өргөрөгийн $\sim 51^{\circ}\text{S}$ нийцэж байна. Буртон (64 сая жил) болон Хадаар (50 сая жил) арлуудын палео-өргөрөг нь статистикын хувьд мөн 51°S -аас ялгаагүй байна. Гэвч энэхүү хоёр залуу арлууд эртний соронзон орны өөрчлөлтийг тогтоох хэмжээнд дээжлэгдээгүй гэж үзэж байна. Канопус аралнь 74 сая жилээс хөгшин ба хамгийн бага буюу ойролцоогоор 43.9°S ($n=9$)

палео-өргөрөгтэй байсан нь урагш чиглэсэн плюмын шилжилтийн эхлэл үе байх боломжтойг харуулж байна. Хамгийн хөгшин арлын соронзон орны нам хэлбийлт нь тодорхой плюмын шилжилтийг зааж байгаа боловч бидний дээрх үр дүнгүүдээс ялангуяа Ригл арал дээр хамгийн гүн буюу 522 м өрөмдөгдсөн U1374 талбайн үр дүнгээр мааньтын плюм нь 70 сая жилээс хойш хугацаанд өргөрөгийн дагуу $3-5^{\circ}$ -аар шилжиж байсныг илэрхийлж байна. Энэ нь адилхан цаг хугацаанд Хавайд явагдсан урагш $\sim 10^{\circ}$ -аар шилжилтээс (Tarduno et al., 2003) эрс ялгаатай байгаа нь тэдгээрт өөр хоорондоо үл хамааралтай мааньтын плюмын шилжилт хөдөлгөөнүүд явагдаж байсны нотолгоо юм.

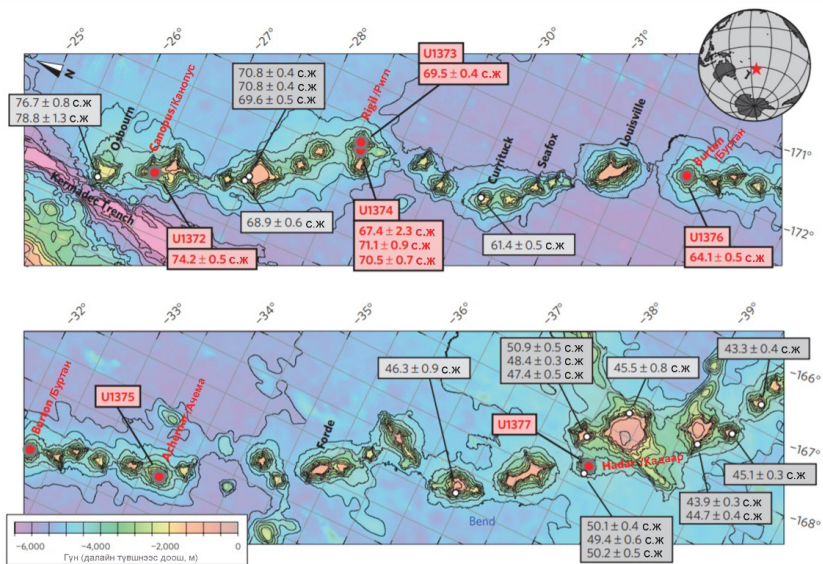
50-аас 80 сая жилийн хоорондох хөгжил

330-р экспедицээр 4300 км урт үргэлжлэх Луйсвил далайн цуваа галт уулсын төгсгөл буюу халуун цэгээсээ алслагдсан хэсгийн (хөгшин) дөрвөн аралдээр өрөмдсөн 5 өрмийн цооногийн вулкан чулуулгийг дээжилсэн (Зураг 1). Энэхүү экспедицийн үндсэн зорилго нь Хавайн болон Луйсвил халуун цэгүүд нь геологийн цаг хугаанд ижил шилжсэн (Wessel et al., 2006; Courtillot et al., 2003) эсвэл эдгээр халуун цэгүүд нь мааньтын урсгалын загварчлал тооцоололоор (Steinberger et al., 2004; Koppers et al., 2004; Steinberger et al., 2006a; Steinberger et al., 2006b;) таамагласан шиг тодорхой дотоод шилжилтүүд үзүүлэх эсэхийг тогтоох байсан. Хэдийгээр тэдгээр далайн арлуудын тэгширсэн оройнуудыг харвал уснаас дээш ил гарч байсан болохыг илэрхийлэх боловч өрөмдлөгөөр гарсан ихэнх материалууд (бага гүний) нь усан доорх галт уулын үйл ажиллагааны уулс бүрэлдэх үе шатанд үүсэн болохыг харуулдаг (Expedition 330 Scientists, 2011). Вулкан чулуулгууд

нь массив лаав, пеперит, дэрэн лаав, босоодуу дайкууд зэрэг ихэвчилэн гиалокластик болон вулканокластик хуримтлалаас тогтоно.

Зураг 1-т үзүүлсэн 6 ширхэг шинэ $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ насыг базалтын үндсэн хэсгийн дээжинд тодорхойлсон ба эдгээрээс нэгийг нь плагиоклаз дээр хэмжсэн. Бүх шинжилгээний үр дүн нь өмнөх судалгаануудаар Луйсвилдалайн цуваа галт уулсад өгөгдсөн ерөнхий насны шугамыг бататгасан байна (Koppers et al., 2004; Koppers et al., 2011; Watts et al., 1988). Өрөмдлөгийн U1372 талбай буюу Канопус арал нь тус экспедицийн судалсан хамгийн хөгшин арал бөгөөд

нас нь 74.2 ± 0.5 сая жил заадаг. Харин Ригл арлын орой дээр өөр хоорондоо 10 км зайтайгаар өрөмдөгдсөн U1373 болон U1374 талбайнууд нь харилцан 69.5 ± 0.4 сая жил ба 70.7 ± 0.6 сая жил ($n=2$). Буртон арал дээрх U1376 талбайгаас 64.1 ± 0.5 сая жил нас заасан ба өмнө нь Хадаар арлын U1377 өрөмдлөгийн талбайн гадаргаас авсан дээжийн нас дунджаар 50.0 ± 0.3 сая жил ($n=3$) байсан (Koppers et al., 2011). Буртон далайн арлын 64.1 сая жил нас нь хэдийгээр энэ галт уулын хамгийн залуу нас боловч цооногийн төгсгөл хэсгийн дайкнаас авсан дээжинд хийгдсэн байдаг.



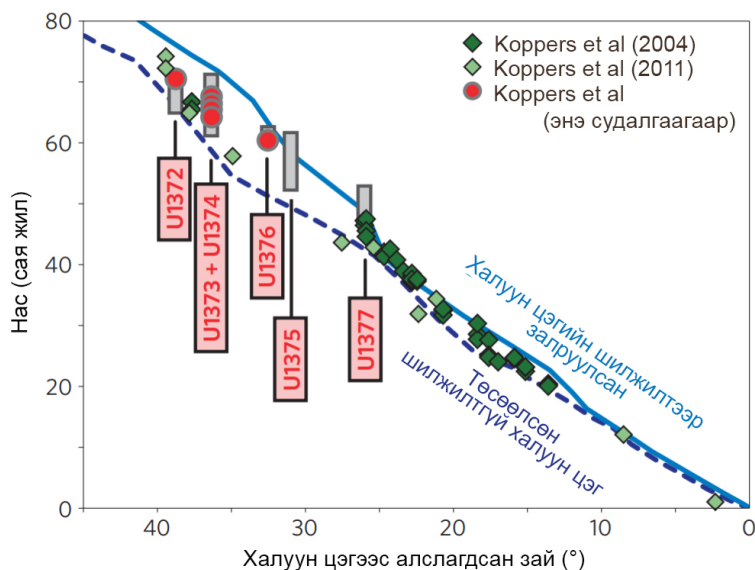
Зураг 1. Луйсвил далайн цуваа галт уулс, 330-р экспедицийн өрөмдлөгийн талбайнууд ба шинэ $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ насны цэгүүдийн байршлын зураг. Глобал батиметрийн (Smith and Sandwell., 1996) болон R/V Roger Revelle хөлгөөр АМАТ02 экспедицээр хийсэн батиметрийн нийлүүлсэн зураг. Улаан текстээр тус экспедицийн хэмжсэн $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ нас, цагаан дугуй ба хар текстээр өмнөх судлаачдын хэмжсэн нас (Koppers et al., 2004; Koppers et al., 2011). Хаяалбар 500 метрээр. 330-р экспедицийн өрөмдлөгийн таобайнууд улаан дугуйгаар.

Тус экспедицээс гарсан эдгээр насны өгөгдөлүүд нь халуун цэгүүдийг шилждэггүй гэж үзсэн плитийн үнэмлэхүй шилжилтийг (ПҮШ) төсөөлсөн наснаас нэлээд хөгшин байна (Зураг 2 дээрх доод тасархай

зураас). Эдгээрээс U1376 ба U1377 талбайнууд нь Номхон далайн плитийн Хавай болон Луйсвил зэрэг бие даасан салангид шилжилт бүхий дөрвөн анхдагч халуун цэгийг оролцуулан тооцсон глобал мааньтын урсгалын

загварын хувилбартай илүү нийцэж байна (Зураг 2 дээрх дээд хөх шугам (Steinberger et al., 2004; Koppers et al., 2004)). Энэхүү шинэ загварчлал нь шилжилтгүй халуун цэгийн таамаглалаас 45 сая жилээс өмнөх хугацаанд эрс ялгарч байгаа нь тухайн цаг үед Хавай ба Луйсвиль хооронд тодорхой хэмжээний халуун цэгийн дотоодын шилжилтүүд болж байсныг илэрхийлнэ (Koppers et al., 2011). U1376 талбайд тогтоогдсон хамгийн бага $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ нас болох 64.1 сая жил нь эдгээр халуун цэгүүд хооронд халуун цэгийн дотоод шилжилтүүд болж байсны чухал нотолгоо болсон. Энэ нь цаашлаад, ялангуяа 45 сая жилээс өмнөх үеийн Номхон далайн плитийн хөдөлгөөнийг ПҮШ-ийн жигд-шилжилтийн загвараар тайлбарлах нь учир дутагдалтайг харуулж байна.

Өрөмдлөгийн U1372, U1373 ба U1374 талбайнууд нь шилжиж буй халуун цэгийн ПҮШ-ийн шугамнаас доош бууж байгаа нь халуун цэгийн дотоодын шилжилтийн шинэ загвар ч мөн бүрэн шийдэж чадахгүй байгааг илтгэнэ. Бидний шинэ насны өгөгдөл нь Хавайн халуун цэгийн өргөрөгийн их шилжилт болон Луйсвиль халуун цэгийн харьцангуй бага шилжилттэй гэсэн геодинамикийн загварт хувь нэмэр болж байна. Гэсэн хэдий ч Луйсвиль галт уулсын заримынх нь идэвхжил удаан хугацаанд явагдсан (> 3 сая жил) (Koppers et al., 2011) ба бэлэн байгаа насны өгөдлүүд нь далайн цуваа арлуудын дагуу жигд өсөхгүй байгаа нь зөвхөн насны мэдээллээр Луйсвиль-Хавайн халуун цэгүүдийн дотоодын шилжилт хөдөлгөөнийг таамаглах нь учир дутагдалтай байна.



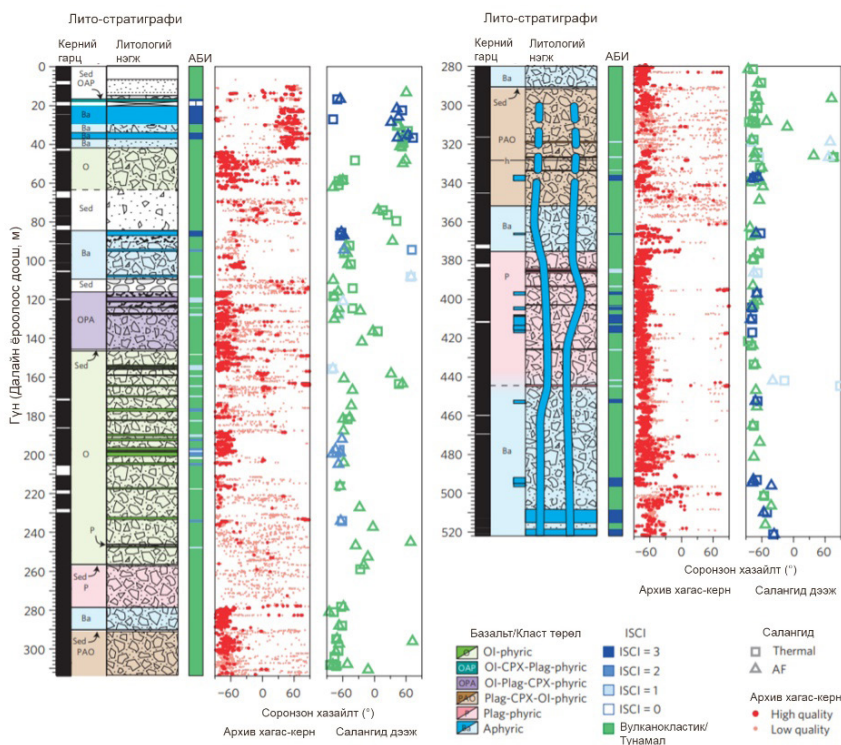
Зураг 2. Луйсвиль далайн арлын насуудыг Номхон далайн плитийн ПҮХ загваруудтай харьцуулсан диаграм. Энэхүү нас ба зайн диаграмд $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ плато насыг (2σ эргэлзээтэй) халуун цэгүүдийг жигд болон хамааралгүй шилжилттэй гэж таамагласан ПҮХ-ний загваруудтай харьцуулсан. Зайг халуун цэгийн өнөөгийн байршилаас (52.4°S, 137.2°W). Саарал тэгш өнцөгтөөр гүн усны лаг ба шохойнд агуулагдах шохойлог нано-үлдэгдэл болон хатуурсан шохойн чулуу, нягтарсан вулканик брекчээс олдсон планктон фораминиферүүд, микро-үлдэгдэлүүдэд (аммонитууд) үндэслэсэн палеонтологийн насыг өгөв.

Луйсвиль халуун цэгийн палео-өргөрөг ДӨХА 330-р экспедицийн палео-соронзон өгөгдөл нь Хавайн халуун цэг урагш чиглэсэн эрчимтэй шилжилттэй байхад Луйсвиль халуун цэг мөн урагш чигт хязгаарлагдмалаар шилжиж байсан болохыг шууд харуулдаг. Экспедицийн үед хагас керн дээр 2 см интервалаар хийсэн 22 000 гаруй хэмжилтийг автоматжуулсан залруулгын аргачлалаар хамгийн тохиромжтой чиглэлийг тодорхойлсон нь цогц үр дүн үзүүлсэн хэдий ч 500 орчим салангид дээжинд хийсэн шаталсан үл соронзонгүйжүүлэх туршилтаар хамгийн нарийвчлал сайтай соронзон хазайлтын мэдээллийг гаргаж авсан. Хэдийгээр нэвтрүүлэгчээр хэмжсэн хэмжилтийн чиглэлд хэд хэдэн хүндрэл гардаг боловч (Parker and Gee, 2002) өндөр чанартай хагас керний соронзон хазайлт (өгөгдлийн 40 %) нь ерөнхийдөө салангид дээжийн хэмжилттэй ижил үр дүн үзүүлсэн ба салангид дээжгүй хэсгийг өгөгдлөөр хангаж байна.

Судлагдсан Луйсвиль далайн арлуудад вулканокластик материал ихээхэн хэмжээнд тохиолдож байгаа нь Хавай-Эмпирор далайн цуваа арлуудыг бодвол палео-соронзон тооцоолол хийхэд амаргүй байсан (Tarduno et al., 2003; Kono, 1980; Tarduno and Cottrell, 1997). Хэдийгээр чанарын шинжилгээ боловч бид тухайн литологийн нэгж нь анхны байрлалаараа байсан эсэхийг тодорхойлох анхдагч байрлалын индексийг тооцсон (АБИ=3 бол анхдагч байрлалдаа, АБИ=0 бол анхдагч байрлалаа алдсан). Энэ судалгаанд бид зөвхөн боломжтой урсгал лаавууд болон дайкуудын (АБИ=2 ба 3) үр дүнг ашигласан.

Ригл арал дээрх өрөмдлөгийн U1374

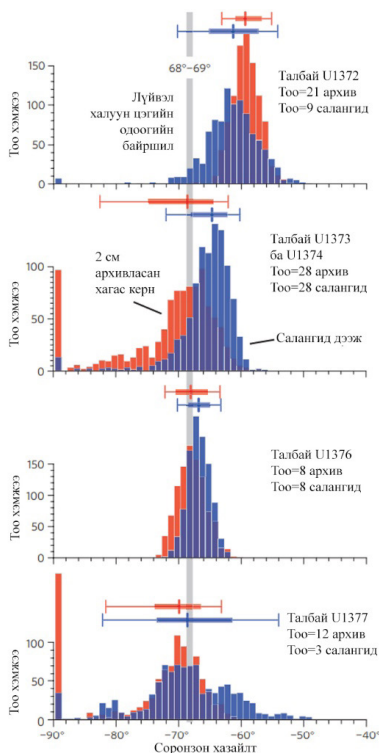
талбайн 522 м гүн цооног болон нэмэлтээр түүнээс зүүн тийш 10 км зайд тэгш орой дээр өрөмдсөн U1373 талбайн 66 м цооногоос хамгийн сайн соронзон хазайлтыг баримтуулсан. U1374 талбайн цооногуудын 45 м дээш интервалд хэд хэдэн урвуу туйлжилттай үе, харин ихэнх тохиолдолд эгц сөрөг буюу хэвийн туйлжилттай байх ба олонх вулканокластик брекчи дэх хазайлт нь анхдагч байрлалаа хадгалсан лаавын урсгал болон дайкын үелэлтэй ижил байгааг тэмдэглүүштэй (Зураг 3). Талбай U1374-өөс нийт 19 ширхэг анхдагч байрлалаа хадгалсан үеүд салангид дээжинд тодорхойлогдсон. Цооногийн босоо тэнхлэгээс хазайлтыг залруулсаны дараа дундаж хазайлт нь $-68.7 \pm 8.4^\circ$ утгатай болсон (Arason and Levi, 2010). Нэмэлтээр талбай U1373-ын 9 ширхэг лаавын урсгалын соронзон хазайлт нь $-55.2 \pm 10.6^\circ$ буюу U1374-ийн дээд ба доод хэсэгт тогтоогдсон дундаж утгатай ижил байна. U1373 талбайн лаав нь U1374 талбайн доод хэсгийн лааваас ~ 1.0 сая жилийн хойно бялхсан хэдий ч багавтар хазайлттай байгааг Номхон далайн плитийн шилжилт эсвэл Луйсвиль халуун цэгийн шилжилт гэхээсээ илүүтэйгээр эртний соронзон орны өөрчлөлтийг илэрхийлж байна гэж үзэж байна.



Зураг 3. Ригл арал дээрх U1374 цооногийн стратиграфийн багана ба сорозон хазайлт. Ногоон-хөх баганаар чулуулгийн анхдагч байрлалын итгэлцүүрийн индексийг (АБИ) мөн лаавын (хөх) болон вулканокластик брекчи, гиалокластит ба тунамал (ногоон) чулуулгийн тархалтыг харуулав. Стратиграфийн багананд лаавыг цул өнгөөр өгсөн бол кластик чулуулгийг найрлагаас нь хамааран цайвар өнгөөр үзүүлэв (таних тэмдгийг үзнэ үү). Архивын хагас керний соронзон хазайлт (улаан дугуй). Салангид дээжний хазайлт термаль (дөрвөлжин) эсвэл AF (гурвалжин) соронзонгүй.

Ингээд бид Ригл арлын 70 сая жилийн өмнөх соронзон орны хазайлтыг ерөмдлөгийн U1373 ба U1374 талбайнуудын нэгтгэн тооцоолов. Бид эдгээр болон бусад арлуудын хувьд ч мөн адил лаавын үе болгоныг тусад нь авч үзсэн. Учир нь бид далайн анхдагч байрлалдаа байгаа үе бүрийг дээжлэх боломжгүй юм. Цаашлаад, тунамал болон вулканокластик үелэлүүд илэрч байгаа нь олон олон лаавын үе болгон нь үнэндээ геосоронзон орны бие даасан төлөөлөл болох боломжтойг харуулж байна. Лаавын үе цөөнхөн байгаа учир бид талбай бүрийн соронзон

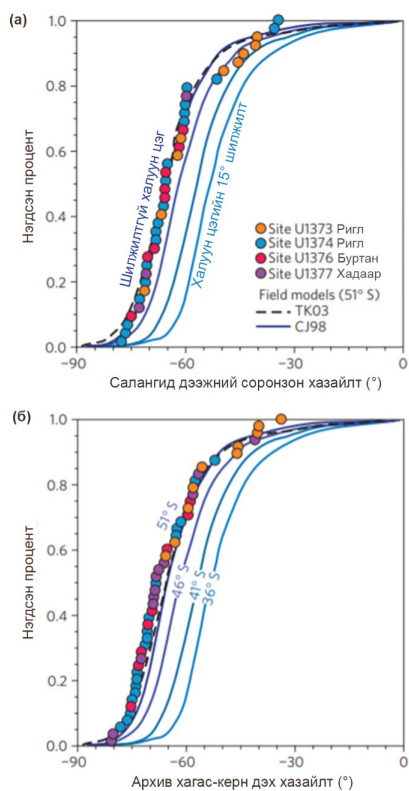
орны хазайлтын утгыг илүү найдвартай тооцоолохын тулд статистикийн бүүтстрап боловсруулалт хийсэн (Зураг 4, эхээс дэлгэрүүлэх). Өмнөх судалгаанаас ялгаатай нь бид лаавын үе болгон доторх СОХ-ын тархалтыг нарийвчилан хамруулсан. Үр дүнгээс харахад Ригл арлын хагас-керний 2 см алхамтай хэмжилт болон салангид дээжнүүдийн тархалт ижил бөгөөд статистикийн хувьд тус халуун цэгийн ~51°S дахь одоогийн байрлалын георны тэнхлэгийн хос туйлт хазайлтаас ялгаагүй байна.



Зураг 4. ДӨХА 330-р экспедицээр өрөмдөгдсөн арал тус бүрийн соронзон хазайлтын тархаалт. Улаанаар архивласан хагас-керний 2 см тутмын хэмжилт, хөхөөр салангид дээжийн утга. Босоо саарал шугамаар халуун цэгийн одоогийн байршил (50.9-52.4°S; Wessel and Kroenke, 2008; Parker and Gee, 2002; Wessel and Kroenke, 2009; Lonsdale, 1988).

Ригл далайн арлын палео-өргөрөг нь $47.0^{\circ}\text{S}+8.0^{\circ}$ ($n=28$) гарсан нь $\sim 51^{\circ}\text{S}$ дахь глобал соронзон орны төсөөлсөн загвартай статистикийн хувьд ижил үр дүн үзүүлсэн (Зураг 5). Энэ үр дүн дангаараа Луйсвиль халуун цэг нь 70 сая жилээс хойш өргөрөгийн дагуу хязгаарлагдмал шилжсэн болохыг харуулдаг. Түүнчлэн энгийнээр палео-өргөрөгийн түүхийг нь авч үзвэл Луйсвиль залуу галт уулс нь ойролцоо өргөрөгийн гео-соронзон оронгоос дээжлэгдсэн байх магадлалтай юм.

Хэдийгээр бид хязгаарлагдмал тооны лаавын үеийг Буртан болон Хадар арлуудаас (харгалзан 50 ш ба 64 ш) дээжилсэн хэдий ч тэр болгон нь статистикийн хувьд 51°S -аас ялгаагүй $49.8^{\circ}\text{S}\pm 4.8^{\circ}$ ($n=9$) ба $52.3^{\circ}\text{S}\pm 20.2^{\circ}$ ($n=3$) байсан. Энэ нь аль аль арлынх нь дундаж палео-соронзон орны өөрчлөлт хангалттай биш боловч эдгээр үр дүн нь ерөнхийдөө Ригл алын палео-өргөрөгийн тооцоолол, цаашлаад Луйсвиль халуун цэг дор хаяж 70 сая жилээс хойш хязгаарлагдмал шилжсэн гэсэнтэй нийцэж байна.



Зураг 5. Луйсвиль халуун цэгт ажиглагдсан соронзон орны хазайлтын утга болон гео-соронзон орны таамагласан загваруудын харьцуулалт. Хоёр диаграм дээр U1373-U1377 талбайнуудын лаавын НТФ-ийг хоёр 0-5 сая жилийн загвараас гарсан 1000 гаруй хазайлтын НТФ-тэй харьцуулсан

байна (TK03 ба CJ98; Constable and Johnson, 1999; Tauxe and Kent, 2004). Палео-өргөрөгийн $\sim 15^\circ$ хүртэлх шилжих шугамнууд. (а) Салангид дээжийн НТФ, (б) Архивласан хагас-керний өгөгдөл.

Нийт U1373-U1377 талбайнуудын соронзон орны хазайлтуудыг нэг хэвийн туйлжилт давамгайлсан арал болон хоёр урвуу туйлжилттай арлуудаас авагдсан харьцангуй олон тооны лаавын үеүүдэд хэмжсэн нь бүхэлдээ гео-соронзон палео-орны өөрчлөлтийг хангалттай дээжилсэн гэсэн үг юм. Үүнийг шалгахын тулд бид 0-5 сая жилийн настай лаавын урсгалуудын глобал өрөгдлийн санд зориулан боловсруулсан гео-соронзон орны хоёр загвартай (CJ98, TK08; Constable and Johnson, 1999; Tauxe and Kent, 2004) нийт цуглуулсан өгөгдлийнхөө тархацын чиглэлтэй харьцуулж авч үзсэн. Статистикийн бүүтстрап аргачлалаар тооцоолсон салангид дээжний ($\theta_{63}=18.3^\circ \pm 7.1^\circ$) ба архивын хагас-керний 2 см алхамтай хэмжилтүүдийн ($\theta_{63}=19.2^\circ \pm 7.5^\circ$) өмнөд өргөрөгийн 51° -дээрх CJ98 ($\theta_{63}=15.8^\circ$) ба TK03 ($\theta_{63}=19.2^\circ$) загваруудтай харьцуулаа. Энэ тооцоолол хожуу цэрд болон түрүү кайнозойн (McFadden et al., 1991) муухан мэддэгддэг тооцоотой ойролцоо ба бид эдгээр Луйсвиль арлуудын (ганц Ригл арлынх 1° -с бага байсан) соронзон хазайлтын утга нь нэлээд үндслэлтэй цаг хугацаатай уялдсан хазайлт болсон гэж үзэж байна.

Хэдийгээр Ригл арлын (47.0°S , 70 сая жил), залуу Буртан (49.8°S , 64 сая жил) болон Хадаар (52.3°S , 50 сая жил) арлуудын дундаж палео-өргөрөгүүд нь Луйсвиль халуун цэгийн одоогийн байршилтай ойролцоо байгаа ч Канопус

арал дээрх өрөмдлөгийн U1372 талбай нь -61.7° (тоо=9) градусын ялгаатай хазайлтын бага (хэвийн туйлжилттай) утгатай байгаа нь 42.9°S гэж тооцоолсон дундаж палео-өргөрөгтэй дүйж байна. Үнэн хэрэгтээ хазайлт ба насны муруйн үзэгдэх байдал (Зураг 4) нь палео-өргөрөгийн 50-аас 74 сая жилийн хооронд явагдсан 11° -ын урагш шилжилтийн шугаман бууралттай нийцэж байна. Бидний үзэж буйгаар энэхүү том хмэжээний шугаман шилжилт нь 50-70 сая жилийн хугацаанд манай Ригл аралд тооцоолсон 47.0°S -ын палео-өргөрөгтэй адилгүй юм. Учир нь хамгийн залуу хоёр арлын цөөнхөн тооны үеүд нь өөрчлөлтийг хангалттай илэрхийлж чадахгүй. Иймээс бид Ригл аралд тооцоолсон палео-өргөрөг нь 70 сая жилийн өмнөх халуун цэгийн байршлыг хамгийн сайн зааж байна гэж үзсэн.

Дэлхийн гүний геодинамикийн асуудал

Луйсвиль арлуудын нийлбэр тархалтын функцуудыг (НТФ) CJ98 болон TK03 загваруудтай харьцуулсанаар Хавайн халуун цэгтэй ижилхэн шилжсэн эсэхийг шууд турших боломжтой болсон (Зураг 5). U1373-U1377 талбайнуудын салангид болон хагас-керний 2 см хэмжилтүүдийн шилжилтийн утгын муруй нь Луйсвиль халуун цэгийн урагш 5° , 10° ба 15° -аар шилжиж болохыг төсөөлсөн 46°S , 41°S болон 36°S -шугамнуудаас илүүтэйгээр 51°S -ын CJ98 болон TK03 шугамнуудтай маш ойр буусан.

Бидний палео-өргөрөг ба насны мэдээлэл нь Луйсвиль болон Хавайн халуун цэгүүд хооронд халуун цэгийн дотоодын шилжилтүүд болсоныг харуулж байна. Бидний авч үзсэн хоёр халуун цэг нь онолын хувьд 50-аас 70

сая жилийн өмнө Хавайн халуун цэгийн урагш чиглэсэн их шилжилт болон Луйсвиль халуун цэгийн хязгаарлагдмал шилжилт эсвэл шилжилээгүй байх гэсэн аль аль нөхцөлийг нь хангах Номхон далайн плитийн доор дээд мааньтын нэг голомтот эргэлтээр тайлбарлах боломжтой. Гэсэн хэдий ч магадлалын алгоритм хэрэглэн тооцоолж үзэхэд (Англи эхээс нэмэлт мэдээлэл үзэх) 50-аас 70 сая жилийн өмнөх плюмын шилжилт хөдөлгөөний түүхийг Номхон далайн плитийн маангийн ганц эхргэлттэй нэгэн хэвийн асар-том хэмжээний шилжилт хөдөлгөөнөөр тайлбарлах боломжгүй нь харагддаг. Бид халуун цэгийн дотоодын шилжилт хөдөлгөөний гол бүрэлдэхүүн хэсэг нь Хавайн халуун цэгийн бие даасан хөдөлгөөнөөс үүдэлтэй байх гэж таамаглаж байна. Луйсвиль далайн цуваа арлуудын хэлбэр болон насны хөгжил нь Номхон далайн плитийн хөдөлгөөнийг илүүтэй харуулдаг бол Хавай-Эмпирор арлуудын огцом тахийлт нь Хавайн плюмын хүчтэй шилжилтийг илтгэнэ.

Луйсвиль халуун цэгийн өргөргийн дагуух хязгаарлагдмал шилжилт нь дэлхийн мааньтын урсгалын загварчлалын таамаглалуудтай буюу Лүйлвэл халуун цэгийг урагш 2-2.5° (Steinberger et al., 2004; Koppers et al., 2004) ба өөр нэг аргачлалаар бүр 8° хүртэл шилжсэн (Steinberger and Antretter, 2006; Antretter et Al., 2004) гэсэн тооцоолуудтай ижил гарсан. Бидний соронзон орны хазайлтын өгөгдөл нь зөвхөн 70 сая жилээс хойших өргөргийн дагуух шилжилтийг л харуулах боловч эдгээр мааньтын урсгалын загваруудын таамаглаж байсанчлан Луйсвиль халуун цэг уртрагийн дагуу шилжиж байсныг үгүйсгэхгүй юм. Бидний судалгаагаар мааньтын плюмүүд нь бие даан шилжиж хөдөлж байдаг ба эдгээр шилжилт хөдөлгөөнүүд нь региональ байдлаараа

асар-том цар хүрээтэй гүний мааньтын өгсөлт ба уруудалтаар хянагдаж байдаг. Луйсвиль халуун цэгийн хувьд түүний шилжилт хөдөлгөөн нь Номхон далайн плитийн Тонга-Кермадекийн субдукцийн бүсрүү баруун тийш субдукцэлснээр зүүн тийш Номхон далай-Антарктидын далайн голч нурууг чиглэсэн мааньтын эргэх урсгалыг үүсгэдэг явцаар тайлбарлагдаж болох юм.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- Antretter, M., Riisager, P., Hall, S., Zhao, X. & Steinberger, B. in Origin and Evolution of the Ontong Java Plateau, Vol. 229 (eds Fitton, G., Mahoney, J., Wallace, P. & Saunders, A.) 21–30 (The Geological Society, 2004).
- Arason, P. & Levi, S. Maximum likelihood solution for inclination-only data in paleomagnetism. *Geophys. J. Int.* 182, 753–771 (2010).
- Constable, C. G. & Johnson, C. L. Anisotropic paleosecular variation models: Implications for geomagnetic field observables. *Phys. Earth Planet. Int.* 115, 35–51 (1999).
- Courtillot, V., Davaille, A., Besse, J. & Stock, J. Three distinct types of hotspots in the Earth's mantle. *Earth Planet. Sci. Lett.* 205, 295–308 (2003).
- Expedition 330 Scientists Louisville Seamount Trail: Implications for Geodynamic Mantle Flow Models and the Geochemical Evolution of Primary Hotspots IODP Preliminary Report, vol. 330, 174, <http://dx.doi.org/10.2204/iodp.pr.330>. 2011 (2011).
- Kono, M. in Initial reports of the Deep Sea Drilling Project, Leg 55, Honolulu, Hawaii to Yokohama, Japan, July–September 1977 Vol. 55 (eds Jackson, E. D. & Koisumi, I. et al.) 737–752 (US Government Printing Office, 1980).
- Koppers, A. A. P. et al. New 40Ar/ 39Ar

- age progression for the Louisville hotspot trail and implications for inter-hotspot motion. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 12, Q0AM02 (2011).
- Lonsdale, P. Geography and history of the Louisville hotspot chain in the southwest Pacific. *J. Geophys. Res.* 93, 3078–3104 (1988).
- Koppers, A. A. P., Duncan, R. A. & Steinberger, B. Implications of a non-linear $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age progression along the Louisville seamount trail for models of fixed and moving hotspots. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 5, Q06L02 (2004).
- Koppers, A. A. P. & Watts, A. B. Intraplate seamounts as a window into deep earth processes. *Oceanography* 23, 42–57 (2010).
- Mcfadden, P. L., Merrill, R. T., McElhinny, M. W. & Lee, S. H. Reversals of the Earth's Magnetic-Field and Temporal Variations of the Dynamo Families. *J. Geophys. Res.* 96, 3923–3933 (1991).
- Morgan, W. J. Convection plumes in the lower mantle. *Nature* 230, 42–43 (1971).
- Parker, R. L. & Gee, J. S. Calibration of the pass-through magnetometer—II. Application. *Geophys. J. Int.* 150, 140–152 (2002).
- Smith, W. H. F. & Sandwell, D. Predicted bathymetry. New global seafloor topography from satellite altimetry. *Eos. Trans. AGU* 77–46, 315 (1996).
- Steinberger, B. & Antretter, M. Conduit diameter and buoyant rising speed of mantle plumes: Implications for the motion of hot spots and shape of plume conduits. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 7, Q11018 (2006a).
- Steinberger, B., Sutherland, R. & O'Connell, R. J. Prediction of Emperor-Hawaii seamount locations from a revised model of global plate motion and mantle flow. *Nature* 430, 167–173 (2004).
- Steinberger, B. & Calderwood, A. R. Models of large-scale viscous flow in the Earth's mantle with constraints from mineral physics and surface observations. *Geophys. J. Int.* 167, 1461–1481 (2006).
- Tarduno, J. A. & Cottrell, R. D. Paleomagnetic evidence for motion of the Hawaiian hotspot during formation of the Emperor seamounts. *Earth Planet. Sci. Lett.* 153, 171–180 (1997).
- Tarduno, J. A. et al. The Emperor Seamounts: Southward motion of the Hawaiian hotspot plume in earth's mantle. *Science* 301, 1064–1069 (2003).
- Tarduno, J., Bunge, H-P., Sleep, N. & Hansen, U. The bent Hawaiian-emperor hotspot track: Inheriting the mantle wind. *Science* 324, 50–53 (2009).
- Tauxe, L. & Kent, D. V. in *Geophysical Monograph Series 145: Timescales of the Internal Geomagnetic Field* (eds Channell, J. E. T., Kent, D. V., Lowrie, W. & Meert, J. G.) 101–115 (American Geophysical Union, 2004).
- Watts, A. B., Weissel, J. K., Duncan, R. A. & Larson, R. L. Origin of the Louisville Ridge and its relationship to the Eltanin fracture zone system. *J. Geophys. Res.* 93, 3051–3077 (1988).
- Wessel, P., Harada, Y. & Kroenke, L. Toward a self-consistent, high-resolution absolute plate motion model for the Pacific. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 7, Q03L12 (2006).
- Wessel, P. & Kroenke, L. W. Pacific absolute plate motion since 145 Ma: An assessment of the fixed hot spot hypothesis. *J. Geophys. Res.* 113, B06101 (2008).
- Wessel, P. & Kroenke, L. W. Observations of geometry and ages constrain relative motion of Hawaii and Louisville plumes. *Earth Planet. Sci. Lett.* 284, 467–472 (2009).
- Wilson, J. T. A possible origin of the

Hawaiian Islands. Can. J. Phys. 41,
863–870 (1963).