



Эртний уур амьсгалын өөрчлөлтийг Хөвсгөл нуурын хурдсын элементүүдээр тодорхойлох ICP-MS шинжилгээний арга зүй

Ц.Оюунчимэг*

ШУА-ийн Палеонтологи, геологийн хүрээлэн,

ABSTRACT

To obtain high-resolution records of elemental paleoenvironmental change proxies in bottom sediments of Lake Hovsgol (Mongolia), a high-performance technique is proposed. It consists of extraction of sediment samples with 1 % HNO₃ followed by multi-elemental ICP-MS measurements of extracts. In comparison with the complete decomposition of bulk samples, this method provides maximal number (44) of climate-sensitive elemental signals (variation of contents of extractable elements along sediment core depth) and, at the same time, their maximal response to the global paleoclimate change. The most sensitivity to climate change is characteristic for Cinorg, P, Ca, V, Ni, Se, Br, Sr, Mo, Sb, I, W and U, and the minimal one (25-30 %) – for As, Rb and Pb. On the base of memory effect studies, an algorithm of ICP-MS measurement is proposed; this method does not require intermediate rinsing of spectrometer measuring path between core samples analyzed subsequently. It allows increasing the output of serial analysis up to 200 samples per day.

Key words: ICP-MS, Lake Hovsgol sediments, Sequential extraction, Paleoenvironmental change proxies

*Corresponding author. Tel.: +976-99239363

E-mail address: oyuna0401@gmail.com

1. Оршил

Сүүлийн жилүүдэд эх газрын нууруудын хэмжээнд Байгал, Хөвсгөл нуурын ёроолын хурдсын судалгааны ажил эрчимтэй явагдаж байна. Байгал нуурын судалгаагаар нуурын хурдас түүний элементүүдийн найрлага, геохимийн зарим параметрууд байгаль орчин, эртний уур амьсгалын тухай чухал мэдээллүүдийг хадгалж үлдсэн болох нь тогтоогджээ (1-11). Байгал нуурын хурдсын нилээд тооны богино цөмрөгүүдийг (сүүлийн 150 мян.жилийг хамрах) өндөр нарийвчлал бүхий рентген флуоресценцийн (Goldberg et al., 2000) болон индукцийн холбоотой плазмын спектрометр ICP-MS (Goldberg et al., 2000; Phedorin et al., 2000) багаж ашиглан тодорхойлсон байна.

Хөвсгөл нуурын ёроолын хурдсын судалгааны ажил 2001 оноос эхлэн ШУА-ийн Палеонтологи, геологийн (хуучнаар Геологийн) хүрээлэнд хийгдэж эхэлсэн бөгөөд (Fedotov et al., 2003; Tomurhuu et al., 2003; Oyunchimeg et al., 2004; Narantsetseg et al., 2005) сүүлийн жилүүдэд хурдсын геохими, элементүүдийн судалгааны ажил (Оюунчимэг ба бусад 2006, Narantsetseg et al., 2007; Oyunchimeg., 2008;) эрчимтэй явагдаж байна. Судалгааны явцад нуурын хурдсын геохимийн шинжилгээг орчин үеийн мэдрэх чадвар сайтай багажит анализ ашиглан элементүүдийн найрлагыг

богино хугацаанд тодорхойлох, олон тооны анализ хийх арга аргачлалыг боловсруулах бодит шаардлага гарсан юм.

Энэхүү өгүүлэгт Хөвсгөл нуурын хурдсын уур амьсгалын өөрчлөлтийг мэдрэгч элементүүдийг тодорхойлох аргачлал, хурдсыг задлах хүчлийн задаргааны арга болон шинжилгээний аргын хэмжил зүйн үзүүлэлтийн талаар өгүүлнэ.

2. Судалгааны арга аргачлал, туршилтын ажил

2.1. Дээж авалт болон хурдсыг задлах дараалсан гурван өөр хүчлийн задаргаа.

Нуурын төв хэсгээс 241 м гүнээс авсан өрмийн цөмрөг (50°56'40" N, 100°21'25" E) X105-2 нь 110 см урттай. Цөмрөгийн дээжийг 1 см алхамтай таллан хувааж ойролцоогоор 3 грамм дээжийг жигнэн авч тогтмол жинтэй болтол муфелийн зууханд 60°C температурт хатаана (Оюунчимэг, 2004). Хатаасан дээжийг хүйтэн муфелийн зууханд тавин улмаар 600°C температурт 1 цаг байлгаж (органик бодисыг зайлуулахын тулд) жингийн аргаар шаталтын үеийн хоргодол буюу ППП тооцоолно.

Хурдсыг задлах гурван өөр хүчлийн дараалсан задаргаанд 50 мг дээж авсан (Хүс.1).

Дээж бэлтгэх бүх шатны болон уусмал бэлтгэх ажлыг Mettler Toledo, AG104 маркийн жин (алдааны нарийвчлал ± 0.0003 гр) дээр гүйцэтгэв. Шинжилгээнд хэрэглэх уусмалыг бэлтгэхдээ ус нэрэгч GFL 2104 Gesellschaft für Labortechnik MBH (Germany) маркийн аппаратаар нэрсэн болон дахин нэрсэн усаар бэлтгэсэн. Индийн уусмалыг (2 ppm In-н уусмал) дотоод стандарт болгон авч шприцтэй насос бүхий хроматграф «MiLiChrom -1» -аар уусмалд 10 ppb байхаар нэмнэ.

2.2. ICP-MS –ын аргаар микроэлементийг тодорхойлох

Хурдсын микроэлементүүдийг орчин үеийн өндөр нарийвчлал бүхий индукцийн холбоотой плазмын масс спектрометр (ICP-MS) VG PlasmaQuad II (VG Instruments) багажаар тодорхойлсон. Хэмжилт хийхээс өмнө багажийг стандарт уусмалаар тохируулга хийнэ. Хөвсгөл нуурын хурдсын өрмийн цөмрөгийн дээжийг задлахдаа дараалсан 3 өөр уусмалаар туршилт хийсэн. Үүнд: сул азотын хүчил (1% HNO₃), концентрацитай хүчил (70% HNO₃), холимог хүчлийн задаргаа (70% HNO₃, 60% HClO₄, 50% HF) болно. Хэмжилтийг хурдсын гүний өгсөх дарааллаар дараах схемээр хийв. Хоосон дээж-хяналтын дээж-шинжлэх 10 дээж, -хяналтын дээж-шинжлэх 10 дээж, -хяналтын дээж г.м. Хяналтын дээжийг бэлтгэхдээ хэмжих уусмал болгоноос 0,5 мл авч нийлүүлэн багажны заалтыг хянах зорилгоор ашиглана. Хэмжилтийн үед багажны угаалтыг хяналтын дээж хэмжихээс өмнө болон дараа нь 1 мин турш, харин дээж хэмжилтийн хооронд угаалт хийхгүй. Спектрийн интерференцийг PQ SIMPLEX 2.0 программ ашиглан тооцов. Хэмжилт хийсэн элементүүд нь нилээд өргөн изотопийн тархалттай дараах элементүүд болно. Үүнд: ⁷Li, ⁹Be, ¹¹B, ¹³C, ²³Na, ²⁵Mg, ²⁹Si, ³¹P, ³⁴S, ⁴³Ca, ⁴⁵Sc, ⁴⁷Ti, ⁵¹V, ⁵³Cr, ⁵⁵Mn, ⁵⁷Fe, ⁵⁹Co, ⁶⁰Ni, ⁶³Cu, ⁶⁶Zn, ⁷¹Ga, ⁷⁴Ge, ⁷⁵As, ⁷⁷Se, ⁷⁹Br, ⁸⁵Rb, ⁸⁸Sr, ⁸⁹Y, ⁹⁰Zr, ⁹³Nb, ⁹⁸Mo, ¹⁰⁸Pd, ¹⁰⁹Ag, ¹¹¹Cd, ¹²⁰Sn, ¹²¹Sb, ¹²⁷I, ¹³³Cs, ¹³⁵Ba, ¹³⁹La, ¹⁴⁰Ce, ¹⁴¹Pr, ¹⁴³Nd, ¹⁴⁷Sm, ¹⁵¹Eu, ¹⁵⁷Gd, ¹⁵⁹Tb, ¹⁶³Dy, ¹⁶⁵Ho, ¹⁶⁶Er, ¹⁶⁹Tm, ¹⁷⁴Yb, ¹⁷⁵Lu, ¹⁷⁸Hf, ¹⁸¹Ta, ¹⁸²W, ¹⁸⁷Re, ¹⁹⁵Pt, ²⁰²Hg, ²⁰⁸Pb, ²⁰⁹Bi, ²³²Th, болон ²³⁸U.

3. Үр дүн ба хэлэлцүүлэг

3.1. Уур амьсгалыг мэдрэгч элементүүдийг тодорхойлох хүчлийн дараалсан задаргаа.

Нуурын хурдас болон хөрсний микроэлементүүдийг тодорхойлох задаргааны дараалсан аргыг эрдэмтэд судалсан байдаг (Тессер, 1979). Байгал нуурын судалгаагаар

концентрацитай халуун азотын хүчил нь уур амьсгалын эрс өөрчлөлтийг харуулах боловч дээжин дэх ихэнхи элементүүдийн концентрацид хаалт болдогөөс цөөн тооны элемент уур амьсгалын өөрчлөлтийг мэдэрдэг байна (Chebykin, 2002). Геохимийн шинжилгээнд хөдөлгөөнт элементүүдийг эрдсээс салгах давсны хүчлийн болон цууны хүчлийн зэрэг олон аргууд байдаг боловч бид энэ судалгааны ажилд азотын хүчлийн аргыг сонгож авсан юм. Учир нь ихэнхи тохиолдолд сул давсны хүчил (Перельман, 1968) хэрэглэдэг боловч хлорын матриц нь олон тооны интерференци үүсгэдэг тул V, As, Se зэрэг элементүүдийг найдвартай тодорхойлох боломжгүй юм. ICP-MS хувьд сул азотын хүчил хэрэглэх нь зохимжтой болно. Эхний шатанд сул азотын хүчил (1% HNO₃) хэрэглэсэн. Сул хүчил нь эрдсийн фазаас катионы солилцоо болон хөдөлгөөнт элементүүдийг ялгаж чаддагаараа онцлогтой юм. 2 дахь шатанд концентрацитай азотын хүчил (70% HNO₃) хэрэглэсэн (Тессер, 1979). Энэ нь зарим нэг аутиген эрдсийг уусгах чадвартай юм. Гурав дахь шатанд эртний уур амьсгалын өөрчлөлтийг илрүүлэх зорилгоор хурдас дахь уусаагүй үлдсэн хүнд эрдсүүдийг уусгахын тулд концентрацитай холимог хүчлүүдийн (70% HNO₃, 60% HClO₄, 50% HF) задаргааг хэрэглэсэн. Эдгээр дараалсан задаргааны нийлбэр үр дүнгээр өрмийн цөмрөг дэх элементүүдийн тархалт, концентрацийг тодорхойлох боломжтой юм.

Байгал нуур (Безрукова и др., 1991; Хурсевич и др 2001;) болон бусад нуурын судалгаагаар шим гаралт цахиур, диатом болон органик нүүрстөрөгчийн агуулгаар уур амьсгалын өөрчлөлтийн тоймыг тодорхойлдог болохыг тогтоосон. Иймд бид судалгаандаа эдгээр уур амьсгалын шалгуур үзүүлэлтийг урьдчилан тодорхойлов. Тухайлбал X105-2 цөмрөгт үнэмлэхүй нас (Tomurhuu et al., 2002; Fedotov et al., 2004,), органик нүүрстөрөгч (Corg), шим гаралт цахиур (SiO₂биог) болон цахиур замгийн тоо хэмжээ, эрдсийн найралгыг (Зур.1) тодорхойлж хойд Атлантын температурын өөрчлөлтийг илэрхийлэгч Гренландын мөсний дээжтэй харьцуулав. X105-2 дээжний үнэмлэхүй насны өгөгдлөөр уг цөмрөгийн дээд талын диатомтой хэсэг нь орчин үеийн дулаан уур амьсгал буюу Голоцены үед хамрагдах бөгөөд 11,5 мян. жилийн настай. Түүний доорхи саарал наанги шавар нь сүүлчийн мөстлөг буюу плейстоцены үед хамрагдана. Биоген индикаторууд болох шим гаралт цахиур, органик нүүрстөрөгч болон цахиур замаг нь эдгээр үеийг нилээд тод илэрхийлсэн бөгөөд түүнчлэн сүүлчийн мөстлөгийн үед болсон богино хугацааны Беллинг Аллередын дулаарал

(БА, 15-13 мян.жил.өмнө), Залуу Дриасын (ЮД, 13-11,5 мян.жил өмнө) хүйтрэлийг тус тус тогтоосон (Зураг 1, 2).

Зураг 1-с харахад сул азотын хүчлээр дээжийг задлахад 62 элемент тодорхойлоноос 44 нь уур амьсгалын өөрчлөлтийг мэдэрч байсан. Харин концентрацитай болон холимог хүчлийн задаргаанд эдгээр элементийн тоо цөөрч уур амьсгалын өөрчлөлт сул буюу огт илрээгүй болно. Мөстлөгийн болон мөстлөг хоорондын үеийн эртний уур амьсгал өөрчлөгдөх нөхцөл дэх хэлбэлзлийн зэргийг тодорхойлоход шилжилтийн үеийн фактор CF (contrast factor) гэсэн параметрийг хэрэглэсэн. Үүнийг тооцоолоход цөмрөгийн голоен болон плейстоцены үеийн элементүүдийн (дээд талын диагенетик үеийг оролцуулахгүйгээр) дундаж агуулгыг тооцоолсон болно.

Уур амьсгалд нилээд мэдрэмтгий (CF > 100%) элементүүдийн тоонд Снеорг, Р, Са, V, Ni, Se, Br, Sr, Мо, Sb, I, W ба U, харин бага мэдрэмтгий элементүүд (CF = 25-30%) – As, Rb ба Pb болно. Харин 70%-ын азотын хүчлээр үйлчлэхэд илрэх элементүүдийн тоо харьцангуй цөөн (25-с 8) байна (Зураг 2). Цаашлаад холимог хүчлийн задаргаа буюу 3 дахь үе шатанд 22 элемент (P, Cu, Se, Sb, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd, Tb, W, Th, U, Снеорг, Mg, Ca, Mn, Sr, As, Br, I) илэрсэн байна.

Цөмрөгийн гүний дагуу тархсан элементүүдийг үндсэн 4 хэсэгт хувааж болно. 1-р хэсэгт Голоцены үед өндөр, плейстоцены үед бага агуулгатай элементүүд (Li, Be, Zn, Cd, Tl, Pb, Ni, Co, Se, Sb, V, U, W, Sc, Y, лангонойдууд Ln, Cr, Rb, Ga, Ti, Th, Мо болон Р). 2-р хэсэгт мөстлөгийн үед агуулга өндөртэй элементүүд (С неорг, Са, Sr, Mg, Mn болон I). 3-р хэсэгт Беллинг Аллередын дулаарал, Залуу Дриасын хүйтрэлийн үед агуулга өндөртэй элементүүд As болон Br. 4-р хэсэгт уур амьсгалын өөрчлөлтөнд үл хамаарах цэвэр диагенетик элементүүд Fe, Ва, Р. Үлдсэн элементүүд уур амьсгалын өөрчлөлтийг сул (Ge, Zr, Sn, Hf, Re) буюу огт мэдрэхгүй элементүүд (В, Na, Si, S, Cu, Nb, Pd, Cs, Та, Hg, Bi) болно. Дараагийн шатны процессд элементүүдийг 3 хэсэгт хуваана (Зураг 2). Зарим элементүүд 1-р хэсэгтэй эсрэг тархалттай, зарим нь нэмэлт сигнал болон тодорч байна.

Дээрх байдлаас дүгнэхэд нуурын хурдсыг дээжийг 1%-ийн азотын хүчлээр задаргаа хийх нь уур амьсгалын өөрчлөлтийг илрүүлэхэд шинжилгээний хамгийн энгийн арга болно.

3.2. ICP-MS хэмжилтийн дэс дараалал.

Шинжилгээний аргын үнэн зөвийг хэмжил зүйн үзүүлэлтээр баталгаажуулах нь

Нуурын хурдсын судалгааны дээжинд бүтээмж өндөртэй орчин үеийн мэдрэх чадвар сайтай багаж тоног төхөөрөмж хэрэглэхээс гадна шинжилгээний ажилд мөрдөж буй аргуудыг боловсронгуй болгох шаардлага байнга гарч ирдэг. Бид шинжилгээний аргын үнэн зөвийг хэмжил зүйн үзүүлэлтээр баталгаажуулсан. Аргын хэмжил зүйн үзүүлэлтэнд дараах хэмжигдэхүүнүүдийг авч үзье.

3.2.1. Тодорхойлогдох хамгийн бага агууламж буюу тодорхойлогдох хязгаар.

1% HNO₃-р задалсан цөмрөгийн дээжинд элементүүдийн тодорхойлогдох хамгийн бага агууламж буюу тодорхойлогдох хязгаарыг 3σ критерээр тодорхойлоно.

$$PO = 3\sigma/(dl/dC) \quad (1),$$

σ –хоосон дээж дэх (n=30) элементийн аналитик дохиоллын стандарт хазайлтын хэмжээ (имп./с), I – экстракт уусмал дахь элементийн аналитик дохиоллын хэмжээ (имп./с), C –уусмал дахь элементийн концентраци, dl/dC-Тангенс өнцгийн налууг шугаман регрессээр тооцоолов (тодорхойлж буй бүх 64дээжинд тооцоолов).

Уусмал дахь элементүүдийн хамгийн бага агууламжийг зураг 3-д харуулав.

Ихэнх элементүүдийн хувьд тодорхойлогдох хязгаар 0,1 мкг/л-с багагүй байгаа нь уусмал дахь элементүүдийн хамгийн бага агуулгаас харьцангуй доогуур (10-4600 дахин) юм. Be, Sr, Cu, Mn, I, P, Hg, Zn Ni зэрэг элементүүдийн тодорхойлогдох хязгаар 0,1-1 мкг/л, харин Se, Ti, Cr, Li, B, Mg, Si, Br, S, Fe, Na, Ca, C зэрэг элементийх 1 мкг/л –с их байна. Ренийн хувьд хамгийн бага агуулга нь тодорхойлогдох хязгаараас доогуур байна. Тодорхойлогдох хязгаарын хувьд хамгийн их хэмжээ сүүлийн гурван элемент : Na – 60, Са –110, С–4000 мкг/л тус тус гарч байна. Учир нь хоосон дээжинд эдгээр элементүүдийн агуулга их, нүүрстөрөгчийн (12C, 13C) хувьд хөнгөн элемент бөгөөд плазм дотор муу иончлогддогтой холбоотой (ионы потенциал 11,26 эВ, байгаа нь Na-хаас 2,2 дахин их). Иймд энгийн нөхцөлд индукцийн холбоотой плазмын масс спектрометр ICP-MS багажийг ашиглан элементүүдийн агуулгыг найдвартай тодорхойлж болно.

3.2.2. Санамжийн эффект (эффект память)

Уур амьсгалын өөрчлөлтийг илрүүлэхэд нэг дээжнээс нөгөө дээжийг хэмжих явцад харьцангуй үнэн зөв бохирдолт багатай тодорхойлох нь чухал юм. Ийм нөхцөлд санамжийн эффект гэсэн үзүүлэлтийг авсан бөгөөд энэ нь уур амьсгалын хэлбэлзлийн хамгийн бага үзүүлэлтээс хэтрэхгүй байх шаардлагатай (CF=25%). Санамжийн эффектийг тодорхойлохын тулд (шинжилж байгаа дээжнүүдээс) ижил хэмжээтэй холилдсон 10 ш дээж (голоцены хурдсаас 10 дээж, плейстоцены

хурдсаас 10 дээж) авч (диагенетик өөрчлөлттэй үеэс аваагүй), сери анализ хийх дарааллаар шинжилгээний ажлыг гүйцэтгэсэн. Эдгээр параллель дээжүүдийг дараах схемээр хэмжилт хийсэн: хоосон дээж (3%-ний уусмал HNO₃) – экстракт – хоосон дээж – угаалт 10 минут.

$$M.\% = (C_{\text{blank2}} - C_{\text{blank1}}) / (C_{\text{extr}} - C_{\text{blank1}}) * 100 \quad (2),$$

C_{blank1} и C_{blank2} холимог дээжний хэмжилтээс өмнөх болон дараах үеийн хоосон дээжний элементийн концентраци C_{extr} – холимог дээжний элементийн концентраци

Элементүүдийн концентрацийн өгөгдлөөр эффект «память» буюу санамжийн эффект үзүүлэлтийг тооцоолсон (зураг4). Элементүүдийн хувьд эффект «память» гэсэн үзүүлэлт (Br-20%, I-26%-д хамаарахгүй) 3%-с хэтрэхгүй байгаа нь сери анализийн үед уусмалын хооронд угаалт хэрэглэхгүйгээр хэмжиж болохыг баталж байгаа юм. Ингэснээр шинжилгээний үр дүнг өдөрт 100-200 ш болгон дээшлүүлэв.

3.2.3. Шинжилгээний үр дүнгийн давтамж

Бидний судалгаагаар эртний уур амьсгалын сигналыг баттай илрүүлэх зорилготой тул хурдсын

гүний дагуух элементүүдийн харьцангуй өөрчлөлтийн хэмжээг тогтоох нь чухал байсан. Уур амьсгалын хэлбэлзлэлийн хамгийн бага үзүүлэлт CF=25%, байгаа нь хагас тоон шинжилгээний алдааны хязгаарт багтаж байгаа юм (± 30%).

Шинжилгээний үр дүнгийн давтамжийг харьцангуй стандарт хазайлт гэсэн хэмжигдэхүүнээр (RSD%) илэрхийлэх бөгөөд (зураг 4) ихэнх элементүүдийн хувьд энэ нь 5% -с хэтрэхгүй, максимум хэмжээ нь кадмид 14% байгаа нь уур амьсгалыг мэдрэгч элементүүдийн хамгийн бага хэмжээнээс (25%) ч бага байна.

Иймд дээрх аргачлалаар уур амьсгалыг мэдрэгч элементүүдийг найдвартай тодорхойлж болохыг Хөвсгөл нуурын хурдсын шинжилгээнээс харж болно.

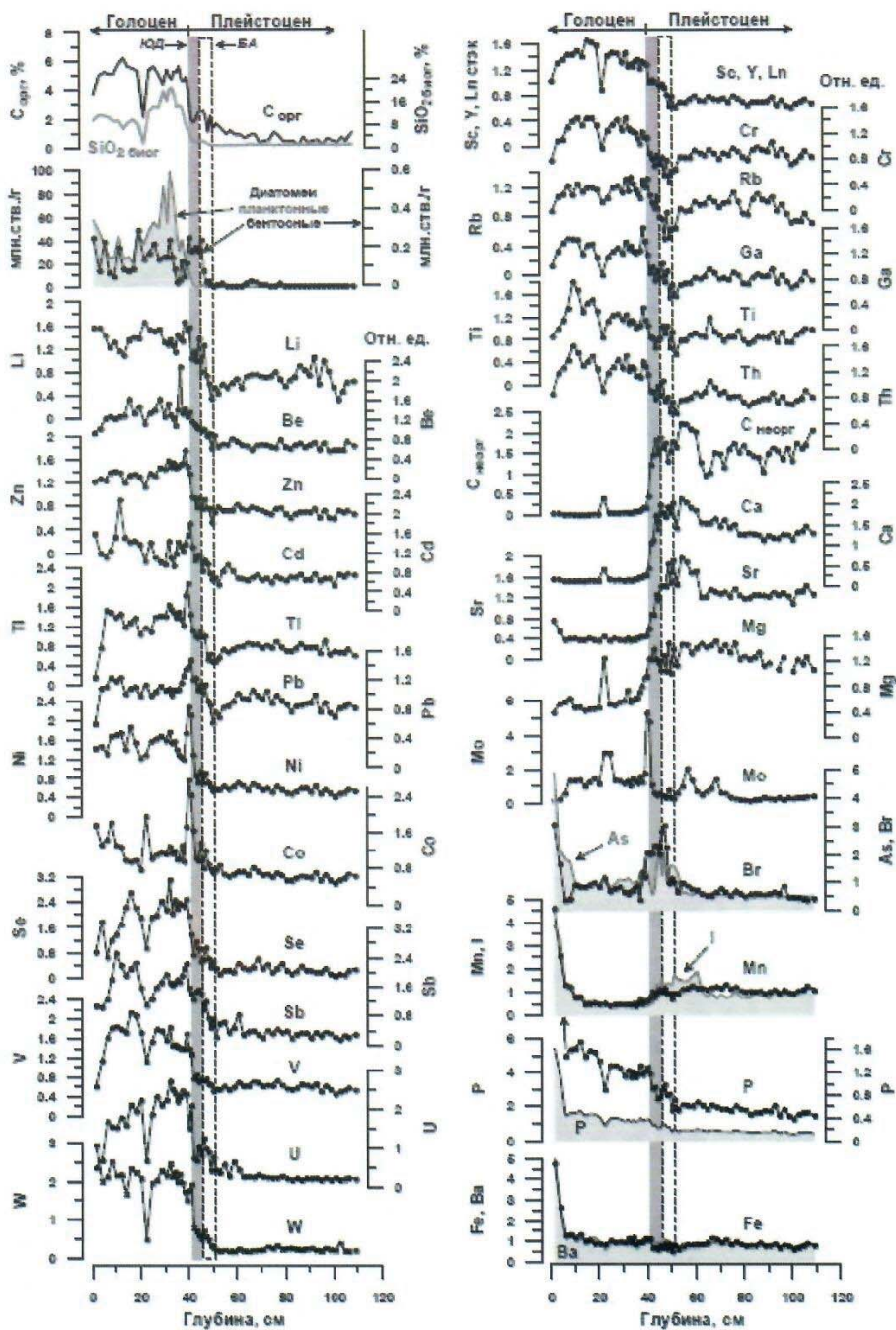
Талархал

Уг ажлыг гүйцэтгэхэд гүн туслалцаа үзүүлсэн ОХУ-ын Сибирийн салбарын Лимнологийн хүрээлэнгийн захирал Академич М.А.Грачев, мөн хүрээлэнгийн доктор Е.П. Чебыкин нарт баярласанаа илэрхийлье.

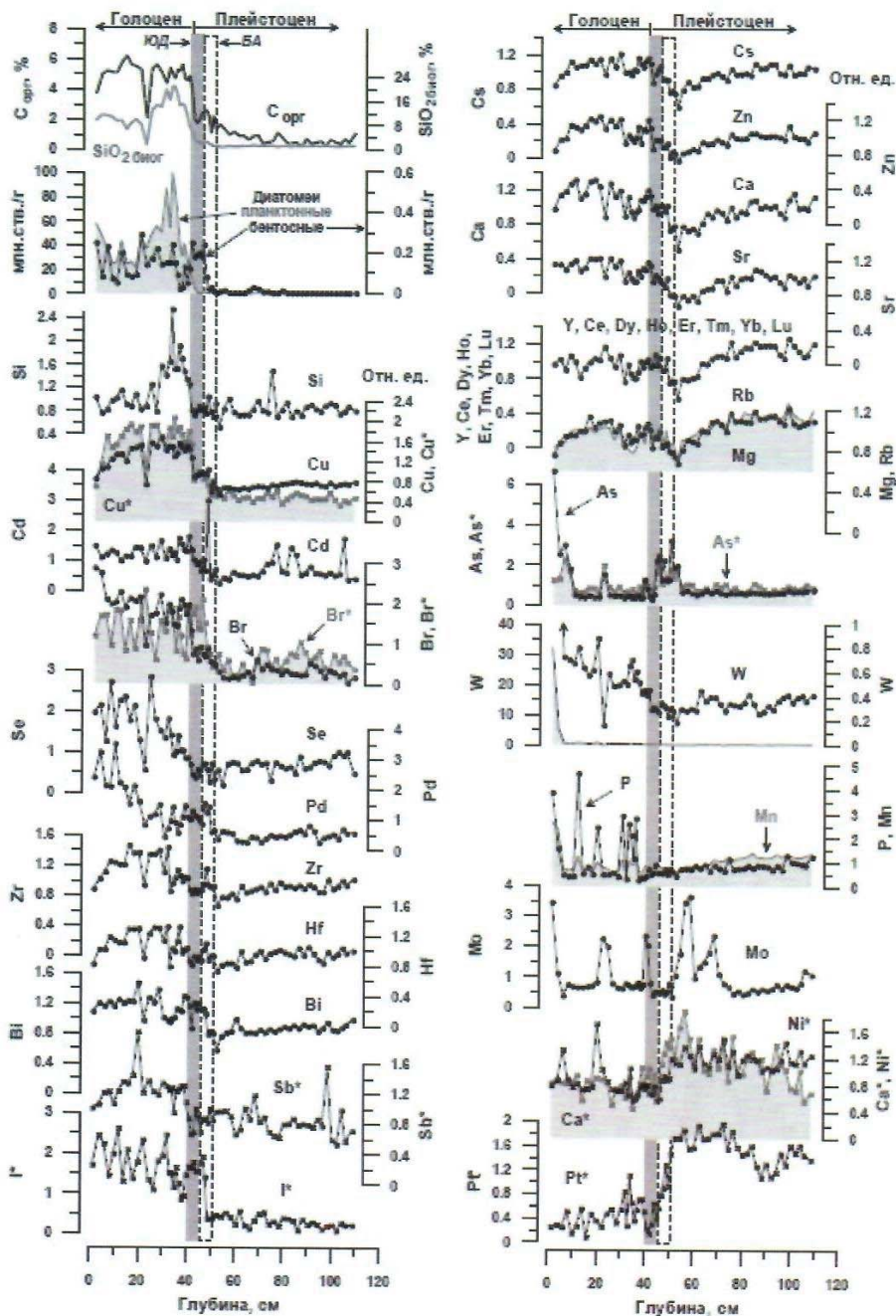
Хүснэгт 1.

Өрмийн цөмрөгт дараалсан гурван өөр хүчлийн задаргаа явуулах нөхцөл

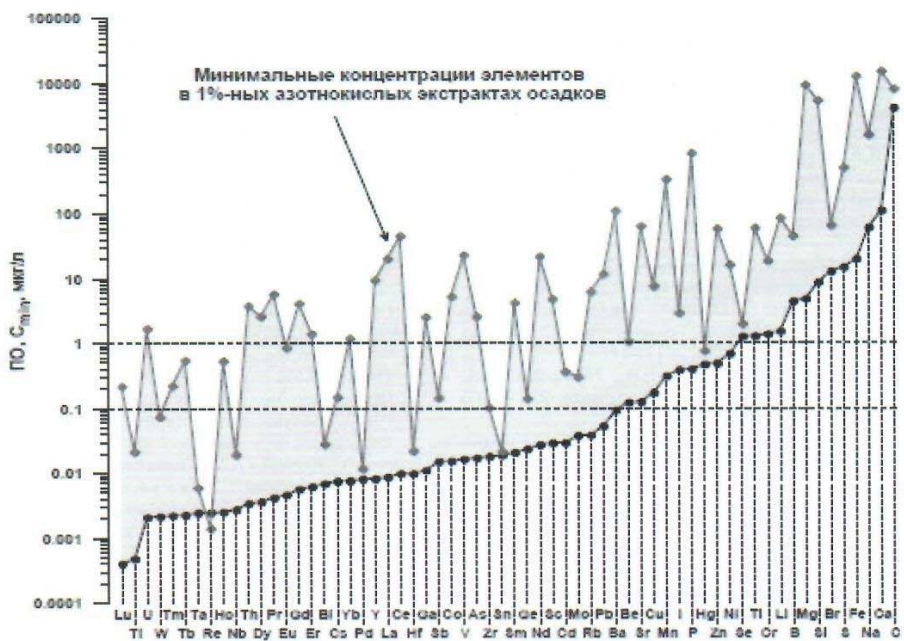
	I шат	II шат	III шат (холимог хүчлүүдийн задаргаа)
Эм урвалж, тоо хэмжээ	1% HNO ₃ (15 мл)	70% HNO ₃ (0,5 мл)	70% HNO ₃ (3x1+2 мл), 60% HClO ₄ (1 мл), 50% HF (5 мл) 30% H ₂ O ₂ (30 мкл)
Температур	Тасалгааны	80 °C	90 °C
Хугацаа	1 өдөр	2 цаг	1 өдрийн турш
Тайлбар	Уусмалыг центрифуг дэх (7000 об/мин)	I шатны дараа уусмалыг 2 удаа 10 мл нэрмэл H ₂ O угааж 14 мл нэрмэл H ₂ O нэмж центрифугдэнэ (7000 об/мин)	Шилэн нүүрстөрөгчийн тигельд уусмалыг хуурай давс болтол ууршуулж 2 дахин 1 мл HNO ₃ хийж ууршуулаад дээрээс нь 2 мл HNO ₃ болон 30 мкл H ₂ O ₂ нэмнэ.



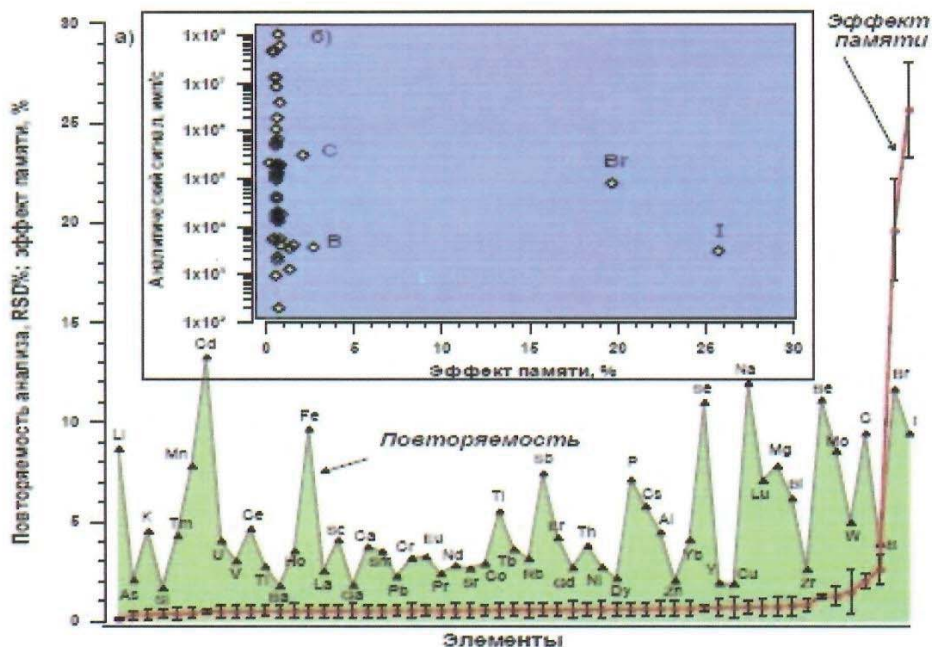
Зур.1. Хөвсгөл нуурын ёролын хурдсын X105-2 дээжийг 1%-ын азотын хүчлээр экстракцлан уур амьсгалын индикатор болон диагенетик элементүүдийг тодорхойлж биоген элементүүдтэй(Cорг, SiO₂биог ба цахиурт замaг) харьцуулсан нь Элементүүдийн агуулга харьцангуй нэгжээр илэрхийлэв.



Зур. 2. Хөвсгөл нуурын хурдсын X105-2 дээжийг 70%-ын азотын хүчил (график дээр бөөрөнхийгээр дүрслэв) болон холимог хүчлээр задаргаа («x» дүрслэв) хийн элементүүдийг биоген үзүүлэлттэй (C_{орг}, SiO₂_{биог} ба цахиурт замаг) харьцуулав.



Зур.3. Хөвсгөл нуурын хурдсын дээжийг 1%-ын HNO₃-р экстракцлан ICP-MS багажаар элементүүдийн хамгийн бага агуулгыг (С_{min}) тодорхойлж гэдгээрийг тодорхойлогдох хязгаартай нь харьцуулав.



Зур. 4. Эффекты «памяти» (стандарт хазайлт(n=7)) болон шинжилгээний үр дүнгийн давтамж (харьцангуй стандарт хазайлт RSD%, n = 7) –ийг 1%-ийн азотын хүчлээр экстракцласан нь (а). Санамжийн эффект болон элементүүдийн аналитик дохиололын хамаарал (б)

Ашигласан хэвлэл

- Грачев М.А., Лихошвай Е.В., Воробьева С.С., Хлыстов О.М., Безрукова Е.В., Вейнберг Е.В., Гольдберг Е.Л., Гранина Л.З., Корнакова Е.Г., Лазо Ф.И., Левина О.В., Летунова П.П., Отиннов П.В., Пирог В.В., Федотов А.П., Яскевич С.А., Бобров В.А., Сухоруков Ф.В., Резчиков В.И., Федорин М.А., Золотарев К.В., Кравчинский В.А. Сигналы палеоклиматов верхнего плейстоцена в осадках озера Байкал // Геология и геофизика. 1997. Т. 38, № 5. С. 957-980.
- Оюунчимэг, Ц., Төмөрхүү, Ц., Наранцэцэг, Ц. Хөвсгөл нуурын сав газрын дөрөвдөгчийн хурдас хуримтлалын орчин, уур амьсгалын онцлогыг химийн судалгааны аргаар тодорхойлох нь. ШВА-ийн Геологи, эрдэс баялгийн хүрээлэнгийн бүтээл № 14.2004, х 135-147
- Williams D.F., Peck J.A., Karabanov E.B., Prokopenko A.A., Kravchinsky V., King J., Kuzmin M.I., *Science*, 278 (1997) 1114.
- Chebykin E.P., Edgington D.N., Grachev M.A., Zheleznyakova T.O., Vorobyova S.S., Kulikova N.S., Azarova I.N., Khlystov O.M., Goldberg E.L., *Earth Planet. Sci. Lett.*, (200) 2002 167.
- Chebykin E.P., Edgington D.N., Goldberg E.L., Phedorin M.A., Kulikova N.S., Zheleznyakova T.O., Vorob'yova S.S., Khlystov O.M., Levina O.V., Ziborova G.A., Grachev M.A., *Russian Geology and Geophysics*, 45 (2004) 497.
- Goldberg E.L., Grachev M.A., Chebykin E.P., Phedorin M.A., Kalugin I.A., Khlystov O.M., Zolotarev K.V., *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A*, 543 (2005) 250.
- Goldberg E.L., Grachev M.A., Phedorin M.A., Kalugin I.A., Khlystov O.M., Mezentsev S.N., Azarova I.N., Vorobyeva S.S., Zheleznyakova T.O., Kulipanov G.N., Kondratyev V.I., Miginsky E.G., Tsukanov V.M., Zolotarev K.V., Trunova V.A., Kolmogorov Yu.P., Bobrov V.A., *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A*, 470 (2001) 388.
- Федотов А.П., Безрукова Е.В., Воробьева С.С., Хлыстов О.М., Левина О.В., Мезандронцев И.Б., Мазепова Г.Ф., Семенов А.Р., Железнякова Т.О., Крапивина С.М., Чебыкин Е.П., Грачев М.А. Осадки озера Хубсугул как летопись палеоклиматов голоцена и позднего плейстоцена // Геология и Геофизика. 2001. Т. 42, № 1-2, С. 384-390.
- Fedotov A.P., Chebykin E.P., Semenov M.Yu., Vorobyova S.S., Osipov E.Yu., Golobokova L.P., Pogodaeva T.V., Zheleznyakova T.O., Grachev M.A., Tomurhuu D., Oyunchimeg Ts., Narantsetseg Ts., Tomurtogoo O., Dolgikh P.T., Arsenyuk M.I., Batist M. De, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 209 (2004) 245.
- Fedotov A., Kazansky A.Y., Tomurhuu D., Matasova G., Ziborova G., Zheleznyakova T., Vorobyova S., Phedorin M., Goldberg E., Oyunchimeg Ts., Narantsetseg T., Vologina E., Yuldashev A., Kalugin I., Tomurtogoo O., Grachev M., *EOS Transactions American Geophysical Union*, 85 (2004) 387.
- Krasnodepska-Ostrega B., Emons H., Golimowski J., Fresenius' *Journal of Analytical Chemistry*, 371 (2001) 385.
- A. Tessier, P.G.S. Campbell, M. Bisson, *Anal. Chem.*, 51 (1979) 844.