

21-р зуунд Монгол тохиосон ган гачиг хэр өвөрмөц байсан бэ? Сүүлийн үеийн гамшигт үзэгдлийг 1100 жилийн турш тохиосон үзэгдлийн хүрээнд багтаах

Эйми И. Хессл¹, Нейл Педерсон², Бямбасүрэнгийн Оюунсанаа³, Кевин Анчукайтис⁴, Каролин Лийланд⁵

¹Геологи Газарзүйн тэнхим, Баруун Виржиния мужийн Их Сургууль, 98 Beechurst Ave., Morgantown, WV, USA 26501, <amy.hessl@mail.wvu.edu>

²Харвардын Ойн хэсэг, Харвардын Их Сургууль, Petersham, MA, USA 01366, <neilpederson1@fas.harvard.edu>

³ Ойн газар, Монгол Улсын Их Сургууль, Улаанбаатар, Монгол, <oyunsanaa@gmail.com>

⁴Вуудс Хоулын Далай судлалын Хүрээлэн, Woods Hole, MA, USA 02543, <kja@whoi.edu>

⁵Ламонт-Дохертийн Дэлхийн Одон орон судлалын газар, Колумбийн Их Сургууль, Palisades, NY, USA 10964 <cleland@ldeo.columbia.edu>

ХУРААНГУЙ

Түүхэн үе болоод орчин цагт тохиосон уур амьсгалын өөрчлөлт хувиралтын турш уур амьсгал, экосистем болон нийгмийн байдал зэргийн хоорондын уялдаа холбоог ойлгохын тулд нэлээд найдвартай уур амьсгалын дохио тэмдэг бүхий жил жилийн нягт нямбай баримт шаардагддаг. 21-р зуунд Монголд олон малчин өрх ган гачигтай хосолсон өвлийн гамшигт (“зуданд”) мал сүргээ алдсанаар улс орны хэмжээнд нүүдлийн мал аж ахуйгаас огцом холдох шилжилт бий болсон явдал байна. Хэдийгээр тухайн шилжилтэд олон талт хөтлөгч хүчин зүйлс нөлөөлсөн байх магадлалтай ч, олон хүн үүний бурууг зах зээлийн хүчин зүйлс болоод малчид бэлчээрийн даац хэтрүүлсэнтэй холбож үзжээ. Монголын уур амьсгал угаасаа маш хувьсамтгай тул саяхан болсон уур амьсгалын гамшигт үзэгдлүүд болон түүнээс улбаалсан нийгмийн өөрчлөлтийг уур амьсгалын өөрчлөлтийн урт хугацаагаар эмхтгэсэн баримтгүйгээр сайтар тайлбарлах боломжгүй. Тэгэхээр бид дараах асуултыг дэвшүүллээ: Сүүлийн 1100 жилийн дотроос 21-р зууны ган гачиг хэр ноцтой байсан бэ? Бид модны цагирыг тусламжтайгаар 1100 жилийн турших дулааны улирлын ган гачигийг дүр зургийг сэргээн гаргахдаа Монголын төв хэсэгт, геологийн цаглабарын Голоцен эрины галт уулын лавын урсгалын тогтоц дээр ургаж буй Сибирь нарсны (*Pinus sibirica*) одоо ургаа ба унасан дээжүүдээс мэдээлэл гаргаж авсан. Өнөө цагт лавын тогтоц дээр ургаж буй моднууд намхан бөгөөд хоорондоо их зайтай байгаа нь хөрсний үржил шим бага буюу огт үгүй микро орчинд ургасантай холбоотой юм. Эдгээр мод усаар гачигдсан, цагиргийн өсөлт нь хөрс усны хүртээмж (scPDSI) болон хээр талын гарц (Ургамалжлын Нормчлосон Ялгаварын Индекс (УНЯИ буюу NDVI)) зэргийн аль алинтай холбоотой. Бидний (1959-2009 онуудын) 6-8 сарын ашигт scPDSI үзүүлэлтүүдийг шалган нотлох замаар сэргээсэн дүр зургаар тайлбарлавал жилийн нийт хур тунадас >70% үед бүс нутгийн scPDSI нь >55%-ийн өөрчлөлттэй байсан нь харагдана. Бидний ашигласан модны цагиргийн өгөгдлийг ус цаг уурын өгөгдөлтэй нэгтгэсэн дүгнэлтээр 21-р

зууны ган гачиг сүүлийн 1100 жилийн доторх хамгийн халуун, хамгийн чанга ширүүн ган гачгийн тоонд орно. Тус үр дүн Дотоод Азийн дулаарлын загварчилсан проекцтэй таарч тохирч, өсөн нэмэгдэх дулааны температур нь усны гачигдал ихсэхэд нэмэрлэж байгаа үзэгдэл хур тунадасын өөрчлөлтөөс огт хамааралгүйг харуулж байна. Ирээдүйн дулаарал нь хур тунадас элбэгших байдлыг давамгайлж, өмнөхтэй төстэй “өндөр температурын ган гачиг” хүргэж, улмаар өнөөгийн Монгол оронд байгаль орчин ба нийгмийн хүнд хэцүү үр дагавруудыг авчрах болзошгүй байна. Өнгөрсөн үеийн цаг уурын өөрчлөлтийг урт хугацаагаар эмхтгэсэн баримтууд бидэнд уур амьсгал болон газрын менежментийг харьцуулан авч үзэх нь ямар чухал болохыг ойлгоход тус болж чадна. Энэ ойлголт улмаар нийгмийн өөрчлөлт хөдөлгөөнд уриалан ирээдүйд тохиох болзошгүй уур амьсгалын бүрэн хэмжээний туйлын үзэгдэлтэй нүүр тулахад олон нийтийг бэлтгэх ач тустай.

Түлхүүр үгс: ган гачиг, модны цагираг, экологи, өнгөрсөн үеийн байгаль орчин.

ОРШИЛ

Монгол лугаа адил хуурайвтар уур амьсгалтай эх газрын нутаг нь хүний үйл ажиллагааны улмаас уур амьсгал өөрчлөлтөд өртөөгүй байхдаа ч маш их хэлбэлзэлтэй ус чийгийн горимтойгоороо онцлогтой билээ. Улмаар хүний оролцоот цаг уурын дулаарлын уршгийг угаасаа жилээс жилд тохиож буй ус чийгийн хэлбэлзлээс ялгах нь улам хэцүү болсоор. Монгол цаашдаа хуурайших эсэх тухай төсөөллийг хур тунадасын тооцоолж буй өөрчлөлт дээр тулгуурладаг хэдий ч энэ нь ирээдүйн температурын өсөлтийг бодвол магадлал багатай төсөөлөл билээ. Түүхэн болоод орчин цагийн уур амьсгалын өөрчлөлт хувиралтын турших уур амьсгалын хэлбэлзэл, экосистем, нийгмийн өөрчлөлтийг ойлгоход нэлээд найдвартай уур амьсгалын дохио тэмдэг бүхий жил жилийн нягт нямбай баримт шаардлагатай. Эдгээр урт хугацаанд эмхтгэсэн баримтыг уур амьсгалын урьдчилсан мэдээтэй хослуулбал сүүлийн үеийн уур амьсгалын гамшигт үзэгдлийг өнгөрсөн хоёр мянганы нөхцөл байдлаар тайлбарлаж, мөн цаашдын жилүүдэд тохиох янзтай боломжит төлөв байдлын далайцыг тооцолодох бидэнд туслана.

20-р зууны сүүлч, 21-р зууны эхэн үед Монголд томоохон хэмжээний ган гачиг, хэд хэдэн удаагийн “зуд” (хажир өвөл) болоод нийгэм, эдийн засгийн эрс өөрчлөлтүүд тохиожээ (Sternberg, 2010). Тухайлбал 1990-ээд оны ардчилсан хөдөлгөөний дараа зах зээл нээлттэй болсон нь мал сүргийн нийт аж ахуй ихээхэн хэмжээгээр нэмэгдэхэд хүргэж, бэлчээрийн нөөц баялаг илүү шаарддаг ямааны тоо нийт мал сүрэгтэй харьцуулахад өсөх төлөвийг бий болгов (Liu et al., 2013). 1999-2002 онд тохиосон ширүүн ган гачиг, мөн хэдэн удаагийн “зуд” нийлээд улсын малын ~30%-ийг буюу 2010 оны нийт малын 20%-ийг хорогдуулж, улмаар олон тооны малчдыг гэр бүлээрээ Улаанбаатар мэт хот газарт нүүж суурьшихад хүргэв (Sternberg, 2010). Нийслэл хотын зах хөвөөнд төвлөрсөн бус орон сууц ба түүнээс нөхцөлдсөн хүрээлэн орчин, нийгмийн үр дагавар зэрэг нь өөрчлөгдөж буй нөхцөл байдалд Монгол улсын дасан зохицох чадварт асуудлууд нэмэрлэсээр байна.

Хэдийгээр Монголын мал аж ахуйн эдийн засагт ажиглагдсан эрс өөрчлөлтийн хариуцлагыг нийгэм, эдийн засаг, байгаль орчны иж бүрдэл үзэгдэлд тохох боломжтой боловч сүүлийн үеийн уур амьсгалын гамшигт үзэгдлийг өнгөрсөний нөхцөлтэй холбож тайлбарлахад дан ганц багаж төхөөрөмжийн тусламжтайгаар авсан уур амьсгалын бүртгэл хангалтгүй байна. Уг судалгааны зорилго бол өнгөрсөн үеийн чийгшлийн төлөв байдлын 1100 жилийн бүртгэл болон уур амьсгалын загварчлалыг ашиглан 21-р зууны ган гачгийг өнгөрсөний нөхцөлтэй холбож тайлбарлах. Тэгэхээр бид: Сүүлийн 1100 жилийн дотроос 21-р зууны ган гачиг хэр ноцтой байсан бэ? хэмээх асуултыг дэвшүүлэв.

СУДАЛГАА ХИЙСЭН ГАЗАР

Бид Төв Монголын хойд хэсэгт, Голоцен эрины галт уулын лавын урсгалын тогтоц дээрээс (Хоргоос) Сибирь нарсны шинээр нэмэгдсэн холтос болон хөндлөн зүсэлтээс нь 2010, 2012 болон 2014 онуудад дээжлэлээ. Бараан өнгийн хүрмэн чулуулга хүрээлэх нимгэм хөрстэй буюу хөрсний давхрага үгүй газраас, одоо ургаа ба унасан модны дээжийг цуглуулав. Өнөө цагт галт уулын лавын тогтоц дээр ургаа модод хоорондоо их зайтай, намхан бөгөөд ус чийг маш дутагдсан харагдаж байв. Бид модын нийт цагиргийг +/- 0.001 мм тутамд хэмжиж, стандарт горимоор дээжүүдийн цагиргийн үүслийн хугацааг тогтоов. Бидний цаглабарт HOT -900 оноос HOT 2011 он хүртэл багтах ба HOT 228-2009 онуудын хоорондох хамгийн багадаа 25 цуврал дээжийг агуулна (Pederson et al., 2014).

СУДАЛГААНЫ АРГАЧЛАЛ

Модны цагиргын мэдээлэл

Модны цагираг нь ургалттай холбоотой, уур амьсгалтай холбоогүй хэв шинжийг агуулдаг бөгөөд тэдгээрийг урт хугацааны хэв шинжийг арилгах (detrending) техникийг ашиглан багасгаж болдог. Нам давтамжтай аль болох их мэдээллийг авч үлдэхийн тулд бид ARSTAN програм хангамжийн хадгалалтын техникийг ашиглан нойтон модны цагиргийн өргөнийн цувралын урт хугацааны хэв шинжийг арилган стандартчлав (Cook, 1985). Бид нэг бол сөрөг экспоненциал муруй, эсвэл ≤ 0 налуу шулуун шугам (ерөнхийдөө модны голыг агуулах юмуу голд ойр байрлах дээжүүд), ≤ 0 налуу шулуун шугам (ерөнхийдөө эртийн ургалтгүй, дотоод холтосны дээжүүд), эсвэл > 0 налуу шулуун шугамын (ерөнхийдөө гаднах холтосны дээжүүд) аль нэгийг ашиглав. Хэвийн бус ургалтын хэв шинж бүхий гурван дээжийг Friedman SuperSmother аргаар ($\alpha = 9$) стандартчлав. Дундаж цувралын урт нь 512 (300 – 1193 оны хооронд) байв. (Хүснэгт 1).

Уур амьсгалын өгөгдөл

Монголд цаг уурын станц цөөн бөгөөд мэдээлэл нь, ялангуяа 1980 оноос хойших өгөгдөл нь заримдаа дутуу дулимаг байдаг. Үүний оронд бид CRU 3.20 хур тунадас болон боломжит ургамалд усны нэвчин ууршилтын талбайгаас гаргаж авсан солбицлын сүлжээт, дотоод-тохируулалт Palmer-ын Гангийн Хүндрэлийн Индексийг (scPDSI) ашиглахаар сонгов (van der Schrier et al., 2013).

Модны цагиргийг тусламжтайгаар scPDSI-г сэргээн гаргах

Цаглабарт багтсан модны цагиргийн цувралын дундаж харилцан хамаарал (r_{bar}) 0.65 байгаа нь модны ургалт уур амьсгалын нийтлэг дохионд хариу үзүүлдэг болохыг илтгэв. Дундаж илэрхийлэгдэх эх олонлогийн дохио (EPS) гэдэг нь таамаглалт төгс буюу “үнэн зөв” цаглабарыг төлөөлөх хязгаартай тооны модод цаглабар хэр сайн үндэслэгдсэн болохыг тооцоолох хэмжигдэхүүн бөгөөд HOT 900 оноос эхлэн >0.90 (боломжит далайц 0-1.0) байсан нь шинжилгээний хугацаанд (HOT 900-2011 онд) дээж хангалттай хэмжээтэй байсныг илтгэв.

Шалгалт/Баталгаажуулалт.

Бид төв Монголд зориулан 6-8 сарын дундаж scPDSI-г сэргээн гаргахдаа координатын хавтгайгаас (уртрагийн 46-49N, өргөрөгийн 99-109E) 6-8 сарын scPDSI-г 1959-2012 оны үеийн цаглабарын урт хугацааны төлөвийг арилгасан цагиргийнхаа өргөнтэй хамаатуулах шугаман регрессийн загварыг ашиглав (График. 1б). 1959 оноос өмнөх Монголын уур амьсгалын солбицлын сүлжээний өгөгдөл цөөн хэдэн станцад үндэслэдэг бөгөөд тогтворгүй хэлбэлзэлтэй байдаг. Тэгээд бид гаргасан загвараа баталгаажуулж, цаг хугацааны цуваагаа хоёр удаагийн 27 жил бүхий үе (1959-1986; 1987-2012) болгож салгах замаар цаг үе-хуваалтын зэрэгцүүлэн-баталгаажуулах аргаар таамаглалын алдааг тооцоолов.

Дараа нь сэргээн гаргасан scPDSI-ийн бүртгэлээсээ дээжилж авсан ижил урттай цаг хугацаанд Монголд тохиосон суулийн үеийн (1996-2012 оны) ган гачигтай харьцуулав.

Загвар загварчлал

21-р зууны ган гачгийн хүндрэлийг Төв Азийн байгаль уур амьсгалын хэлбэлзлийн хамрах хүрээнд багтаан тайлбарлахын тулд GFDL CM2.1 уур амьсгалын загварын (Wittenberg, 2009) урт хугацааны, албадаагүй хяналтын хөдөлгөөнийг бид ашиглав. Сар тутмын хур тунадас ба температурын загварчлалыг төв Монголтой холбоотой хагас градусын солбицлын нүднүүдээс гарган авч, Palmer-ын Гангийн Хүндрэлийн Индексийг (PDSI) тооцоолов. Эдгээрийг Хоргоос авчирсан (Pederson et al. 2014) модны цагиргаас сэргээн гаргасан PDSI-ийн эмпирик тооцоолол мөн Asia2k-ын сэргээн засварлалтаас авсан зуны температуртай (Cook et al. 2012) харьцуулав.

Бид уур амьсгалын загварыг ашиглан өнгөрсөн ба сүүлийн үеийн ган гачгийг урьчилан таамагласан ган гачигтай харьцуулав. Бидэнд өдгөө буй цаглабар нь 6-9 сарын scPDSI-тэй, хүчтэй, ач холбогдолтой, тогтвортой харилцан хамааралтай ($r=0.73$, $p<0.01$, 1956-2009) байна (van der Schrier 2013). Түүхэн хугацааны болон CMIP5-ийн RCP8.5 туршилтуудын 36 загварчлалыг ашиглан Cook болон бусад (2014) боловсруулсан ирээдүйн scPDSI төлөвтэй шууд харьцуулалтанд ороход бидний уг сэргээн гаргасан дээж боломжтой. Бид модны цагиргийн сэргээн гаргасан бүс нутагтай хамааралтай 6-8 сарын scPDSI-г загварчилсан загварыг гарган авч, мөн түүнчлэн хур тунадас болон боломжит ургамалд ус нэвчин уурших үзүүлэлтийн өөрчлөлтөөс нийт scPDSI-д үзүүлэх харьцангуй хувь нэмрийг үнэлэв.

ҮР ДҮН

Сэргээн гаргасан scPDSI

Бидний цагиргийн сэргээн гаргалт 1959-2012 оны хоорондох scPDSI-ийн ажиглалт дотор 56.5%-ийн хэлбэлзлийг тайлбарлаж, мөн 20-р зууны сүүлч, 21-р зууны эхний арваад жилийн турших арван жилийн өөрчлөлтийн далайцыг итгэмжтэйгээр төлөөлж байна (Зураг 1). Хуваагдсан шалгалт болон баталгаажуулах статистик зэргээр шалгалтын бүхий л хугацаанд сэргээн гаргалт баталгаатай бөгөөд уг загвар тэг загварын туршид ач холбогдолтой туршлагыг тээж байгааг (Pearson $r >0.70$ бүхий л шалгалт болон баталгаажуулалтын хугацаанд) илтгэж байна. Алдааг бууруулах (АБ) болон үр нөлөөний коэффициентын (ҮНК) статистик нь шалгалт болон баталгаажуулалтын хугацааны аль алинд 0.60 болон 0.45-аас тус тус хэтэрсэн нь үнэн зөв загвар болсныг илтгэж байна.

Ургах улирлын (6-8-р сарын) чийгийн модны цагираг доторх баримт 21-р зууны ган гачиг үнэндээ 1996 онд эхэлж наад зах нь 2011 он хүртэл үргэлжилсэн (Зураг 1б) бөгөөд дунджаас арай дээгүүр байсан хоёр зэргэлдээ бус жилд л (1999 and 2008) дундаа завсарлаж байсан гэсэн санааг дэвшүүлж байна. Үүний адил, 6-8 сарын scPDSI-г багаж хэрэгслийн тусламжтайгаар бүртгэсэн баримтаар ган гачиг 1996 онд эхэлсэн бөгөөд 1996-2013 оны хооронд scPDSI-ийн эерэг дүнг бүртгэсэн ганцхан жил тэр дунд байсан 1998 гэсэн санааг дэвшүүлж байна. Уг хугацааны (1996-2012) цогц сэргээн гаргасан scPDSI нь -27.4 байв. scPDSI-ийн сэргээн гаргалтаас 10,000 16-н жилийн хугацааг тохиолдлын байдлаар сонгох нь сүүлийн үеийн ган гачиг нь үнэмшлийн хязгаарын 95%-иас хэтэрсэн бөгөөд эдгээр сонголтын хуваарилалтын үнэмшлийн хязгаарын бараг 99.9%-иас хэтэрсэн болохыг илтгэж байна (Зураг 1в).

Загвар загварчлал

GFDL CM2.1-ийн урт хугацааны хяналтын хөдөлгөөнөөр загварчилсан арван жилийн далайцтай ган гачгийн харьцуулалт 21-р зууны ган гачиг загварчилсан ган гачгийн хүндрэл болон температуртай холбогдох холбогдол зэргийн хүрээ

далайцаас давж гарч байгааг үзүүлж байна. 21-р зууны ган гачиг нь загварчилсан арван жилийн ган гачгийн хүндрэлийн хуваарилалтаас давж гарч байгаа боловч албадаагүй хяналтын хөдөлгөөнд ажиглагдаагүй арван жилийн дундаж температуртай холбогдож байна.

Бидний scPDSI-ийн сэргээн гаргалтыг ирээдүйн загварчилсан ган гачиг болон хүчтэй бороо хурын (чийглэг) хэв шинжтэй харьцуулах харьцуулалт нэлээд тодорхой бус ирээдүй хүлээж буйг дэвшүүлж байна. 21-р зууны төгсгөл хүртэл урьдчилан тааварлах загвар нь ирээдүйд тохиох боломжтой чийгшлийн нөхцөлийг дотроо агуулж байна. Үүнд өнгөрсөн мянганы хүрээ далайцаас давж гарах хүчтэй бороо хур болон ган гачгийн нөхцлүүд багтана. Төв Монголын хойд хэсэгт ирээдүйн чийгшлийн хэв шинжийн тал дээр загварын зөвшилцөл үгүй. 21-р зууны турших загварчилсан хур тунадас, мөн боломжит ургамалд ус шингэж уурших ууршлын нөхцөл зэргийн нөлөөллийн шинжилгээгээр дараах зүйлийг илчилж байна. Энэхүү тодорхой бус байдал нь нэмэгдэж буй хур тунадастай холбоотой илүү чийглэг нөхцлийн хэв шинж болон өсөж буй температуртай холбоотой ууршлын илүү их байдал зэргийн хоорондох тэнцвэрээс үүдэлтэй юм. Ирээдүйд тохиох болзошгүй чийгшлийн муруйн янз бүрийн далайц нь эдгээр хоёр эсрэг дэсрэг хэв шинжийн загвар тус бүр доторх харьцангуй нөлөөллийг тусган харуулж байна.

ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

21-р зууны эхэнд Монголын хээрийн экосистемд олон удаагийн хохирол учирсныг олон янзын хүчин зүйлс, тэр дотор малын өмчлөл, засаг төрөөс малчдад үзүүлэх дэмжлэг багасах болон уламжлалт мал маллагааны технологи өөрчлөгдөх буюу хөдөлгөөнт чадамж багасах, мөн арилжааны зориулалттай үйлдвэрлэл ихсэх, ямааны тоо толгойн харьцаа өсөх зэрэгтэй холбож үзсэн байдаг (Лиу нар 2013; Стернберг 2008). Гэхдээ өнгөрсөн үеийн 1100 жилтэй хамааруулбал урьд өмнө үзэгдээгүй ган гачгийн үеэр тохиосон бодлого, соёлын эдгээр өөрчлөлтүүд нь сүүлийн үеийн ган гачигтай адил урт хугацааны 1000 олшруулсан сэргээн гаргасан сегментийн үнэмшлийн интервалын 99.9%-иас хэтэрсэн байна. Ган гачгийн үед нэмэгдсэн температур нь уг үзэгдэлд хүний оролцоотой дулаарал хувь нэмрээ оруулж буйг цаашлаад илтгэж байна (Pederson et al., 2014). Сүүлийн хорин жилийн дотор малчдын амсаж туулсан экологи, нийгэм болон эдийн засгийн асуудал сорилтууд уг хүчтэй болоод урьд өмнө үзэгдээгүй ган гачгаар тайлбарлагдах ёстой. Төв Монголд зориулсан ган гачгийн загварчилсан проекцуудээс харвал өнгөрсөн үеийн 1000 жилийнхээс ч илүү хүчтэй бороо хурын (чийглэг үе) болон ган гачгийн аль алинд хүргэх төлөвтэй, чигшлийн хэлбэлзэл өсөж буй туйлын тодорхой бус ирээдүй харагдаж байна (График 2).

ДҮГНЭЛТ

Судалгааны үр дүн нь өнөө үеийн Монголын байгаль орчны байдлыг тайлбарлах урт хугацааны нөхцөл болзлыг хангаж байна. Бодлогын төвшинд өөрчлөлт гарч, арилжааны зорилгоор мал аж ахуйн үйлдвэрлэлийг онцлох болсон нь 20-р зууны сүүлч болон 21-р зууны эхэнд бэлчээрийн чанарт сөрөг нөлөө үзүүлсэн нь гарцаагүй. Гэхдээ эдгээр нөлөө нь 1100 жилийн дотор тохиосон ихээхэн хэмжээний ган гачигтай давхцаж байна. Энэ ган гачиг нь мал сүргийн менежментийн арга барилыг ихээхэн хэсгийг асуудал эргэлзээтэй болгохуйц байгаль орчны нөхцлийг Монголд авчирчээ. Ирэх 100 гаруй жилд зориулан ган гамшигт загварилсан загвар нь өргөн хүрээтэй байгалийн гамшигт үзэгдэл тохиохыг илтгэж байгаагийн дотор 21-р зууны эхэнд болстой төстэй буюу илүү их хэмжээний ган гачиг, мөн саяхан болж өнгөрсөнтэй адил буюу давуу их бороо усны үзэгдэл болохыг илтгэж байна. Бодлого тогтоогчид сүүлийн үед тохиолдсон ган гачгийн жишээг цаашдын гамшигт үзэгдлийн сануулга болгон ашиглаж болох боловч, нөгөөтээгүүр ган гачиг, бороо

усны элбэгшлийн давтамж, ноцтой байдал нэмэгдэж байгаагийн нийгэм, эдийн засаг болон байгаль орчны холбогдлыг ч мөн харгалзвал зохино.

ТАЛАРХАЛ

Бид талбарын болон лабораторийн техникчид John Burkhart, Shawn Cockrell, Alex Dye, Kristin DeGrauw, Joseph James, Dario Martin-Benito, Javier Martin-Fernandez, Соронзонболдын Бямбабаатар болон Өлзийбаярын Балжинням нарын дэмжлэг туслалцаанд талархаж байна. Энэ судалгаа Үндэстний Газарзүйн 9114-12 дугаар Үндэстний Шинжлэх ухааны Сангийн CNH 1210360 and DEB-0816700 дугаар, WVU Тэнхимийн Senate, мөн Леймонт-Дохерти Дэлхийн Одон Орон Судлалын газрын Уур амьсгалын төв зэрэг газрын хандиваар хийгдсэн.

АШИГЛАСАН ХЭВЛЭЛИЙН ЖАГСААЛТ

- Batima P, Natsagdorj L, Gombluudev P, Erdenetsetseg P. (2005). *Observed climate change in Mongolia*. Assessments and Adaptations to Climate Change (AIACC) Working Paper 12.
- Cook ER. (1985). *A time series analysis approach to tree ring standardization*. PhD Dissertation, University of Arizona, Tucson, AZ.
- Cook BI, Smerdon JE Seager R, Coats S. (2014), Global warming and 21st century drying. *Climate Dynamics*, 43, 2607-2627.
- Friedman JH, Silverman BW. (1989). Flexible Parsimonious Smoothing and Additive Modeling. *Technometrics*, 31, 3-21.
- Liu YY, Evans JP, McCabe MF, de Jeu RAM, van Dijk AIJM, Dolman AJ, Saizen I. (2013). Changing Climate and Overgrazing Are Decimating Mongolian Steppes. *PLoS ONE*, 8, e57599.
- Pederson N, Hessel A, Nachin B, Anchukaitis K, DiCosmo N. (2014). Pluvials, droughts, the Mongol Empire, and modern Mongolia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 11, 4375-4379.
- Sternberg T. (2010). Unravelling Mongolia's extreme winter disaster of 2010. *Nomadic Peoples*, 14, 72–86.
- van der Schrier G, Barichivich J, Briffa KR, Jones PD. (2013). A scPDSI-based global dataset of dry and wet spells for 1901-2009. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118, 4025–4048.
- Wittenberg A. (2009). Are historical records sufficient to constrain ENSO simulations? *Geophysical Research Letters*, 36, L12702.

Хүснэгт 1. Төв Монголын хойд хэсгийн Хоргын (KLP) модны цагиргийн цаглабарын статистик дүгнэлт. Үүнд: цувралын тоо, дундаж, хамгийн богино, хамгийн урт сегментийн урт, цаглабар тус бүрт нийт цагиргын тоо багтсан байна. R-давхарга бол цувралын хоорондох дундаж харилцан хамаарал.

Байршлын нэр	Эхний жил	Сүүлчий жил	Цувралын тоо	Дундаж сегмент	Хамгийн богино сегмент	Хамгийн урт сегмент.	r- давхарга (std)	EPS>0.9
KLP	900	2011	127	492	302	1192	0.713 (0.04)	900 - 2011

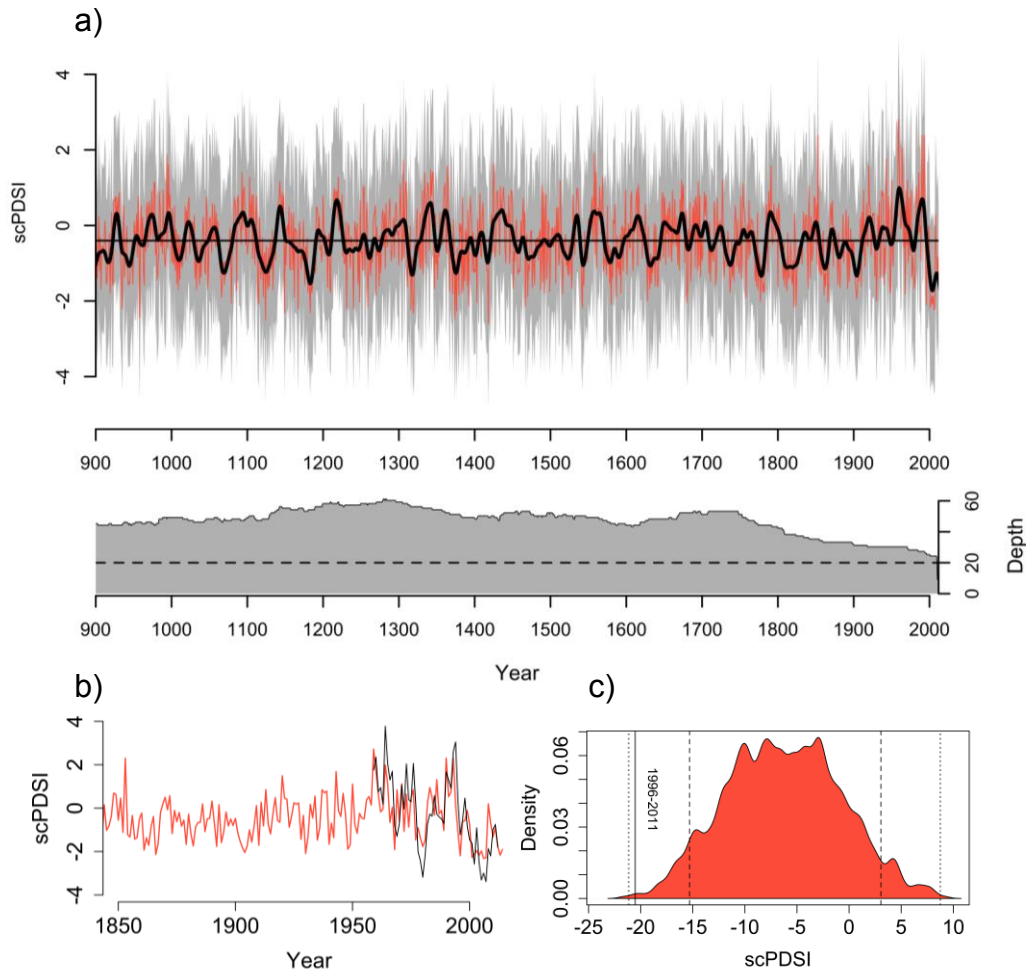


График 1. (а) Хоргын модны-цагиргийн HOT -900- 2013 оны хугацааны сэргээн гаргасан scPDSI (улаан зураас), 15 жилийн функций муруй (хар зураас), сэргээн гаргалтын 2RMSE (саарал) болон дээжийн гүн (саарлаар будсан хэсэг). (б) HOT1850-2012 оны, координатын хавтгайгаас (уртрагийн 46-49° N, өргөрөгийн 99-109° W) сэргээн гаргасан scPDSI-ийн хавсралт (улаан зураас) болон багаж хэрэгслийн тусламжтай гаргасан scPDSI (van der Schrier et al. 2013) (хар зураас). (с) Цогц scPDSI-ийн цөм нягтралын функц, сэргээн гаргалтын (улаан) 17жилийн сегментийн 1000 дээжээс гаргаж авсан, 1996-2012 оны ган гачиг (хар зураас) болон 99.9% үнэмшлийн интервал бүхий (тасархай зураас).

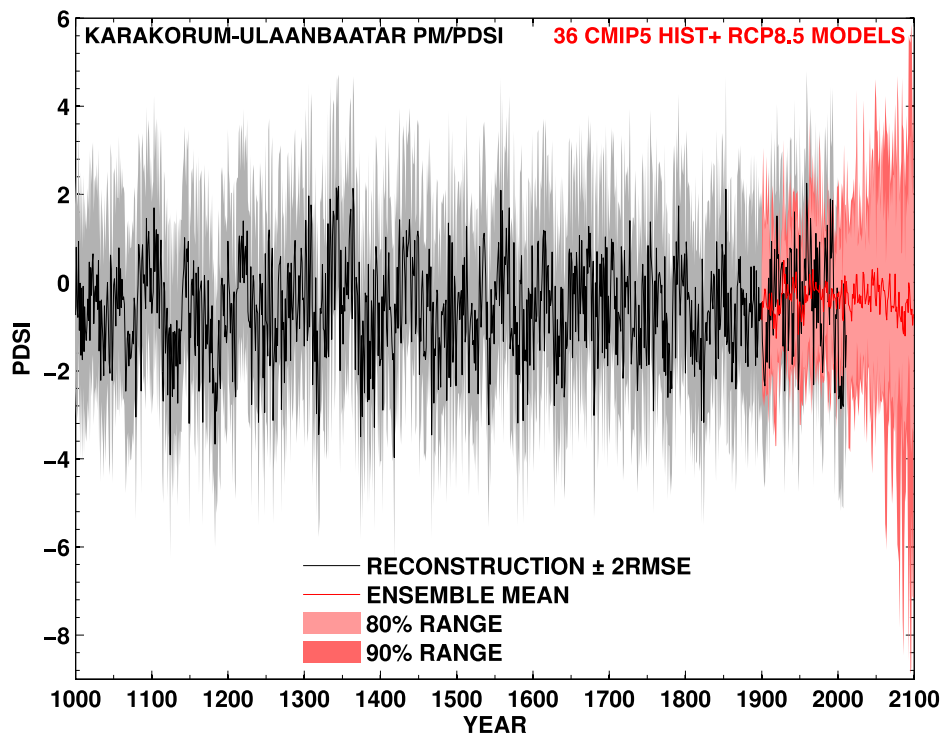


График 2. Pederson болон бусад (2014) төв Монголд зориулан модны цагиргын scPDSI-г сэргээн гаргасан (хар) болоод CMIP5-ын түүхэн ба RCP8.5-ын ирээдүйн уур амьсгалын загваруудыг ашиглан загварчилсан Palmer-ын Гангийн Хүндрэлийн Индекс (PDSI) (улаан)