

Модны цагиргийн эртийн, оройн, тохируулсан оройн өсөлт болон хур тунадасын харилцан хамаарал: Монголын Хангайн нуруунаас авсан шинжилгээний жишээ

Ж. Маршал Вулф^{1,2}, Ниа Б. Х. Венабл^{3,4}

¹ Экосистемийн шинжлэх ухаан, Тогтворт байдлын төв, Колорадо Мужийн Их Сургууль, Fort Collins, Colorado АНУ 80523-1476

²<mwolf@rams.colostate.edu>

³EASC-Сав газрын шинжлэх ухаан, Колорадо Мужийн Их Сургууль, Fort Collins, Colorado АНУ 80523-1482

⁴<niah.venable@gmail.com>

ХУРААНГУЙ

Төв Монголын Хангайн нуруу нь хэд хэдэн гол мөрний системийн эх болоод нүүдэлчдийн мал сүргийн хувьд шийдвэрлэх бэлчээр болдог гэсэн утгаар эргэн тойрны бүс нутагтаа экологийн чухал үйлчилгээ хангадаг. Түүнчлэн тухайн ууланд ургадаг Сибирь шинэсэн (*Larix sibirica*) ойн модны цагирганд тэмдэглэгдэж үлдсэн мэдээлэл нь тухайн бүс нутгийн чийгийн өөрчлөлтийн тухай урт хугацааны баримтыг гаргаж өгдөг. Модны цагиргийн өргөн нь хур тунадас болон/буюу голын урсацтай ямар харилцан хамааралтай байсанд үндэслэн модны цагиргийн өргөний хэмжилтийг тухайн бүс нутгийн ус цаг уур ямар байсныг статистик үзүүлэлтээр сэргэн тогтооход гол төлөв ашигладаг. Баянхонгор аймгийн хойд хэсгийн Жаргалант багийн ойролцоо нутгаас модны гол цуглуулан цагиргийн үүссэн цаг хугацааг харьцуулж, цагиргийн өргөнийг хэмжсэн. Тухайн нутгийн эргэн тойронд байрлах хэд хэдэн ус цаг уурын станцаас 1962-2012 оны хоорондох улирлын нийт хур тунадасын үзүүлэлтийг авав. Хур тунадасын эдгээр түүхэн үзүүлэлтийг 16 цуврал модны голоос гаргасан нийт өсөлт (НӨ), эртийн өсөлт (ЭӨ) болон оройн өсөлт (ОӨ) цагиргийн өргөний заалттай харьцуулсан. Хангайн бүс нутгийн жилийн нийт хур тунадасын 70 орчим % нь зуны улиралд (6, 7, 8 сард) унадаг бөгөөд модны цагиргын өргөн нь (НӨ, ЭӨ ба ОӨ) тухайн жилийн хавар буюу өнгөрөгч жилийн намрынхаас илүүгээр өнгөрөгч жилийн зуны хур тунадастай илүү харилцан хамааралтайг харуулж байна. ОӨ-ийн өргөн нь өмнөх ЭӨ-ийн цагиргийн өргөнөөс хараат байх нь хавар болон намрын хур тунадастай ямар нэг харилцан хамаарлыг далдалдаг. Энэ хараат байдлыг шугаман регрессийн тусламжтайгаар үгүй болгох нь тохируулсан оройн өсөлтийн (ОӨ_T) цагиргийн өргөн нь тухайн жилийн хавар ба өнгөрөгч жилийн намрын аль алинд унасан хур тунадастай сөрөг хамааралтайг үзүүлэхэд хүргэв. Энэ нь жинхэнэ ОӨ, ЭӨ ба НӨ хэмжилтүүд хийхэд үл илрэх, цаг уурын өөр дохиог ОӨ_T бүртгэдэг болохыг илтгэж байна. ЭӨ ба (өнгөрөгч жилийн) зуны хур тунадасын харилцан хамаарал нь НӨ ба (өнгөрөгч жилийн) зуны хур тунадасын харилцан хамааралтай дүнгийн хувьд ижил байсан нь урт хугацааны зуны хур тунадасын өөрчлөлтийн сэргээн тогтооход модны цагиргийн нэмэлт хэмжилт ашиглах шаардлагагүй байх магадлалыг харуулав. Гэхдээ ОӨ_T болон

түүнийг тооцоход шаардагддаг холбогдох хэмжилтүүд нь зуны хур тунадас давамгайлах ус цаг уурын системд хавар ба намрын хур тунадасын хэв шинжийг сэргээн тогтооход ашиглагдаж болзошгүй.

Түлхүүр үгс: Монгол, модны цагираг, шинэс, хур тунадас, эртийн өсөлт, тохируулсан оройн өсөлт, эртний цаг агаар

ОРШИЛ

Хангайн нурууны бүс нутаг нь төв Монголын гурав *аймгийг* хамарсан 120,000 орчим шоо км ойт хээр, хээр болон цөлийн хээрийн эко-бүсийг эзэлдэг. Уг нуруу нь хэд хэдэн томоохон гол мөрний системийн эх, мөн нүүдэлчдийн мал сүргийн хувьд улирлын шийдвэрлэх бэлчээр болдог (Fernandez-Gimenez, 2000). Тус бүс нутгийн хур тунадасын шинж нь зуны 6-8 саруудад тохиох ус цаг уурын өргөн хэмжээний цочрол бөгөөд эдгээр саруудад жилийн хур тунадасын 70% нь ордог (Sato et al., 2007). Хавар, намрын хур тунадасын хэв шинж ч бас мал бэлчэхэд хийгээд дотоодын болон хөдөө аж ахуйн зориулалттай байгалийн усны нөөцийг тэтгэхэд шаардлагатай ургамал ногооролд чухал ач холбогдолтой байна (Yu et al., 2003; Fassnacht et al., 2011).

Бүртгэлийн хугацаанд тус бүс нутгийн температурын нэлээд хэмжээний дулаарал явагдаж байсан хэдий ч хур тунадасын өөрчлөлтийн хэв шинж харьцангуй тодорхой бус байна (Batima et al., 2005; Dagvadorj, 2010; Jamiyansharav, 2010; Fassnacht, et al., 2011; Venable et al., 2012). Бүс нутгийн уур амьсгалын ажиглалтын бүртэл нь нэлээд богино, 1960-аад оноос өнөөдрийг хүртэлх хугацаанд л хийгдсэн байна. Тиймээс бид Сибирь шинэс модны (*Larix sibirica*) цагиргийг Хангай нутгийн чийгийн өөрчлөлтийн тухай урт хугацааны баримтыг хангахад ашиглахаар байна.

Бүс нутгийн улирлын хур тунадасын хэв шинжийн ялгааг олж харахын тулд орон нутгийн ус цаг уурын байдал цаг хугацааны уртад ямар өөрчлөлтөнд орсныг илүү сайн ойлгох нь чухал ач холбогдолтой. Уламжлалт дендроклиматологийн шинжилгээгээр нийт цагиргийн өргөний хэмжүүрийг уур амьсгалын хувьсагчид болох температур ба хур тунадас зэрэгт харилцан хамааруулдаг (i.e., Fritts, 1976). Зуны улирлын (өнгөрөгч ба тухайн жилийн) хур тунадас модны нийт цагирагтай хүчтэй харилцаатай байдагтай холбогдуулан Монголын өнгөрсөн үеийн хур тунадасын байдлыг сэргээн тогтооход нийт цагиргийн өргөнийг ашигладаг байжээ (e.g. Jacoby et al., 1999; Pederson et al., 2001).

Нэлээд сүүлийн үеийн судалгаагаар, ялангуяа хур тунадас жилд хоёр удаагийн, муссоны хэв шинжтэй байх бүс нутагт, модны нийт цагиргийн өргөнийг бодвол модны цагиргийн бүрэлдэхүүн дэх эртний өсөлт болон оройн өсөлтийн өргөн нь улирлын хур тунадастай харилцан хамаарал ялгаатай, мөн ихэнхдээ илүү сайн харилцан хамааралтай болохыг дэвшүүлэв (Meko and Baisan, 2001). Ялангуяа Америкийн Баруун-Өмнөд хэсэгт, сэрүүн улирлын хур тунадасын хэв шинжтэй илүү харилцан хамааралтай модны нийт цагиргийн өргөнөөр дулааны улирлын хур тунадасын хэв шинжийг сэргээн тогтоох оролдлого хийж байхад дээр дэвшүүлсэн санаа онцгой ашигтай болох нь нотлогдов (Stahle et al., 2009, Griffin et al., 2011). Монголд улирлын температур болон/буюу хур тунадасын хэв шинжийг судлахдаа эртийн өсөлт, оройн өсөлтийг ашигласан цөөн хэдэн судалгаа л бий (De Grandpré et al., 2011; Dulamsuren et al., 2011; Khishigjargal et al., 2014). Бидний энэ судалгааны зорилго бол Монголд саяхан цуглуулсан модны голын нийт, эртийн өсөлт болон оройн өсөлтийн цагиргийн өргөн нь бүс нутгаас авсан улирлын хур тунадасын өгөгдөлтэй ямар харилцан хамааралтай болохыг ирээдүйн ус цаг уурын сэргээн тогтоолтод ашиглах боломжийг бүрдүүлэх зорилготойгоор шинжлэн судлах юм.

СУДАЛГААНЫ АРГАЧЛАЛ

Судалгаа хийсэн газар болон модны гол

Модны голыг Монголын Хангайн нурууны бүс нутаг, Баянхонгор аймгийн Эрдэнэцогт сумын Жаргалант багаас ойролцоох уулын хуурай газрын 25 Сибирь шинэс модноос (*Larix sibirica*) 2012 оны 6 сард цуглуулсан (График 1). Хөгшин моддын гол ерөнхийдөө өмхрсөн бөгөөд ойн нэгжийг тайрсан болоод түймэрт түлэгдсэн тэмдгүүд илүү өндөрлөг газрын хэд хэдэн хожуул ба модны гол дотор үзэгдэж байсан. Мод хөгшрөх тусам цагиргийн оройн өсөлт нь тогтворшоод, цагиргийн өргөний хэмжээ багасах төлөвтэй байдаг тул шинжилгээнд цуглуулсан анхны 53 голоос 16 залуу модны (ойролцоогоор 50-100 настай) голыг шинжилгээнд сонгосон. Илүү хөгшин моддын оройн өсөлтийн дохионы хүч ихэхдээ буурдаг бөгөөд илүү оновчтой хэмжилт хийхэд хүндрэл учруулдаг (Griffin *et al.*, 2011).

Цуврал модны голыг дендрохронологийн стандарт аргаар (e.g. Stokes and Smiley, 1996) бэлтгэж, цагиргийн ургасан хугацааг тогтоов. R давхрага дэх dplR багцыг ашиглан ургасан хугацааг гар аргаар тогтоосны оновчит байдлыг статистикийн хувьд баталгаажуулж, мөн стандартжуулсан цагиргийн өргөн доторх уур амьсгалын үзүүлэлтийг давамгайлагч дохио болгон тусгаарлах зорилготой цувралын уртын 2/3 долгионы уртад 50%-ийн давтамжтай хариу үйлдэл бүхий горвит функцийг ашиглан цагиргийн өргөний хэмжүүрүүдийн урт хугацааны хэв шинжийг арилгах ажилбарыг (detrend) хэд хэдэн давталттайгаар хийв (Cook, 1985, Bunn, 2008; Bunn, 2010; R Core Team, 2014). Нийт цагиргийн өргөний хронологийн дор хаяж 0.85-тай тэнцэх EPS дохио бүхий үнэмшилт дундаж функцийг ашиглан цувралыг давхцуулах замаар судалгааны газраас цуглуулсан модны голын цагиргийн эртийн, оройн өсөлт болон цагиргийн нийт өргөнд зориулан үнэмшилт цаглабарыг байгуулсан (e.g. Wigley *et al.*, 1984, Briffa and Jones, 1990; Griffin *et al.*, 2011) (Хүснэгт 1). Тохируулсан оройн өсөлтийн индексийг өмнөх судалгааны арга замтай ойролцоо байдлаар судалгааны газрын төвшинд тооцоолсон оройн өсөлтийн өргөн нь өнгөрөгч жилийн эртийн өсөлтийн өргөнөөс хамааралтай байх байдлыг арилгахын тулд ийм арга хэмжээ авчээ (e.g. Griffin *et al.*, 2011; Meko and Baisan, 2011; Stahle *et al.*, 2009).

Хур тунадасын өгөгдөл

Монголын Хангайн бүс нутаг дахь хур тунадасын ихэнх хэсэг нь орон нутгийнхны тайлбар ёсоор хагас-муссон хур бороо байдлаар 4-р сараас 9-р сарын хоорондох хугацаанд тохиодгийг энд чийглэг улирал гэж тодорхойлсон байна. Хуурай улирал нь 10-р сараас 3-р сарыг дуустал үргэлжилдэг буюу шинэс модны цагиргийн тухайн жилийн хувьд идэвхгүй үеийн (өмнөх жилийн 10-р сараас тухайн жилийн 3-р сар хүртэл) ихэнх хугацааг хамаардаг. Улирлын хур тунадасыг тодорхойлохдоо 3-р сараас 5-р сарынхыг хаврынх, 6-р сараас 8-р сарынхыг зунынх, 9-р сараас 11 сарынхыг намрынх, мөн 12-р сараас 2-р сарынхыг өвлийнх гэж хуваав. Хур тунадасын оргил хэмжээ нь ерөнхийдөө 7-8-р саруудад болдог бөгөөд бүртгэлийн хугацаанд үүнийг жилийн нийт хур тунадасын дунджаар 69.2%-ийг эзэлдэг болохыг нь тогтоов.

Цагиргийг шинжилгээ хийхээр модны гол цуглуулсан газрын хур тунадасын нийт хэмжээг урт хугацааны хяналт шинжилгээний гурван станцаас (Баянхонгор, Галуут болон Цэцэрлэг дэх) авсан үндсэн урвуу зайн ачааллыг ашиглаж, дутуй өгөгдлийг Дэлхийн Хур тунадасын Уур амьсгалын Төвийн (GPCC) сар тутмын солбицлын сүлжээний дүнгээр нөхөв (Schneider *et al.*, 2014) (График 1).

ҮР ДҮН

Тухайн ба өнгөрөгч жилийн нийт хур тунадас, мөн чийглэг/хуурай улирлын (зургаас сарын нийт дүн) болон улирлын хур тунадас (гурван сарын нийт дүн) зэрэг нь тухайн жилийн нийт цагиргийн өргөн, эртийн өсөлт болон тохируулсан оройн өсөлтийн өргөнтэй ямар харилцан хамаартай болохыг тогтоов. Энэ өгүүллэгт

зөвхөн хамгийн ач холбогдолтой үр дүнг ($p < 0.05$ төвшин дэх) оруулсан болно (Хүснэгт 1). Хамгийн хүчтэй харилцан хамаарал нь нийт цагиргийн болон эртийн өсөлтийн өргөн ба өнгөрөгч жилийн нийт, зуны болон чийглэг улирлын хур тунадастай эерэг хамааралтай байна. Оройн өсөлт нь өнгөрөгч жилийн зуны хур тунадастай эерэг харилцан хамааралтай, харин тухайн жилийн хуурай улиралтай (өнгөрөгч 10-р сараас тухайн 3-р сар хүртэл) сөрөг харилцан хамааралтай байна. Оройн өсөлтөөс ялгаатайгаар тохируулсан оройн өсөлтийн хувьд өмнөх зуны хур тунадастай ач холбогдолтой харилцан хамаарал ажиглагдсангүй. Харин энэ нь өмнөх жилийн намрын (9-р сараас 11-р сарын) хур тунадас болон хаврын (3-р сараас 5-р сарын) хур тунадастай сөрөг харилцан хамааралтай байсан. Оройн ба тохируулсан оройн өсөлтийн аль аль нь тухайн жилийн хуурай улиралтай ижил хэмжээ далайцын сөрөг харилцан хамааралтай байна.

ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ БОЛОН ДҮГНЭЛТ

Чийглэг улирлын болон зуны хур тунадастай илүү сайжруулсан харилцан хамааралтай байх утгаар нийт цагиргийн болон эртийн өсөлтийн өргөний дүнгийн хооронд бага ялгаа гарч байна. Энэ нь нийт цагиргийн өргөнтэй харьцуулбал сэргээн тогтоох ажилбарт эртийн өсөлтийг ашиглаж нэмэлт хэмжилт хийх шаардлага байхгүй гэсэн санаг дэвшүүлж байна. Судалгааны газраас зүүн-хойд зүгт байрлах бүс нутгийн шинэс модны нийт, эртийн өсөлт болон оройн өсөлтийн (гэхдээ тохируулсан оройн өсөлтөд биш) цагиргийн өргөний хувьд өнгөрөгч жилийн 7-8-р сарын хур тунадастай илэрхий харилцан хамааралтай байх нь ажиглагджээ (De Grandpré et al., 2011). Түүнчлэн тус бүс нутгаас Khishigjargal et al. (2014) олж тогтоосноор нийт цагиргийн өргөн нь 7-р сарын (зуны гэсэн ангилалд багтсан) хур тунадас болон өмнөх жилийн сүүлийн улирлын (чийглэг гэсэн ангилалд багтсан) хур тунадастай эерэг харилцан хамааралтай байв. Тэд 12-р сарын (хуурай гэсэн ангилалд багтсан) хур тунадас болон цагиргийн өргөний хооронд сөрөг харилцан хамаарлыг олж тогтоожээ. Хэнтийн нурууны баруун хэсэгт явуулсан Dulamsuren et al. (2011) судалгаа нь дээрхтэй адил үр дүнтэй байсан. Хэдийгээр энд тодорхойлсон ёсоор хуурай улиралд 12-р сарын/өвлийн хур тунадас багтаж магадгүй боловч өвлийн хур тунадас болон цагиргийн өргөний ямар нэг харилцан хамаарлыг бидний шинжилгээний үр дүнгээр дэмжсэн зүйл байхгүй.

Оройн өсөлт болон тохируулсан оройн өсөлт нь өмнөх жилийн чийглэг улирлын болон зуны хур тунадастай харилцан хамаарал ялгаатай байгаа нь эртийн өсөлт болон оройн өсөлтийн харилцааг харуулж байгаа бөгөөд Жаргалантаас авсан тэдгээр модны голын тэрхүү хамаарлыг үгүй болгох шаардлагыг илтгэж байна. Өмнөх жилийн нийт хур тунадас болон оройн өсөлт ба тохируулсан оройн өсөлтийн хооронд харилцан хамааралгүй байгаа нь магадгүй зуны чийглэг улирлын дохио тэмдгийн давамгайллаас, мөн эртийн өсөлт болон цагиргийн нийт өргөнийн тогтоцтой түүний хүчтэй харилцаа зэргээс болж байгаа байх. Хэдийгээр зуны ус чийгийн нөлөө нь оройн өсөлтийн тогтоц өргөн байгаад нөлөөлөх боломжтой боловч харилцан хамаарал үгүй байгаа нь оройн өсөлтийн хөгжилд температурын нөлөөллийн үр дүнгийнх байж бас магадгүй юм (De Grandpré et al., 2011).

Өнгөрөгч жилийн зуны хур тунадас болон нийт ба эртийн өсөлтийн өргөн нь олж тогтоож байснаас хамгийн хүчтэй, тус тус $r=0.46$ болон $r=0.47$ коэффициенттэй харилцан хамааралтай байсан нь Монголд урьд өмнө хийж байсан судалгаануудын үр дүнг баталжээ (e.g. De Grandpré et al., 2011) (Хүснэгт 1). Цагиргийн өргөний нэмэлт хэмжилтээр (өөрөөр хэлбэл ЭӨ, ОӨ болон ОӨ₊) нийт өргөний хэмжээнд өнгөрөгч жилийн намартай ($r=-0.35$ ОӨ₋-тэй), өнгөрөгч жилийн чийглэг улиралтай ($r=0.37$ ЭӨ-тэй), мөн өнгөрөгч жилийн нийт хур тунадастай ($r=0.36$ ЭӨ-тэй) харилцан хамаарал өсөлттэй болон/буюу ач холбогдолтой хэмжээ далайцтай байсныг харуулав. Энэ нь улирлын хур тунадасын хэв шинжийг сэргээн гаргахад эдгээр нэмэлт хэмжилтийг ашиглах шаардлагатайг улам батлав. Монголд эртийн болон оройн өсөлтийн илт хуваалт байгааг, мөн хур тунадас нь улирлын шинжтэй

болохыг эдгээр үр дүнгээр дэвшүүлж байна. Энэ нь Хангайн нурууны эрт ба сүүлийн улирлын хур тунадасын дохиог шинэс модны тохируулсан оройн өсөлт нь өөртөө шингээх чадамжтай болохыг баталж байна.

Хэмжилт хийж болохуйц эртийн/оройн өсөлтийн бүртгэлийн уртаас хамааран, ус цаг уурын багаж хэрэгслийн бүртэл явагдахаас хэдэн арван жилийн өмнөх улирлын хур тунадасын өөрчлөлтийг шинжилж судлахад эдгээр дүгнэлтийг ашиглах боломжтой. Түүнчлэн улирлын ус чийгийн хэв шинжийг зайны тандалтын судалгаагаар гаргасан эсвэл бусад байдлаар хэмжсэний харилцан хамаарлыг, тухайлбал ургамалын ногоорол болон шарлалтын хугацаа товыг тогтоох зэргээр харьцуулж, үүгээр эдгээр нөхцөл байдлыг өөрсдөөр дахин батлах, мөн эдгээрийн эрт өнгөрсөн үеийн ажиглалтыг ч хүртэл хийх боломжтой. Наад зах нь улирлын хур тунадасын төлөв байдлыг тогтоож, өөрөөр хэлбэл хавар буюу намрын чийглэг эсвэл хуурай байсан эсэхийг тодорхойлж болно. Ийм хэмжилтээр улирлын хэв шинжийн төлөв байдлыг (чийглэг/хуурай) чанарын аргаар харьцуулах тул энэ нь түүхэн зудны (өвлийн гамшиг болон малын хорогдол) талаарх ойлголтыг нэмж өгөх боломжтой.

ТАЛАРХАЛ

Судалгаанд ашиглагдсан хур тунадасын өгөгдлийг Монголын Ус цаг уур, Орчны хүрээлэнгээс (УЦУОХ) хангаж өгсөн Түмэнжаргалын Сүхэд, мөн доктор Стивен Фаснахт, Жигжидсүрэнгийн Одгарав болон Жамьянхуягийн Сүхбаатар (уг багт мөн хоёрдугаар зохиогч Ниа Венабл багтсан болно) нараас бүрдсэн модны гол цуглуулах ажлын багийнханд зохиогчдын зүгээс талархал илэрхийлж байна. Модны голыг боловсруулах био-газарзүйн лабораторийг Колорадо Мужийн Их Сургуулийн Антропологиян Тэнхимийн доктор Жейсон Сийболд хангаж тусалсан. Түүнчлэн Рокки Уулын Модны Цагиргийн Судалгааны газрын доктор Питер Браунд модны голын ургасан хугацааг тогтоох болон шинжилгээний үйл явц зэрэгт өөрийн ойлголт мэдлэг, зөвлөмжөөсөө хуваалцаж тусалсанд нь талархаж байна. Модны цагиргийн өгөгдөл цуглуулж эмхтгэх ажлыг Монгол Судлалын Америкийн Төвийн (ACMS) АНУ-Монголын Талбарын Судалгааны Хамтын Ажиллагааны Хөтөлбөрөөс, мөн Үндэстний Шинжлэх Ухааны Сангийн Хүн Байгалийн Хосолсон Системийн хөдлөлзүйн хөтөлбөрөөс (тэтгэлэг BCS-1011801, удирдагч доктор Мариа Фернандез-Гименез) санхүүжүүлсэн. Өгүүллэгийг хянан тохиолдуулсан хоёр нэр үл заасан шүүмжлэгчид талархал илэрхийлж байна.

АШИГЛАСАН ХЭВЛЭЛИЙН ЖАГСААЛТ

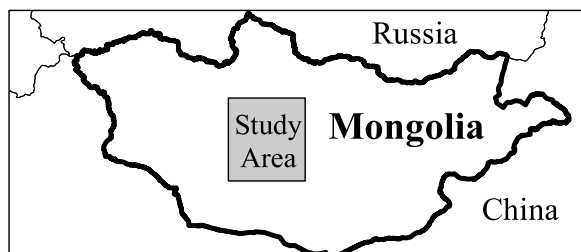
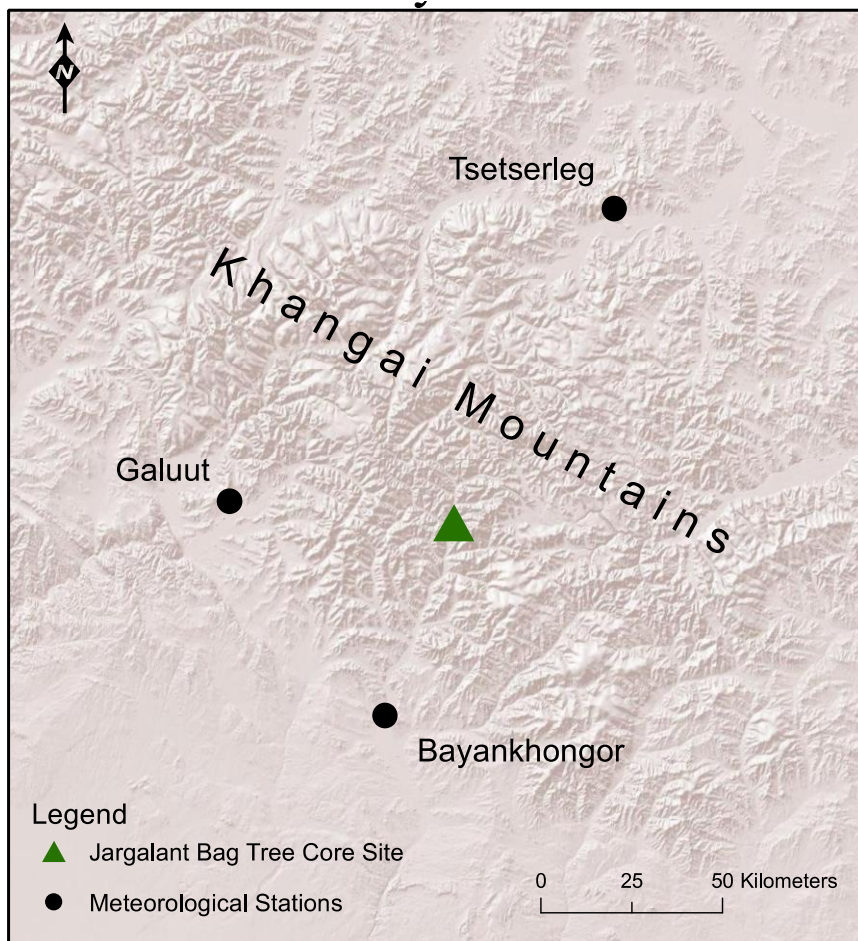
- Batima P, Natsagdorj L, Gombluudev P, Erdenetsetseg B. (2005). *Observed climate change in Mongolia*. AIACC Working Paper No. 13, URL: http://www.aiaccproject.org/working_papers/working_papers.html.
- Briffa KR, Jones PD. (1990). Basic chronology statistics and assessment. In (Cook ER, Kariukstis LA, eds.) *Methods of Dendrochronology*, Applications in the Environmental Sciences, International Institute for Applied Systems Analysis, Kluwer Academic Publishers, Boston, p137-132.
- Bunn AG. (2008). A dendrochronology program library in R (dplR). *Dendrochronologia*, 26, 115–124.
- Bunn AG. (2010). Statistical and visual crossdating in R using the dplR library. *Dendrochronologia*, 28, 251–258.
- Cook ER. (1985). *A time series analysis approach to tree ring standardization*. Unpublished PhD Dissertation, School of Renewable Natural Resources, University of Arizona, Tucson, Arizona, USA, 189 pp.
- Dagvadorj D. [Ed.] (2010). *Mongolia Second National Communication*, Under the United Nations Framework on Climate Change, Ministry of Nature, Environment, and Tourism, Ulaanbataar, Mongolia, 160 pp.

- De Grandpré L, Tardif JC, Hessl A, Pederson N, Conciatori F, Green TR, Oyunsanaa B, Bataarbileg N. (2011). Seasonal shift in the climate responses of *Pinus sibirica*, *Pinus sylvestris*, and *Larix sibirica* trees from semi-arid, north-central Mongolia. *Canadian Journal of Forest Research*, 41, 1242–1255.
- Dulamsuren C, Hauck M, Leuschner H, Leuschner C. (2011). Climate response of tree-ring width in *Larix sibirica* growing in the drought-stressed forest-steppe ecotone of northern Mongolia. *Annals of Forest Science*, 68, 275–282.
- Fassnacht SR, Tumenjargal S, Fernandez-Gimenez ME, Batbuyan B, Venable NBH, Laituri M, Adyabadam G. (2011). Local understanding of hydro-climatic changes in Mongolia. *Cold Region Hydrology in a Changing Climate*. Proceedings of Symposium H02 held during the IUGG2011 Assembly, July 2011, Melbourne, Australia. IAHS, 346, 120-129.
- Fernandez-Gimenez ME. (2000). The Role of Mongolian nomadic pastoralists' ecological knowledge in rangeland management. *Ecological Applications*, 10, 1318–1326.
- Fritts HC. (1976). *Tree rings and climate*. Academic Press: London, 584 pp.
- Griffin D, Meko DM, Touchan R, Leavitt SW, Woodhouse CA. (2011). Latewood chronology development for summer-moisture reconstruction in the US Southwest. *Tree-Ring Research*, 67, 87–101.
- Jacoby G, D'Arrigo RD, Pederson N, Buckley B, Dugarjav C, Mijiddorj R. (1999). Temperature and precipitation in Mongolia based on dendroclimatic investigations. *IAWA Journal*, 20, 339–354.
- Jamiyansharav K. (2010). *Long-term analysis and appropriate metrics of climate change in Mongolia*. Unpublished PhD Dissertation, Graduate Degree Program in Ecology, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA, 135 pp.
- Khishigjargal M, Dulamsuren C, Leuschner HH, Leuschner C, Hauck M. (2014). Climate effects on inter- and intra-annual larch stemwood anomalies in the Mongolian forest-steppe. *Acta Oecologica*, 55, 113–121.
- Meko DM, Baisan CH. (2001). Pilot study of latewood-width of conifers as an indicator of variability of summer rainfall in the North American Monsoon region. *International Journal of Climatology*, 21, 697–708.
- Pederson N, Jacoby GC, D'Arrigo RD, Cook ER, Buckley BM, Dugarjav C, Mijidorj, R. 2001. Hydrometeorological reconstructions for northeastern Mongolia derived from tree rings. *Journal of Climate*, 14, 1651-1995.
- R Core Team. (2013). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <http://www.R-project.org/>.
- Sato T, Tsujimura M, Yamanaka T, Iwasaki H, Sugimoto A, Sugita M, Kimura F, Davva G, Oyunbaatar D. (2007). Water sources in semiarid northeast Asia as revealed by field observations and isotope transport model. *Journal of Geophysical Research*, 112, D17112.
- Schneider U, Becker A, Finger P, Meyer-Christoffer A, Zeise M, Rudolf B. (2014). GPCP's new land surface precipitation climatology based on quality-controlled in situ data and its role in quantifying the global water cycle. *Theoretical and Applied Climatology*, 115(1-2), 15–40.
- Stahle DW, Cleaveland MK, Grissino-Mayer HD, Griffin RD, Fye FK, Therrell MD, Burnette DJ, Meko DM, Villanueva Diaz J. (2009). Cool- and Warm-Season Precipitation Reconstructions over Western New Mexico. *Journal of Climate*, 22, 3729–3750.
- Stokes MA, Smiley TL. (1996). *An introduction to tree-ring dating*. University of Arizona Press, Tucson, AZ, 73pp. [Originally published, 1968, University of Chicago Press]
- Venable NBH, Fassnacht SR, Adyabadam G, Tumenjargal S, Fernandez-Gimenez ME, Batbuyan B. (2012). Does the length of station record influence the warming trend that is perceived by Mongolian herders near the Khangai Mountains? *Pirineos*, 167, 71-88.
- Wigley T, Briffa K, Jones P. (1984). On the average value of correlated time-series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23, 201–213.

Yu F, Price KP, Ellis J, Shi P. (2003). Response of seasonal vegetation development to climatic variations in eastern central Asia. *Remote Sensing of the Environment*, 87(1), 42-54.

Хүснэгт 1. Модны цагиргын төрлүүд (индексууд) болон улирлын хур тунадасын хоорондох ач холбогдолтой харилцан хамаарал. Энд (с) болон (р) гэдгээр тухайн ба өнгөрөгч жилийн хур тунадас, мөн модны цагиргийн төрөл тус бүрт зориулсан цаглабарын статистик багтсан байна. Жич: EPS-ээр тухайн цаглабар нь (моддын хязгаарлагдмал тоонд үндэслэсэн) онолын хувьд төгс цаглабарыг хэр сайн төлөөлж буйг тооцоолдог. R-үе давхрага бол нэг модны гол хоорондын дундаж харилцан хамаарлыг (R-үе давхрага дотор), өөр моддын гол хоорондын дундаж харилцан хамаарлыг (R-үе давхрага хооронд) болон цаглабарын үр нөлөөт дохиог (R-үе давхрага үр нөлөөтэй) илэрхийлдэг хэмжүүр юм.

		Цагиргийн нийт өргөн	Эртийн өсөлтийн өргөн	Оройн өсөлтийн өргөн	Тохируулсан оройн өсөлт
Улирлын харилцан хамаарал	Хавар (с)	--	--	--	-0.29
	Зун (р)	0.46	0.47	0.29	--
	Намар (р)	--	--	--	-0.35
	Чийглэг (р)	0.36	0.37	--	--
	Хуурай (с)	--	--	-0.32	-0.34
	Нийт (р)	0.34	0.36	--	--
Цаглабарын статистик	EPS	0.86	0.85	0.81	--
	R-үе давхрага дотор	0.71	0.68	0.51	--
	R-үе давхрага хооронд	0.42	0.40	0.32	--
	R-үе давхрага үр нөлөөтэй	0.50	0.48	0.42	--



Зураг 1. Монголын Хангайн нурууны бүс нутагт модны дээж авсан байршил (гурвалжин дүрс) болон ус цаг уурын станцуудын байрлал (дугариг дүрс).