

Монгол орны хэмжээнд цаг уурын орон зайн өөрчлөлтүүд

Ниа Б.Х. Венабл^{1,2}, Стивен Р. Фаснахт^{3,4,5,6}, Алисса Д. Хендрикс^{3,6,7}

¹EASC- Ус хагалбарын Шинжлэх Ухаан, Колорадо Мужийн Их Сургууль, Fort Collins, CO АНУ 80523 ²<niah.venable@gmail.com>

²ESS- Ус хагалбарын Шинжлэх Ухаан, Колорадо Мужийн Их Сургууль, Fort Collins, Colorado АНУ 80523

³Агаар Мандлын Судалгааны Нэгдсэн Хүрээлэн, Fort Collins, CO АНУ 80523-1375 ⁴ КМИС дэх Гео-орон зайн Төв, Fort Collins, Colorado АНУ 80523-1019

⁵<steven.fassnacht@colostate.edu>

⁶МетСтат Корпораци, 320 E. Vine Drive, Suite 318, Fort Collins, Colorado АНУ 80524

⁷<ahendricks@metstat.com>

ХУРААНГҮЙ

Хуурайвтар болон хуурай нутагтай Монгол орны хэмжээнд цаг уурын өөрчлөлт дэлхийн аливаа өөр газар байршлаас илүүтэйгээр тохиож байсаар байна. Параметр үзүүлэлтээс үл шалтгаалах Тейл-Сены регресс тооцоологч аргаар тооцоолсоноор нийт хур тунадас (ХТ), хамгийн дээд температур (Тхдэ) болон хамгийн доод температурын (Тхдо) бүтэн жилийн болон жилийн зарим хэсгийн (улирлын) өөрчлөлтийн хувь хэмжээг тодорхойлохын тулд бид сар бүрийн солбилцлын сүлжээний өгөгдлийг ашигласан. Тэдгээр өөрчлөлтийн утгыг Манн-Кендаллын шалгуураар тооцоолсон байдаг. Зүүн Англиагийн Их Сургуулийн Ус Цаг Уурын Шинжилгээний Нэгжийн (УЦУШН) 1963–2012 онуудын хоорондох 50 жилийн хугацааны, 0.5 хувийн (~55 км) нарийвчлалтай өгөгдлийн цогцыг ашигласан билээ. 1963 оноос 1990-ээд оны эхэн үеийн хугацаанд Монгол ороны хэмжээнд 30-35 ус цаг уурын станц нь орон зайн хуваарилалт бүхий “Цаг уурын хэлбэлзлийн сар сарын өндөр нарийвчлалтай солбилцлын сүлжээний өгөгдөл” хэмээх УЦУШН-ийн бүтээгдэхүүнийг бий болгодог байсан бөгөөд 1990-ээд оноос одоо цаг хүртэл 20-30 станцыг ашигласаар үүнийг бий болгож байна. Үүний үр дүнг дараах газрын зургаар үзүүлсэн байна. Үүнд: i) жилийн (улирлынхыг үзүүлээгүй) дундаж уур амьсгал, мөн ii) бүртгэлийн хугацааны туршид (1963-2012) ХТ, Тхдэ болон Тхдо зэрэгт зориулсан жилийн (улирлынхыг үзүүлээгүй) төлөв байдлын давхцуулсан нарийвчлал бүхий газрын зураг байна. Температурын илүү тууштай өсөлттэй холбогдуулан өөрчлөлтийн хувь хэмжээ нь орон зайн хэлбэлзэлтэй байсан. Илүү жижиг газарт температурын ноцтой төлөв байдлаас илүүтэй хур тунадасын ноцтой төлөв байдал ажиглагдаж байв.

Түлхүүр үгс: Монгол, уур амьсгалын өөрчлөлт, Манн-Кендалл, Тейл-Сен, уур амьсгалын солбицлын сүлжээний хувьсагчид, төлөв байдлын шинжилгээ

ОРШИЛ

Монголын уур амьсгалыг тодорхойлохдоо хүйтэн өвөл, дулаан зун болоод улирлын хэв шинж хүчтэй илрэх хур тунадас бүхий хуурайвтар уур амьсгал гэж дүрсэлдэг. Улс орон сүүлийн хэдэн арван жилд нийгэм-эдийн засаг, улс төрийн томоохон өөрчлөлтүүдийг амсаж туулсан ба уламжлалт нүүдэлч малчны аж амьдралд нөлөө үзүүлж буй өөрчлөлтийн тоо томшгүй эх сурвалж энд бий болсон. Үүнд өвлийн гамшиг буюу зуд гэх зэрэг уур амьсгалын аюулт үзэгдлийн давтамж, хахир хатуу байдлын өөрчлөлт бүхий улам дулаарч буй, мөн хуурайших болзошгүй ландшафт орно (Батима нар, 2005; Фернандез-Гименез нар, 2015). Түүнчлэн, нүүдэлч мал аж ахуйг илүү хязгаарлах хандлага бүхий хөдөө аж ахуйн зориулалтын илүү эрчимтэй хэрэглээний дэвшилт, мөн хот, үйлдвэрлэл болон уул уурхайн хөгжлийн өсөлт зэрэг нь үүнд орно (Ожимаа болон Чулуун, 2008; Яамамуураа нар, 2013). Байгаль орчин нь өөрчлөгдөж байгааг малчид ажиглаж ирсэн бөгөөд тэдгээр ажиглалтын олонх нь уур амьсгалын өгөгдөлтэй сайн таарч тохирч байдаг (Лхагвадорж нар, 2013; Марин, 2010; Фаснахт нар, 2011; Венабл нар, 2012).

Олон улсын хэвлэл материалд тайлагнаснаар Монголд уур амьсгалын судалгаа хязгаарлагдмал боловч температурын дулаарал өсөж буйг болон хур тунадасын өөрчлөлтийн улс орныг хамарсан хэв шинж дутмаг байгааг ерөнхийдөө харилцан зөвшөөрсөн байна (жишээ нь: Батима нар, 2005; Дагвадорж нар, 2010; Жамьяаншарав, 2010). Өнгөрөгч мянганд үзэгдээгүй тийм их дулаарал, ган гачгийн цаг үе нь сүүлийн арван жил байсан гэсэн санааг уур амьсгалын төлөөл загварыг ашигладаг уур амьсгалын илүү урт хугацааны судалгаагаар дэвшүүлж байна (Педерсон нар, 2014). Хэмжилтийн станцийн хүрэлцээ муу, дутуу өгөгдлийн хэмжээ их байдаг болохоор станцад-тулгуурласан өгөгдөлтэй холбоотой тодорхой бус байдлыг харгалзаад бид Монголын уур амьсгалын хэв шинжийг орон зай, цаг хугацааны шүтэлцээтэй солбицлын сүлжээний өгөгдлийн цогцуудыг ашиглан судлахаар сонгосон. Станцийн төвшингөөс давуу орон зайн нягтралын төвшинд, улс орны хэмжээнд улирал болон жилийн байдлаар уур амьсгалын хэлбэлзлийг хянан шалгаж буйгаараа бидний уг ажил нь эдүгээ буй бусад судалгааг өргөтгөж байна.

СУДАЛГААНЫ АРГАЧЛАЛ

Уур амьсгалын Судалгааны Нэгжийн (УАНН буюу CRU - цаг хугацааны цуваа 3.21) хамгийн дээд ба хамгийн доод температур (Тхдэ ба Тхдо) болон хур тунадасын (ХТ) солбицлын сүлжээг Британийн Агаар мандлын Өгөгдлийн Төвөөс гаргаж авсан (Харрис нар, 2013). Өгөгдлийг голчлон Дэлхийн Цаг Уур Судлалын Байгууллагаас Монголын Ус Цаг Уур, Орчны Хүрээлэнгээр дамжуулан хангасан байсан.

Бүртгэгдсэн өгөгдөл байгаа эсэхээс шалтгаалан оролцогч станцын тоо хэлбэлзэж байгаа хэдий ч 1963 оноос 1990 оныг хүртэл ерөнхийдөө 30-35 станц өгөгдлөөр хангаж байснаа тэрнээс хойш 2012 оныг хүртэл станцийн тоо бага зэрэг (20-30 болтол) буурсан юм.

Солбицлын сүлжээний цэгэн зурган файлуудыг жил тутам, мөн улирал тутамд (өвөл нь 12-р сараас 2-р сар, хавар нь 3-р сараас 5-р сар, зун нь 6-р сараас 8-р сар, мөн намар нь 9-р сараас 11-р сар), мөн бүртгэлийн бүхий л хугацаанд (1963-2012 оны хооронд) эмхтгэдэг байсан. Солбицлын үүр тус бүрийн иж бүрдэл цаг хугацааны цуваанд зориулан статистикийн R програм хангамжийг ашиглан Тейл-Сены налуу тооцоологч болон Манн-Кендаллын төлөв байдлын утгын тестээр утгыг тооцож гаргав (Гилберт, 1987; R програм хангамжийн үндсэн баг, 2014).

СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН

Уур амьсгалын төлөв байдал

График 1 дээр үзүүлсэн нийт ХТ, Тхдэ ба Тхдо зэргийн дундажийг 50-н жилийн (1963-2012 оны) нийт хугацаанд бүртгэсэн юм. Хур тунадасын шатлалууд Умардаас Өмнөд рүү, мөн улс орны хөндий талтай харьцуулахад уулархаг бүс нутагт илүү ажиглагдаж байна (График 1 а.). Уулархаг болон илүү Умард нутагт дунджаар илүү сэрүүн температур бүхий дээрхтэй төстэй төлөв байдал Тхдэ ба Тхдо зэрэгт (График 1 б. ба в.) ажиглагдаж байна.

Жилийн төлөв байдал

Жилийн хэмжээнд, орны зүүн болон төв нутагт хур тунадас илэрхий багасаж буй төлөв байдал тохиож, Говийн төв нутгийн хамгийн Умард хэсэг болон орны Баруун Умард хэсэгт, Завхан аймгийн ойролцоо бага зэргийн бууралттай байна (График 2 а.). Цаг хугацаа өнгөрөх тусам хамгийн дэд температурын дунджийн өөрчлөлтүүд ихэнх нутгийн хэмжээнд илэрхий болох нь ажиглагдаж байна (График 2 б.). Жилийн хамгийн доод температурын дунджийн төлөв байдал бүх орны хэмжээнд ач холбогдолтой байж (хэлбэлзэл нь 0.2-оос 0.7 хэм С/10 жилд), орны Умард төв хэсэгт, Хөвсгөл нуурын ойролцоо (0.7 хэм С/10 жилд), мөн баруу Алтайн нуруу болон Агуу нууруудын бүс нутгийн зарим хэсэгт (0.6 хэм С/10 жил хүртэл), мөн алс Дорно зүгийн хээрт өөрчлөлтийн хамгийн өндөр хувь хэмжээ байна. Хамгийн доод температурын дунджийн төлөв байдлын өсөлт бас Говийн төв бүс нутагт илүү их байжээ (0.5 хэм С/10 жил хүртэл) (График 2 в.).

Улирлын төлөв байдал

Улирлын төлөв байдал нь (график дээр үзүүлээгүй) жилийн төлөв байдлаас илүү орон зайн ялгаатай байна. Орны ихэнх хэсгийн хэмжээнд, ялангуяа өвөл, хаврын саруудад, хур тунадасын өөрчлөлтүүд ерөнхийдөө илэрхий бус байна. Харин зуны улиралд төв хэсгийн Умард зүгээс авхуулан төв хэсгийн ойт хээр болон хээрийн бүсийг хамран Дорнын хээр хүртэл хур тунадасын илэрхий бууралт тэмдэглэгдсэн нь жилийн төлөв байдлын шинжилгээнд тэмдэглэгдсэн хэв шинжтэй ойролцоо болоод илүү их хэмжээнийх байна. Намрын хур тунадасын буурч буй төлөв байдал нь Хөвсгөл аймгийн зүүн захын ойролцоогоос Дорно зүгт үргэлжлэх бүс нутагт, төвийн ойт хээр ба хээрийг дамнан Улаанбаатраас Өрнө зүгт буй нутагт төвлөрч байсан (-2-оос -7 мм/10 жилд).

Өвлийн хамгийн дээд температурын төлөв байдал Монголын ихэнх хэсэгт илэрхий бус байна. Баруун Умард хэсэг, Говийн Өмнөд зүгийн төв бүс нутаг болон Хангайн нуруунаас Умард зүгт байрлах газар зэргийг эс тооцвол бүртгэлийн хугацаан дахь намрын температурын өөрчлөлтүүд ерөнхийдөө илэрхий бус байна. Намрын хамгийн дээд температурын өсөлт мөн Улаанбаатраас Умар ба Өрнө зүгт ажиглагдав. Говийн төв хэсэг болон Дорны хээрийн зарим хэсгийг эс тооцвол орны ихэнх нутгийн хэмжээнд хавар, зуны хамгийн дээд температурын илэрхий өөрчлөлтүүд тохиов. Бүх орны ихэнх хэсэгт зуны хамгийн дээд температур өссөн байжээ.

Хамгийн доод температур илүү их хувь хэмжээгээр өөрчлөгдөж, жилийн улирлын турших илт өөрчлөлт нь илүү их хэмжээтэй байв. Орны Өрнөд, Умард зүгийн төв болон Дорнод хэсэгт өвлийн ба намрын хамгийн доод температур илэрхий өссөн бол хавар зуны хамгийн доод температур нь бүх улс орны хэмжээнд илэрхий өсөв. Хангай алс Өрнө зүгийн зөвхөн нэг жижигхэн газарт сүүлийн 50 жилийн туршид хаврын хамгийн доод температур илэрхий нэмэгдээгүй байна. Хавар болон зуны улирлын аль алинд өөрчлөлтийн хувь хэмжээ дээрхтэй ойролцоо байгаа нь ажиглагджээ.

ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ БОЛОН ДҮГНЭЛТ

Солбицлын сүлжээний бүтээгдэхүүний үндсийг станцийн өгөгдөл бүрэлдүүлдэг гэсэн утгаар урьд цагийн уур амьсгалын төлөв байдлын шинжилгээний үр дүн ихэнхдээ солбилцлын сүлжээний үр дүнтэй зэрэгцсэн байдаг. Гэхдээ гол ялгаа гэж бий. Жишээлбэл, улирлын дундаж температурыг судлахдаа Батима нарын (2005) гаргасан дүгнэлтээр хавар, намрын өсөлтийн хамтаар бас голдуу өвлийн температур өсөж байсан. Тэд халуун өдрүүд бүхий цаг хугацаа илүү урт болсны баримтыг олсон ч зуны илт өссөн юмуу илт буурсан төлөв байдлыг олж тогтоосонгүй. Мөн хур тунадасын үр дүн нь хүчтэй орон зайн хэлбэлзэлтэй байсныг хүлээн зөвшөөрсөн боловч тэд улирлын хур тунадасын илэрхий өөрчлөлтийг олж тогтоогоогүй. Бидний шинжилгээ нь зуны температурын илт өсөлтийг илчилдэг. Тухайлбал улирлаас хамааран орны бараг дөрөвний нэгээс авхуулан гуравны нэг хэсгийн хувьд зун болон намрын хамгийн бага температур, мөн хур тунадасын илэрхий өөрчлөлтийн (бууралтын) хувьд илчлэв.

ХТ, Тхдэ ба Тхдо зэргийн тодорхой утгыг ашиглахаас илүүтэй уур амьсгалын индексуудыг ашигласантай холбогдуулан уур амьсгалын бусад шинжилгээг бидний гаргасан үр дүнтэй харьцуулахад илүү хэцүү байдаг. *Монголын Үндэстний Хоёрдугаар Тайлан Мэдээлэл* гэсэн баримт бичигт (Дагвадорж, 2010) туйлын өндөр температурын давтамж нэмэгдсэн, мөн туйлын нам температур тохиох байдал буурсан үр дүнг толилуулсан. Улс орны хэмжээнд зуны хур тунадасын бууралтын зэрэгцээ өвлийн хур тунадасын өсөлтийг бас дурьдсан байна. Эдгээр үр дүн нь бидний тэмдэглэсэн өсөж буй хамгийн дээд ба хамгийн доод температур, мөн зуны хур тунадасын илэрхий бууралттай тодорхой хэмжээгээр харилцан хамааралтай байна.

Өгөгдлийн цуглуулалт, боловсруулалтын улмаас, мөн солбицлын сүлжээний өгөгдлийн цогцын хувьд уур амьсгалын өгөгдлийг нөхөх ба интерполяцийн улмаас тохиох тодорхой бус байдал нь уур амьсгалын өгөгдлийн цогцын ашиглалтын салшгүй хэсэг бөгөөд. Станцийн байрлалын сонголт, станцийн байршлын өөрчлөлт хөдөлгөөн, тоног төхөөрөмжийн өөрчлөлт зэргээс болж Монголын уур амьсгалын бүртгэлд алдаа гажилт байж магадгүйг Жамьяаншарав (2010) баримтжуулсан. Эдүгээ буй бусад судалгаа болон бидний судалгааны үр дүнгийн ялгаа нь анхны станцуудын өгөгдлийн бүтээгдэхүүн ч бай, уур амьсгалын хувьсагчдыг солбицуулахад ашигласан интерполяцийн процесс ч бай, эсвэл төлөв байдлын шинжилгээний аргачлалын ялгаа ч бай, тэр байтугай дээрх бүхний нийлбэр байснаас ч үр хамааран 1963-2012 оны хоорондох 50 жилийн хугацаанд илэрхий өөрчлөлт бий болсныг уур амьсгалын түүхэн бүртгэлээс харж болох нь тодорхой байна. Солбицлын сүлжээний өгөгдлийн цогцыг ашиглан жил болон улирлын давтамжтайгаар орон зайн төлөв байдлын шинжилгээ хийх нь Монгол улсын хэмжээнд тохиож буй уур амьсгалын илэрхий өөрчлөлтийг шинжилж судлах үзүүлэн таниулах сайн хэрэгслийг хангаж байна.

Эдгээр үр дүнгээр нэлээд хэмжээний дулаарлын хэв шинж ба тодорхой хэмжээний хуурайшлын хэв шинж улс орны ихээхэн хүн амыг тэтгэдэг хэсэгт бий болсныг дэвшүүлэв. Эдгээр өөрчлөлтөөс гарах хор хөнөөлт нөлөөллийг зөөлрүүлэх нь эдгээр бүс нутагт хөдөө аж ахуй болон усны нөөц нэмэгдэж, уул уурхайн хөгжил эрчимжиж буй нөхцөлд илүү их бэрхшээлтэй байх болно.

ТАЛАРХАЛ

Уг ажлыг Үндэстний Шинжлэх Ухааны Сангийн Хүн Байгалийн Хосолсон Системийн Хөдлөлзүйн Хөтөлбөрөөс (тэтгэлэг BCS-1011801, УЭ Мариа Фернандез-Гименез) санхүүжүүлсэн болно. Хоёр нэр дурдагдаагүй хянагчийн тайлбарыг их талархалтайгаар хүлээн авсан болно.

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>.
- Dagvadorj D [Ed.]. (2010). *Mongolia Second National Communication*, Under the United Nations Framework on Climate Change, Ministry of Nature, Environment, and Tourism, Ulaanbaatar, Mongolia, 160 pp.
- 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, Batkhisig B, Batbuyan B, Ulambayar T. (2015). Lessons from the *dzud*: Community-based rangeland management increases the adaptive capacity of Mongolian herders to winter disasters. *World Development*, 68, 48-65.
- Gilbert RO. (1987). *Statistical methods for environmental pollution monitoring*. John Wiley and Sons Publishers, New York, USA, 320 pp.
- Harris I, Jones PD, Osborn TJ, Lister DH. (2013). Updated high-resolution grids of monthly climatic observations - the CRU TS3.10 dataset. *International Journal of Climatology*, Wiley Online Library DOI: 10.1002/joc.3711, 20 pp.
- Hendricks AD, and Fassnacht SR, *in prep*. Integrated spatial trend analysis for climate change assessment using gridded climate normals. Manuscript to be submitted to the *Journal of Climate*.
- 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.
- Lkhagvadorj D, Hauck M, Dulamsuren CH, Tsogtbaatar J. (2013). Pastoral nomadism in the forest-steppe of the Mongolian Altai under a changing economy and warming climate. *Journal of Arid Environments*, 88, 82-89.
- Marin A. (2010). Riders under storms: Contributions of nomadic herders' observations to analyzing climate change in Mongolia. *Global Environmental Change*, 20, 162-176.
- Ojima D, Chuluun T. (2008). Policy changes in Mongolia: Implications for land use and landscapes. Chapter 8 in (Galvin K, Reid R, Behnke Jr. R, Hobbs NT, eds.) *Fragmentation in semi-arid and arid landscapes: Consequences for human and natural systems*, Springer Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 179-194.
- Pederson N, Hessel AE, Bataarbileg N, Anchukaitis K, Di Cosmo N. (2014). Pluvials, droughts, the Mongol Empire, and modern Mongolia. *Proceedings of the National Academy of Science*, 111(12), 4375-4379.
- R Core Team. (2014). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <http://www.R-project.org/>.
- 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.
- Yamamura N, Fujita N, and Maekawa A [Eds.]. 2013. The Mongolian ecosystem network – Environmental issues under climate and social changes. In: *Ecological Research Monographs*, Iwasa Y [Ed.]. Springer Publishers, Tokyo, Japan, 317 pp.

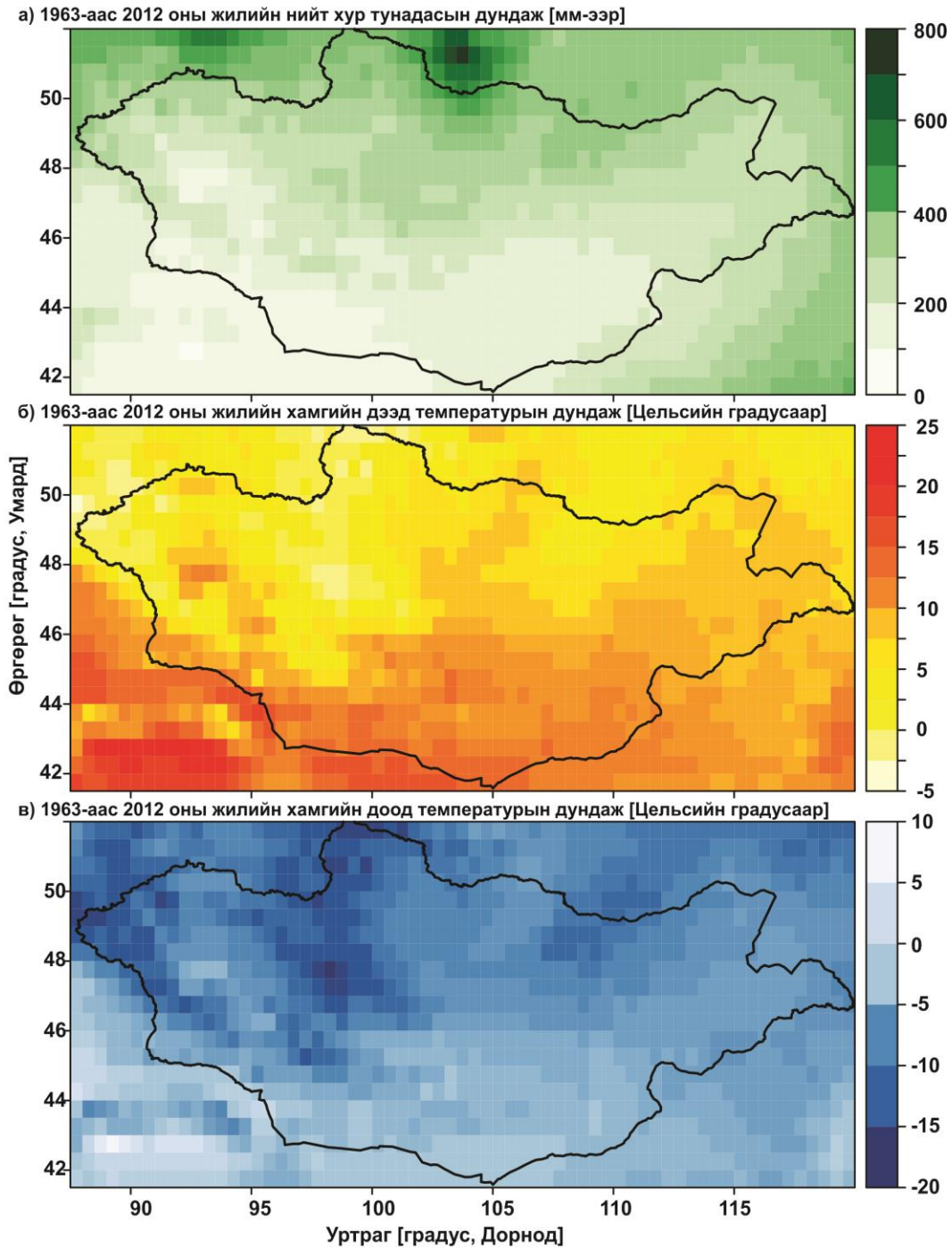


График 1. Монголын жилийн дундаж (1963-2012) а) нийт хур тунадас миллиметрээр, б) хамгийн дээд температур Цельсийн градусаар, в) хамгийн доод температур Цельсийн градусаар.

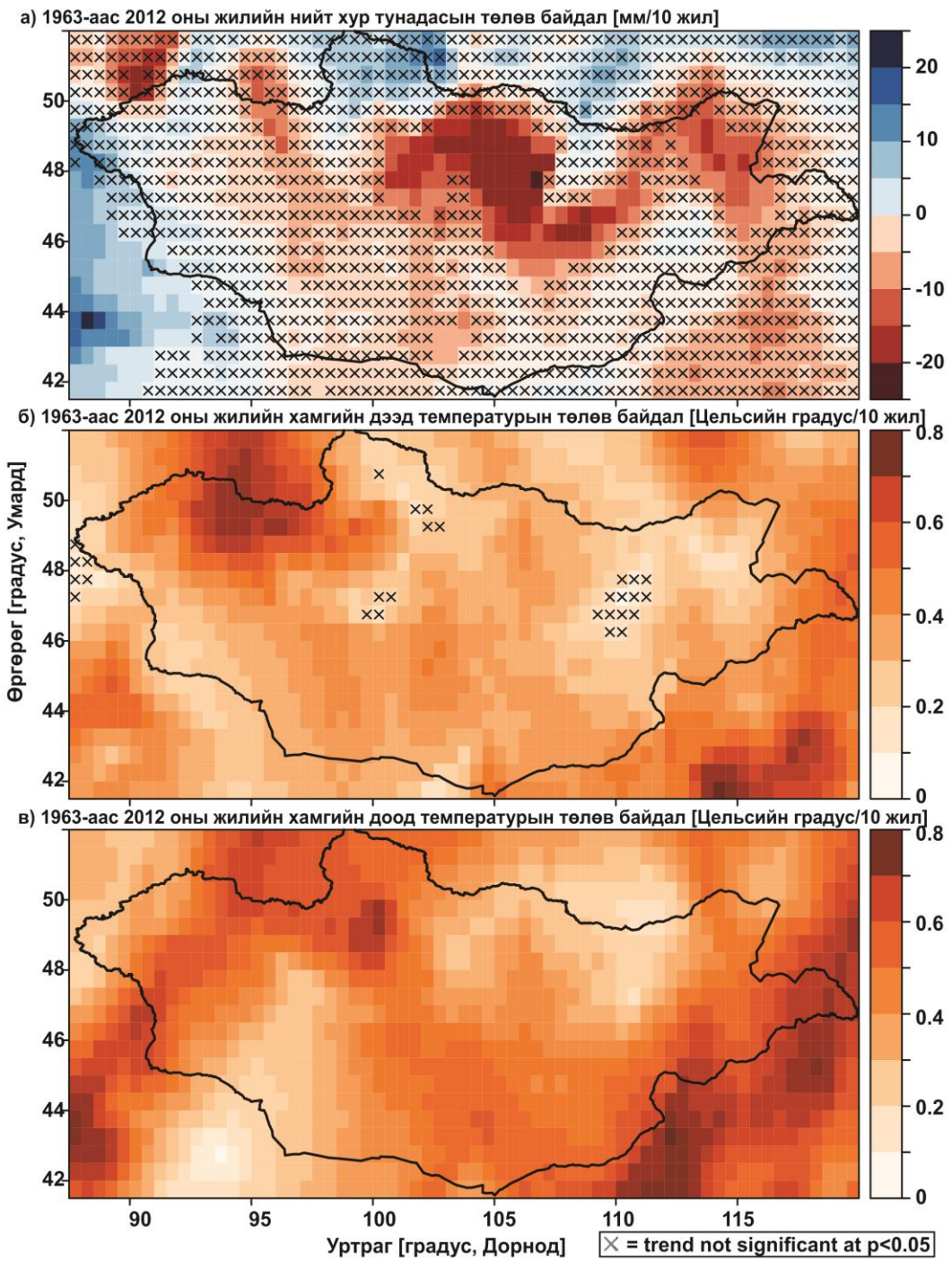


График 2. Жилийн дунджийн арван жилийн төлөв байдал а) нийт хур тунадасын төлөв байдал миллиметрээр, б) хамгийн дээд температур Цельсийн градусаар, мөн в) хамгийн доод температур Цельсийн градусаар. График дээрх X тэмдгүүдээр $p < 0.05$ төвшинд төлөв байдал илэрхий бус байсан газрыг тэмдэглэсэн болохыг анхаарна уу.