

Оршил.....	2
Судлагдсан байдал.....	4
Бүлэг I. Судалгааны арга зүй.....	6
1.1 Газар бүрхэвчийн үзүүлэлтүүд.....	7
1.1.1Газар бүрхэвчийн NOAH загвар.....	9
1.1.2Азийн шороон шуурга, аэрозолийн загвар /The Asian Dust Aerosol Model-ADAM/.....	12
1.1.3Хиймэл дагуулын боловсруулалт.....	14
Бүлэг II. Судалгааны үр дүн.....	17
Монгол орны говийн бүс нутгийн уур амьсгалын онцлог, одоогийн өөрчлөлт хандлагыг тодорхойлох.....	17
2.1.1 Зорилго, зорилт.....	18
2.1.2 Ашигласан мэдээ.....	18
2.1.3 Уур амьсгалын экстремаль индексийг сонгох, тооцоолох.....	20
2.1.4 Уур амьсгалын өнөөгийн өөрчлөлт.....	26
2.1.5 Дүгнэлт.....	30
2.2 Монголын оронд ажиглагдсан шороон шуурганы тархалт, жил улирлын явц, хандлага.....	31
2.2.1 Ашигласан мэдээ, судалгааны арга.....	32
2.2.2 Судалгааны үр дүн.....	33
2.2.3 Дүгнэлт.....	36
2.3 Агаар мандал дахь бага хольцтой хийн хэмжилтэд дүн шинжилгээ хийх, нарны цацрагт нөлөөлөх байдлыг судлах.....	37
2.3.1 Ашигласан мэдээ.....	39
2.3.2 Судалгааны арга зүй.....	42
2.3.3 Судалгааны үр дүн.....	42
2.3.4 Дүгнэлт.....	53
2.4 Газар бүрхэвчийн гол үзүүлэлтүүдийн жил, улирлын зураглал.....	54
2.4.1 Судалгааны аргазүй, ашигласан мэдээ.....	57
2.4.1.1 Ашигласан мэдээ, судалгааны талбар.....	57
2.4.1.2 Судалгааны аргазүй.....	58
2.4.2 Судалгааны үр дүн.....	59
2.4.2.1 Хур тунадас, температурын өөрчлөлт.....	60

2.4.2.2 Ургамал бүрхэвчид үзүүлэх хур тунадас, температурын нөлөө.....	61
2.4.2.3 Ургамлын нормчилсон индекс (NDVI) –ийн сар, улирлын орон зайн өөрчлөлт.....	62
2.4.2.4 Навчны талбайн индекс (LAI) –ийн сар, улирлын орон зайн өөрчлөлт.....	63
2.4.2.5 Газрын гадаргын ойлтын (LSA-land surface albedo) олон жилийн дундаж, өөрчлөлт.....	67
2.4.3 Дүгнэлт.....	68
2.5 Бүс нутгийн уур амьсгалын загвар болон шороо, тоосны тархалтын загварт газар бүрхэвчийн параметрийг өөрчилж тооцох.....	69
2.5.1 Судалгааны үр дүн.....	72
2.5.1.1 Газар бүрхэвчийн параметр болох НУБ-ыг бодит байдлаар тооцоолсон ADAM загварын үр дүн:.....	73
2.5.1.2 Шороон шуурганы ADAM загвараар түймрийн утааны шилжилтийг тооцоолох.....	77
2.5.2 Дүгнэлт.....	80
2.6 Агаар мандал дахь шороо тоосны босоо тархалт, түүнд үзүүлэх цаг агаарын хүчин зүйлсийн нөлөөллийг судлах.....	81
2.6.1 Оршил.....	82
2.6.2 Ашигласан мэдээ.....	83
2.6.3 Арга зүй.....	84
2.6.4 Үр дүн.....	87
2.6.5 Дүгнэлт.....	92
2.7 Шороон шуурганы ADAM загварын үр дүнг цаг агаарын зураг болон байран хиймэл дагуулын мэдээтэй давхцуулах технологи.....	92
Нэгдсэн дүгнэлт.....	100
Номзүй.....	101
Хавсралт 1.....	118
<i>Зураг 1. 2009 оны MODIS-ийн NDVI-аар тооцоолсон ногоон ургамлын бүрхэц.....</i>	<i>11</i>
<i>Зураг 2. 2009 оны MODIS-ийн NDVI-аар газрын гадаргын альбедо.....</i>	<i>12</i>
<i>Зураг 3. 2009 оны MODIS-ийн навчны гадаргуугийн индекс.....</i>	<i>13</i>
<i>Зураг 4. ADAM загварын үйл ажиллагааны схем.....</i>	<i>18</i>
<i>Зураг 5-а. ADAM загварын мэдээний оролт, гаралтын директив.....</i>	<i>18</i>
<i>Зураг 6. ADAM загварын бүс нутаг.....</i>	<i>19</i>
<i>Зураг 7. Говийн нутгаар ажиглагдсан шороон шуурга, 2017-05-03-ны 17:00 цаг.....</i>	<i>20</i>

Зураг 8. Бүтээгдэхүүний өнгөний ялгарал.....	21
Зураг 9. Говийн бүсийн нутгийн станцын байршил.....	23
Зураг 10. Говийн бүс нутгийн жилийн дундаж агаарын температурын тархалт.....	27
Зураг 11. Жилийн нийлбэр хур тунадасны газарзүйн тархалт.....	28
Зураг 12-а. Агаарын дулаан хүйтний, б-Агаар,хөрсний температурын жилийн явц.....	29
Зураг 13. Жилийн хур тунадасны хуваарилалт болон харьцангуй чийгийн явц.....	30
Зураг 14. Жилийн салхины зүгийн давтагдал (%).....	31
Зураг 15. Жилийн дундаж агаарын температурын ОЖД-аас хазайх хазайлт болон 10 жилээр дундажласан утгуудын өөрчлөлтийн явц (ОЖД гэдэгт 1971-2000 оны дундаж утгыг авае).....	32
Зураг 16. Жилийн нийлбэр хур тунадасны болон потенциал ууршилтын олон жилийн явц (ОЖД гэдэгт 1971-2000 оны дундаж утгыг авае).....	33
Зураг 17. Говийн бүс нутгийн хөрсний гүний температурын тархалт (1961-1990, 1991-2018) .	34
Зураг 18. Агаарын үнэмлэхүй их (ТХх), үнэмлэхүй бага (ТNn) температурын олон жилийн явц. .	35
Зураг 19. Халуун (SU30), хүйтэн (FD0) өдрийн олон жилийн явц.....	36
Зураг 20. Монгол орны хуурайшилтын индексийн (SPI12) олон жилийн явц.....	36
Зураг 21. Шороон хийсдэг өдрийн тоо (1960-1989), Эх үүсвэр: Natsagdorj et al. 2003.....	40
Зураг 22. Шороон шуурганы тархалт (1960-2008).....	41
Зураг 23. Шороон шуургатай өдрийн тооны олон жилийн явц, хандлага (1960-2019 он).....	41
Зураг 24. Шороон шуурганы жилийн явц (өдрийн тоогоор, 1986-2019).....	42
Зураг 25. Говийн нутаг дээрх шороон шуурганы хоногийн явц, хаврын улирлаар.....	42
Зураг 26. а) Хүлэмжийн дээж авч байгаа байдал б) дээж соруулах компрессор ба агуулах шилэн савууд.....	46
Зураг 27. Нарны фотометр.....	46
Зураг 28. Хэт ягаан туяаны индекс хэмжих Solarmeter ба автомат цаг уурын станц.....	47
Зураг 29. Агаар мандал дахь тоосонцрыг тасралтгүй хэмжигч Dust track.....	47
Зураг 30. Агаар дахь (CO ₂) нүүрсхүчлийн хийн агууламж.....	49
Зураг 31. Агаар дахь (CH ₄) метаны агууламж.....	49
Зураг 32. Агаар дахь 6 фторт хүхэр.....	50
Зураг 33. Өмнөговь аймгийн Даланзадгад дахь агаарын чанарын харуул орчмын хүхэрлэг хий азотын давхар ислийн агууламж.....	50
Зураг 34. Дундговь аймгийн Мандалговь дахь агаарын чанарын харуул орчмын хүхэрлэг хий азотын давхар ислийн агууламж.....	51
Зураг 35. Дорноговь аймгийн Сайншанд дахь агаарын чанарын харуул орчмын хүхэрлэг хий азотын давхар ислийн агууламж.....	51
Зураг 36. Говийн бүсийн аймгууд дахь агаар бохирдуулах хийн сарын дундаж болон хамгийн их агууламж: а), с) Мандалговь б), д) Даланзадгад.....	52
Зураг 37. Дорноговь аймагт хэмжигдсэн хэт ягаан туяаны индекс.....	53

Зураг 38. Дорноговь аймаг хэмжигдсэн хэт ягаан туяаны индекс ба ДЭМБ-аас санал болгосон хязгаарын утга.....	54
Зураг 39. Дорноговьд хэмжигдсэн хэт ягаан туяа ба үүлний нөлөө.....	54
Зураг 40. Дорноговьд хэмжигдсэн а) аэрозол ба б) хэт ягаан туяаны хамаарал.....	55
Зураг 41. Агаар дахь NO ₂ ба SO ₂ -ын агууламж.....	55
Зураг 42. Даланзадгадад 1020 а), 870 б), 675 в), 500 д) нм –ийн долгионы уртад хэмжсэн нийлбэр болон аэрозолийн оптик зузаан.....	56
Зураг 43. Аэрозолийн оптик зузааны сарын дундаж утга болон хамгийн их утгууд.....	57
Зураг 44. Нарны фотометрээр хэмжсэн агаар мандал дахь нийлбэр озон ба азотын давхар ислийн олон жилийн а), б) болон жилийн явц (в), д).....	58
Зураг 45. Газрын газар орчим дахь PM ₁₀ , PM _{2.5} тоосонцрын сар (а,б), улирлын (в, г) дундаж агууламж.....	59
Зураг 46. Газрын газар орчим дахь PM ₁₀ (а,б), PM _{2.5} (в,г) тоосонцрын хоногийн дундаж агууламж.....	60
Зураг 47. Судалгааны ашигласан цаг уурын станц, байгалийн бүс бүслүүр.....	65
Зураг 48. Сарын NDVI-ийн утгын олон жилийн дунджийн явц.....	70
Зураг 49. Ургалтын хугацааны NDVI, 70 цаг уурын станцын хур тунадас, температурын өөрчлөлт, хандлага. NDVI –ийн зураглалын хувьд тод улаан, ногоон, улбар шаргал өнгөнүүд нь статистик үнэмшилтэй өсөлт, бууралтыг илтгэж байгаа болно.....	71
Зураг 50. Навчны талбайн индексийн 2000-2018 оны дунджийн орон зайн хуваарилалт.....	72
Зураг 51. Монгол орны навчны талбайн индексийн жилийн хамгийн их утгын тодорхой заагуудын талбайн олон жилийн өөрчлөлтийн явц.....	73
Зураг 52. Навчны талбайн индексийн орон зайн тархалт А) 2004, Б) 2007, В) 2012, Г) 2018.....	74
Зураг 53. Навчны талбайн индексийн хандлага (Шугаман трендийн тэгшитгэлийн а коэффициентээр).....	75
Зураг 54. (а) 5 дугаар сарын газрын гадаргын ойлтын олон жилийн дундаж (б) газрын гадаргын ойлтын өөрчлөлт, хандлага.....	76
Зураг 55. (в) 6 дугаар сарын газрын гадаргын ойлтын олон жилийн дундаж, (д) газрын гадаргын ойлтын өөрчлөлт, хандлага.....	76
Зураг 56. (е) 7 дугаар сарын газрын гадаргын ойлтын олон жилийн дундаж (ё) газрын гадаргын ойлтын өөрчлөлт, хандлага.....	76
Зураг 57. (ж) 8 дугаар сарын газрын гадаргын ойлтын олон жилийн дундаж (з) газрын гадаргын ойлтын өөрчлөлт, хандлага.....	77
Зураг 58. (и) 9 дүгээр сарын газрын гадаргын ойлтын олон жилийн дундаж (к) газрын гадаргын ойлтын өөрчлөлт, хандлага.....	78
Зураг 59. Цаг агаарын аюултай үзэгдлийн ажиглалтын зураг (2019-05-15 20:00 УБ).....	82
Зураг 60. HIMAWARI байран хиймэл дагуулын шороон шуурганы зураг /2019-05-15 17:00 УБ/.....	82

Зураг 61. 2019 оны 5 сарын 15-ний өдөр болсон онц хүчтэй шороон шуурганы газар орчмын PM_{10} -ийн хэмжээ ($мкг/м^3$).....	83
Зураг 62. 2019 оны 5 сарын 15-ний өдөр болсон онц хүчтэй шороон шуурганы үер агаар мандалд дээдсэн тоосны PM_{10} -ийн хэмжээ ($мг/м^3$).....	84
Зураг 63. Агаар мандлын босоо чиглэл дэх тоосны агууламж /Sigma түвшинээр/, ($мкг/м^3$), Өргөргийн 46°-аар хөндлөн огтлол хийсэн.....	85
Зураг 64. PM_{10} -ийн хугацааны явц (2019-05-14 23:00~2019-05-15 23:00), ажиглалт (а), ADAM загварын үр дүн (б), Дорноговь аймаг, Эрдэнэ сум.....	87
Зураг 65. HIMAWARI байран хиймэл дагуул дээрх түймрийн утааны тархцын зураг /2019-07-30 09:30 UTC/.....	88
Зураг 66. ADAM загварын PM_{10} тоосонцрын гаралтын тухайн хугацааны үр дүн.....	89
Зураг 67. ADAM загварын PM_{10} тоосонцрын орон зайн дундаж тархалт. Орон зайн дунджийг уртрагийн 102-108 болон өргөргийг 47-52 градусын хооронд авав.....	90
Зураг 68. Градиентын хэмжилтийн цамхгийн ерөнхий схем (Эх сурвалж: Soong-Ung Park et al., 2010).....	94
Зураг 69. $u \cdot \dot{\epsilon}$ -ны бодит хэмжилт болон тооцоолсон утгаар байгуулсан скаттер диаграмм. . .	98
Зураг 70. 2019 оны 5 сарын 14 өдрийн $u \cdot \dot{\epsilon}$ -ны хоногийн явц.....	98
Зураг 71. 2019 оны 4 сарын 19-20 өдрүүдийн ХҮД хоногийн явц.....	99
Зураг 72. 2019 оны 5 сарын 14-16 өдрүүдийн ХҮД хоногийн явц.....	100
Зураг 73. Загварын үр дүн болон томъёо (55, 56)- р тооцоолсон ХҮД. (Улаан нь томъёогоор, цэнхэр нь загвар).....	101
Зураг 74. Тооцоолсон ХҮД болон тоосны босоо тархалтын өндрийн хоорондох скаттер диаграмм. (у тэнхлэг нь тоосны босоо тархалтын өндөр, х тэнхлэг нь ХҮД-ийн өндөр, R^2 детерминантын коэффициент, F-f статистикийн тоо, ***-99 хувиас дээш статистик үнэмшил).....	102
Зураг 75. HIMAWARI байран хиймэл дагуулын шороон шуурганы зураг /2019-05-15 17:00 УБ/...104	
Зураг 76. ADAM загварын бүс нутаг.....	105
Зураг 77. 2016 оны 5 сарын 15-ний өдөр болсон онц хүчтэй шороон шуурганы үер газрын гадарга орчмын тоосны хэмжээ ($μм/м^3$).....	106
Зураг 78. Цаг агаарын аюул агаар мэдээний буулгалтын байрлал.....	107
Зураг 79. Цаг агаарын аюул агаар үзэгдлийн буулгалтын зураг.....	108
Зураг 80. Шуурхай ажиллагааны програмд давхцуулсан бүтээгдэхүүний төрлийн задаргаа.....	110
Хүснэгт 1. Тоосонцрын диаметр.....	17
Хүснэгт 2. Brightness температурын хил.....	20
Хүснэгт 3. Сонгон авсан уур амьсгалын экстремаль индексүүд.....	25
Хүснэгт 4. SPI индексийн ангилал.....	26

Хүснэгт 5. Агаарын үнэмлэхүй их, бага температурын хангамж.....	29
Хүснэгт 6. Сарын дундаж болон үнэмлэхүй их салхины хурд, м/с.....	31
Хүснэгт 7. 1981-2012 оны байгалийн янз бүрийн бүслүүр дэх жил, улирлын хур тунадас, температурын өөрчлөлт.....	67
Хүснэгт 8. Хур тунадас, температур, болон NDVI-ийн хооронд хамаарлын коэффициент, байгалийн бүсээр.....	68
Хүснэгт 9. Сигма түвшин болон газрын гадаргаас дээш өндөр.....	84
Хүснэгт 10. Агаар мандалд дээдсэн нийт тоосны PM_{10} хэмжээ /тонн/, (ЗУ 87°-121°, ХӨ 41°-53°)	85
Хүснэгт 11. Газрын гадаргаас дээш 1-10 см-ийн өндөрт элс дээгдэх өндөр (хувь).....	92
Хүснэгт 12. Цаг агаарын аюултай үзэгдлийн критери утга, үсгийн фондын тэмдэглэгээ.....	106

ОРШИЛ

Евро-Азийн эдийн засгийн бүсийн орнуудын орон зайд хүрээлэн буй орчны хяналтын системийг бий болгох арга зүй нь агаар мандал ба газрын гадаргын үзүүлэлтүүдийг тодорхойлохын тулд тухайн нутгийн хүрээлэн буй орчны болон зайнаас тандах газрын түшиц өртөөнүүдийн/цэгүүдийн иж бүрэн, цогц, нэгдмэл мэдээллийн хиймэл дагуулын технологийг голчлон ашиглах явдал юм.

Дэлхийн уур амьсгал байнга тогтвортой байдаггүй бөгөөд олон зүйлийн шалтгааны улмаас өөрчлөлт явагдаж байдаг. 20-р зууны дэлхийн уур амьсгалын дулаарлын хамгийн гол хүчин зүйл нь хүний үйл ажиллагаанаас хамааралтай үйлдвэржилтээс үүдэлтэй агаар мандал дахь бага хольцтой хийн болон аэрозолын агууламж өссөн гэсэн ерөнхий дүгнэлттэй байдаг бөгөөд галт уулын дэлбэрэлт, газар хөдлөлт, далай тэнгисийн хэлбэлзэл, усан дотор болж буй өөрчлөлтүүд зэрэг байгалийн хүчин зүйлүүдтэй холбож үнэлсэн үзүүлэлтүүд нэг их байдаггүй байна ([John H. Sheinfeld, 1998](#)).

Монгол оронд агаарын чанарт нөлөөлөх хүний үйл ажиллагааны нөлөөлөл харьцангуй бага учраас суурь хэмжилт судалгаа хийхэд тохиромжтой бүс нутаг юм.

АНУ-ын Агаар мандал - далай судлалын үндэсний удирдах газар /NOAA/-ийн дэлхийн мониторингийн лаборатори /GMD/, Ус цаг уурын хүрээлэн хамтран хүлэмжийн хийн мониторингийн хэмжилт судалгааг Дорноговь аймгийн Эрдэнэ сумын төв Улаан-Уул (UUM)-д дээр 1992-2013 хийсэн хэмжилтийн дүнгээс харвал үндсэн хүлэмжийн хийнүүдийн дундаж агууламж Монгол орны нутаг дэвсгэр дээр тасралтгүй өссөн байна ([УАӨҮИ, 2014](#)).

Мөн түүнчлэн Монгол орны говийн бүс нутагт 2005-2010 онд ОХУ-ын Буриадын Шинжлэх ухааны төвийн Физик материал судлалын хүрээлэн, Томскийн оптикийн судалгааны хүрээлэн Монголын Ус цаг уурын хүрээлэнгийн хамтарсан зуны явуулын хэмжилт судалгаа хийсэн бөгөөд хэмжилтийн үр дүнд говийн бүс нутагт агаарын урсгал зүүн хойноос байх үед азотын давхар ислийн агууламж өсөж байсан байна. Энэ нь зүүн Сибирь болон Хятадын зүүн хойд нутгийн үйлдвэрийн бүс нутгаас агаарын массаар шилжин ирж байгаа гэж үзэж болохоор байна. ([Zhamsueva et al., 2010](#)).

Хүчтэй салхины нөлөөгөөр газрын гадаргаас агаар мандалд дэгдэж буй тоос нь агаар бохирдуулагчдын нэгд зүй ёсоор ордог. Монгол орон хаврын улиралд шороон шуурганы давтагдал өндөр байдаг ([Natsagdorj et al., 2003](#)). Энэхүү тоос нь агаарын урсгалаар алсад зөөгдөж байдаг бөгөөд хүний эрүүл мэнд, үйлдвэрлэл, барилга болон бүх төрлийн тээврийн хэрэгслийн үйл ажиллагаа, мал аж ахуй, газар тариалан зэрэг олон салбарт сөрөг нөлөө үзүүлдэг.

Шороон шуурга шуурах үед агаар дахь нарийн ширхэгт тоос, тоосонцор эрс ихсэх бөгөөд ердийн үеийнхээс хэдэн арав дахин их болдгийг хэмжилт,

судалгаагаар тогтоосон байна (Jugder et al. 2011, 2012, 2014). Ингэж хөрсний гадаргаас шороон шуургаар агаарт их хэмжээгээр дэгдсэн тоос, шороо нь агаарын хөдөлгөөнөөр анх үүссэн нутаг дэвсгэрээсээ алс хол зайд нүүн шилжиж зөөгдөнө (Goudie, Middleton, 2006, Nishikawa et al., 2000). Зүүн-хойд Азийн говь, цөлийн бүс нутгаас их хэмжээний тоос шороо салхиар агаарт дэгдэн хил дамнан зөөгддөг (Husar et al. 2001, Jugder et al. 2012, Gantuya and Jugder 2019, Tsedendamba et al. 2019). Энэхүү зөөгдлийн улмаас салхин доод талд орших улс орнуудын эдийн засгийн салбарууд, хүний эрүүл мэнд зэрэгт шороон шуурга нөлөөлөл үзүүлнэ. Тухайлбал, 2008 оны 5 дугаар сарын 26-27-ны өдрүүдэд Монголд ажиглагдсан хүчтэй шороон шуурга зүүн зүгт шилжин 5 дугаар сарын 30-ны өдөр БНСУ-ын нутагт ажиглагдаж, цагийн дундаж PM_{10} тоосны агууламжийн их утга Замын-Үүдэд 814 мкг/м^3 , Сөүл хотод 900 мкг/м^3 , Жёонгжү, Гуангжү, Даегү хотуудад $650-700 \text{ мкг/м}^3$ (Kim et al., 2010) хүрч, Замын-Үүдэд босоо чиглэлд 4 км хүрч тархаж байсан байна (Kim et al., 2010).

Цөлжилт эрчимжиж буйтай зэрэгцэн Говийн бүсээс үүдэлтэй шороон болон элсэн шуурга манай оронд нөлөөлөөд зогсохгүй хөрш зэргэлдээ орших Хятад, Солонгос, Япон зэрэг орнуудад сөргөөр нөлөөлж байгаа бөгөөд заримдаа шороон шуурга АНУ-ын баруун эрэгт хүрэх нь ч бий (УАӨҮИ, 2014).

Сүүлийн үеийн судалгаанд хил дамнасан аэрозолийн зөөгдлийг хянахад сансрын хиймэл дагуул, радиометрийн AERONET станц, агаар дахь аэрозолийн агууламжийн шилжилтийг тооцоолох тоон загварчлал болон бусад газрын хэмжилтийн мэдээг өргөнөөр ашиглаж байна.

Монгол оронд тохиолддог шороон шуурганы тархалт, шилжилтийг цаг уурын байран хиймэл дагуулын мэдээгээр тодорхойлох боломжтой. Монголын цаг уурын алба нь Япон болон Хятадын цаг уурын байран хиймэл дагуулын мэдээг 10 минутаас 1 цагийн зайцтай хүлээн авч үүл, шороон шуурга болон бусад бүтээгдэхүүнийг зураглаж байна. The Asian Dust Aerosol Model (ADAM) нь АНУ-ын Байгаль орчныг хамгаалах агентлагаас хөгжүүлсэн агаарын чанарын үнэлгээний тоон загварт [The Community Multiscale Air Quality (CMAQ) model] суурилсан загвар юм. ADAM загварыг Солонгосын цаг уурын агентлаг Азийн шороон шуурга, аэрозолийг тооцоолох зорилгоор 2002 оноос хөгжүүлж 2014 оноос ADAM-HAZE хувилбарыг гаргасан. ADAM-HAZE загвараар NH_3 -Аммиак, NO_x -азотын давхар исэл, O_3 -Озон, SO_2 -Хүхрийн хүчил хэмжээ болон $PM_{2.5}$, PM_{10} -ын агаар мандал дахь дэгдэлт, уналтыг тооцоолох боломжтой.

Иймд бид энэхүү судалгааны ажлаараа сүүлийн 10 жилийн хугацаанд бага хольцтой хийн хэмжээ болон газар бүрхэвч хэрхэн өөрчлөгдсөн. Азийн шороон шуурганы ADAM-HAZE загварын үр дүнгээр Монгол орны говийн нутгаас агаар мандалд дэгдэж буй тоосны хэмжээ, уналтыг тооцоолох зорилтыг тавсан болно.

СУДЛАГДСАН БАЙДАЛ

Монгол орны говийн бүс нутагт хийгдсэн бага хольцтой хийн талаарх хэмжилт судалгааг тоймлон үзвэл хамгийн олон жилийн давтагдалтайгаар хийгдсэн судалгаа нь озоны нийт агууламжийн хэмжилтийг Дорноговь аймгийн Сайншандад ажиллаж байсан “Хий мандлын дээд давхаргыг судлах орос–монголын хамтарсан төв”-д M-124 озонометр гэдэг багажаар 1988-1992 онд тогтмол ажиглалт хийж байжээ.

Хүлэмжийн хийн мониторингийн хэмжилт судалгааг анх 1992 оноос АНУ-ын Далай Агаар мандал судлалын үндэсний төв /NOAA/-ийн Уур амьсгалын мониторинг–диагнозын лаборатори /CMDL/ буюу одоогийн дэлхийн мониторингийн лаборатори /GMD/, Ус цаг уурын хүрээлэн буюу одоогийн Ус цаг уур, орчны судалгаа, мэдээллийн (УЦУОСМХ) хүрээлэнтэй хамтран Дорноговь аймгийн Эрдэнэ сумын нутагт Улаан-Уул гэдэг газар эхлүүлэн Улаан-Уул станц буюу UUM олон улсын нэршилтэйгээр тасралтгүй үйл ажиллагаа явуулж байна. Энд агаарын дээжийг тусгай шилэн баллонд 7 хоногт 1 удаа 2 давталттайгаар савлаж АНУ-ын лабораторид явуулж шинжилгээний дүнг Ус цаг уур, орчны судалгаа, мэдээллийн хүрээлэн авдаг бөгөөд нүүрсхүчлийн хий (CO_2), метан (CH_4), угаарын хий (CO), азотын исэл (N_2O), хүхэрт фтор (SF_6)-ыг тодорхойлдог.

Дээрх хэмжилтүүдийн дүнгээр Дорноговь аймгийн Эрдэнэ сумын нутагт гол хүлэмжийн хийнүүдийн дундаж агууламж /Монгол орны нутаг дэвсгэр дээр/ тасралтгүй өсөж байна. Үүнд: нүүрсхүчлийн CO_2 хийн агууламж 28 жилийн (1992-2020) хугацаанд 354.6 ppm –ээс 413.3 ppm хүртэл өссөн бөгөөд 58.8 ppm буюу олон жилийн дундажтай нь харьцуулахад 16.5%-аар нэмэгдсэн байна. Агаар дахь метаны жилийн дундаж агууламж 1992-2020 оны хооронд 1808 ppbv-ээс 1968 ppbv болж 8.8 хувиар өссөн байна. Агаар мандалд агуулагдах агууламж харьцангуй бага боловч дулааруулах хүчин чадал сайтай хүлэмжийн хий бол SF_6 юм. 1997-2020 оны хооронд Улаан-Уул станц дээр SF_6 -ын агууламж 3.8ppm-ээс 10.4 ppm буюу 2.7 дахин өссөн байна.

ОХУ-ын Шинжлэх Ухааны Академийн Сибирийн салбарын буюу Буриадын Шинжлэх ухааны төвийн Физик материал судлалын хүрээлэн, Томскийн оптикийн судалгааны хүрээлэн Монголын Ус цаг уурын хүрээлэнгийн хамтарсан экспедиц Говийн бүс нутгийг төлөөлүүлж Сайншанд, Баруун-Урт орчим зуны улиралд хэмжилт судалгааг 2005-2015 онд хийсэн байжээ. Судалгааны үр дүнгээр Сайншандад хийсэн хэмжилтийн дүнг синоптик процесстой холбож үзэхэд агаарын массын шилжилт гол нөлөөтэй байна. Жишээ нь Монгол орны нутаг дэвсгэр дээр тогтвортой дулаан агаарын масс байрлаж байсан үед азотын давхар ислийн агууламж харьцангуй тогтвортой байсан боловч озоны агууламж өссөн байна. Харин баруун хойноос антициклон шилжин ирж циклон зүүн урагшаа шилжих үед агаар мандлын фронт дайран өнгөрсөн бөгөөд агаарын температур харьцангуй

сэрүүссэн бөгөөд энэ үед озоны агууламж бага байсан байна. Гэвч энэ үед азотын давхар ислийн агууламж Зүүн Сибирийн үйлдвэрийн районоос бохир агаар шилжин ирснээс өссөн нь байна.

Шороон/элсэн шуурга нь цаг агаарын аюултай үзэгдэлд орно. Хүчтэй шороон шуурганы улмаас хүний амь нас эрсдэх, эдийн засгийн салбаруудын үйл ажиллагаа доголдох, хөрсний элэгдэл явагдах зэрэг сөрөг үр дагаврууд үүснэ (Natsagdorj et al., 2003, Shao and Dong, 2006). Монгол орны нутгийн зүүн хэсгийг хамран 2008 оны 5 дугаар сарын 26-27-ны өдрүүдэд ажиглагдсан хүчтэй шороон шуурганы улмаас 52 хүн амь насаа алдаж, 242 мянган толгой мал хорогдож, 110 барилга байшин, 221 гэр, цахилгааны шугамын 62 шон, холбооны 668 шон эвдэрсэн юм. Энэ шуурганы хохирол, халдваргүйжүүлэлт, нөхөн сэргээлтийн зардал нийтдээ 640 сая төгрөгт (457 мянган ам.доллар, 2008 оны ханшаар) хүрсэн байна (Tsogt and Munkhjargal, 2008).

Сүүлийн үед Азийн төдийгүй дэлхийн уур амьсгалын өөрчлөлт (Park et al., 2005; Goudie, Middleton, 2006; Park and Jeong, 2008), хүний эрүүл мэндэд (Meng and Zhang, 2006; Wei and Meng, 2006; Deng et al., 2007; Lee et al., 2007, Park et al., 2010) говь, цөлийн бүсийн шороон шуурганы үзүүлэх нөлөөллийн судалгааны ажлууд хийгдсээр байгаа билээ. Шороон шуурга ажиглагдах үед агаарын булингаршил ихсэж цацрагийн тэнцэлд тодорхой өөрчлөлт оруулна. Агаарт дэгдсэн шороо тоос нь нарны цацрагийг буцаан ойлгодгоос хүлэмжийн хийн дулааралтай жишихүйц хэмжээний хүйтрүүлэх нөлөөтэйг туршилтаар тогтоожээ (First LAS/WMO ISSDS-I, 1998; Li et al., 1996; Nickovic and Dobricic, 1996). Говь цөлийн хөрснөөс агаарт дэгдсэн тоос шороо нь агаар мандалд үүл үүсэх физик явцад чухал үүрэг гүйцэтгэнэ. Нарийн ширхэгт тоос шороо нь үүлний конденсацын цөм болж өгдөг (Shao 2009).

Шороон шуургатай өдрийн тооны олон жилийн давтагдлын газар зүйн тархцыг (Natsagdorj et al. 2003, Нацагдорж нар 2006) хийсэн. Энэ судалгаагаар шороон шуургатай өдрийн тоо Хангай, Хөвсгөл, Хэнтийн уулархаг нутгаар жилд 5 өдрөөс цөөн, Их нууруудын хотгорт 10-17 өдөр, говь, цөл, цөлжүү хээрийн бүсэд 20-37 өдөр болж байна. Монголын говийн бүсэд шороон шуурганы давтагдал ихтэй ба 3 муж илэрсэн нь Алтайн цаад говь, Өмнөговийн Улаан нуурын орчим, Замын-Үүдийн орчим болно.

БҮЛЭГ I. СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ

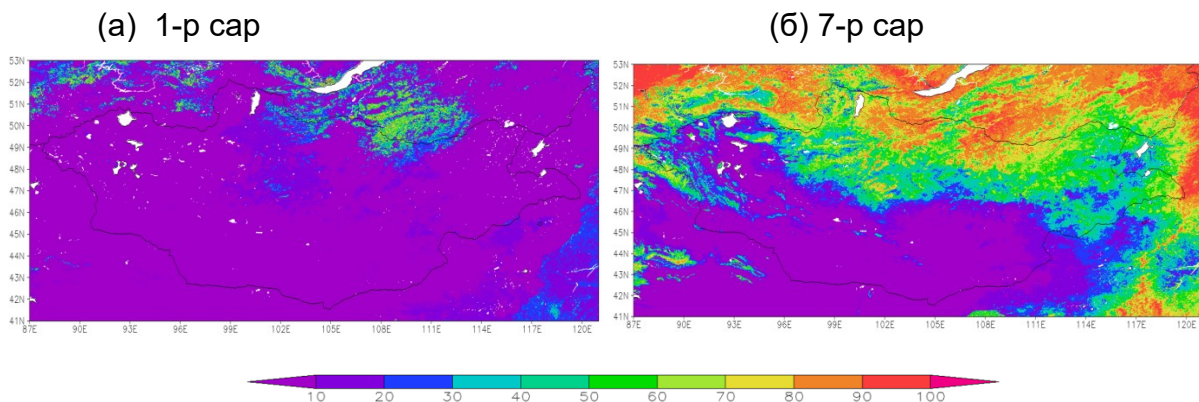
1.1 Газар бүрхэвчийн үзүүлэлтүүд

Ногоон ургамлын бүрхэц

Ургамал бүрхэвч нь газар бүрхэвч, агаар мандлын харилцан үйлчлэлд чухал үүрэг гүйцэтгэдэг бөгөөд энэ нь газрын гадаргын чийг-дулаан энергийн харилцан солилцоог зохицуулж байдаг. Ургамал бүрхэвчийн нэг гол параметр бол ногоон ургамлын бүрхэц (НУБ) юм. НУБ нь тодорхой нэгж гадаргууд байгаа ургамалтай хэсгийг хувьд шилжүүлэн тооцон авч үздэг бөгөөд энэ нь тухайн гадаргуу дахь ургамал болон нүцгэн хөрснөөс уурших ууршилтыг тодорхойлох гол параметр болдог. НУБ-ийн хэмжээ нь жил бүрийн уур амьсгалын онцлогоос хамаарч өөрчлөгдөж байдаг. Ерөнхийдөө энэ өөрчлөлт нь уур амьсгалын өөрчлөлт түүнтэй холбоотой ган болон цөлжилтийг үнэлэх гол үзүүлэлт болдог билээ. Ногоон ургамлын бүрхэц нь тоон загварт нийлбэр ууршилтаар тодорхойлогддог далд дулааны хэмжээг тооцох гол параметр юм. Энэ судалгааны ажилд MODIS сенсоровын 1км нарийвчлалтай NDVI (MOD13A3) бүтээгдэхүүнийг ашиглан НУБ-ийг тооцсон ба энэ нь дараах шулууны томъёогоор илэрхийлэгдэнэ.

$$GVF(\%)=100*(NDVI-NDVI_o)/(NDVI_{100}-NDVI_o) \text{ (Gutman, Ignatov 1998)}$$

GVF- Хувиар илэрхийлсэн НУБ, NDVI - тухайн гридийн цэг дээрх өгөгдсөн хугацааны NDVI-ийн утга, $NDVI_{100}$ – 100% буюу шигүү ногоон ургамалтай үеийн NDVI-ийн утга, $NDVI_o$ – цөл буюу нүцгэн хөрсөнд дээрх NDVI-ийн утга. Энэ тохиолдолд (Zeng et al. 2000) аргачлалаар $NDVI_{100}=0.92$ and $NDVI_o=0.05$ гэж авч үзсэн. Зурга 1-т жишээ болгон MODIS сенсоровын 2009 оны 1км нарийвчлалтай 1 болон 7 дугаар сарын ногоон ургамлын бүрхэцийг үзүүлэв. Зургаас харахад MODIS сенсоровын NDVI-г ашиглан тооцоолсон ногоон ургамлын бүрхэц нь уулархаг газар, тал хээр болон голын хөндий газарт илүү нарийвчлалтай илэрхийлсэн байна.



Зураг 1. 2009 оны MODIS-ийн NDVI-аар тооцоолсон ногоон ургамлын бүрхэц

Гадаргын альбедо

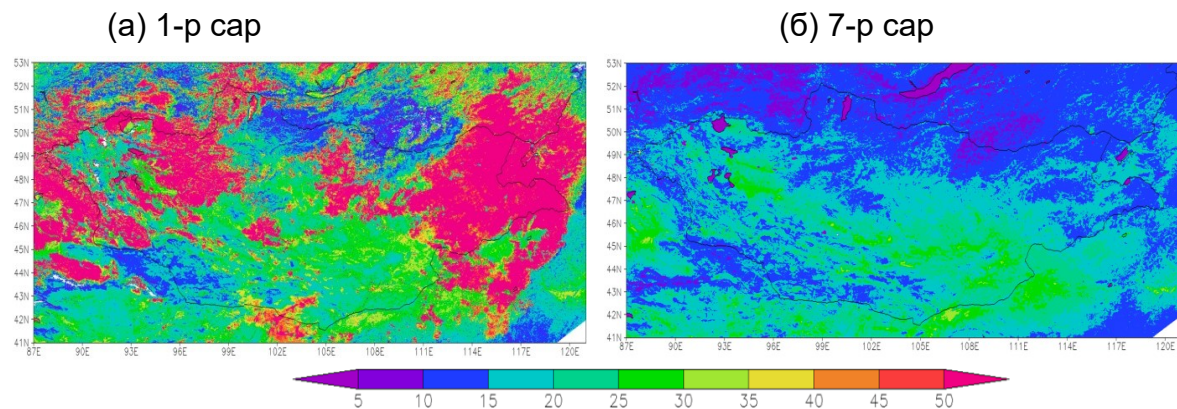
Газрын гадаргын альбедо нь нарнаас ирж буй шууд цацрагийг буцааж ойлгох чадвар юм. Энэ нь гол нуур, ой модтой газар бага утгатай (8-15%), цөл нүцгэн хөрстэй газар харьцангуй их утгатай (20-35%), харин цас мөстэй газар өндөр утгатай (55-70%) байдаг. Гадаргын альбедо нь газар, агаар мандлын чийг энергийн солилцоонд маш их үүрэгтэй бөгөөд зун ногоон ургамлын бүрхэц, өвөл цасны бүрхцээс маш их хамааралтай байдаг. Хиймэл дагуулын мэдээллээр гадаргын альбедог өндөр нарийвчлалаар хэмждэг бөгөөд black-sky ба white-sky 2 төрлийн альбедогоор гадаргын албедог тооцоолдог. Black-sky альбедо нь газрын гадаргаас шууд харагдах гэрлээр, white-sky альбедо нь газрын гадаргаас ойж агаар мандалд сарнисан гэрлээр тодорхойлогддог. Энэ судалгааны ажилд MODIS сенсоровын 8 хоног бүрийн 1км нарийвчлалтай black-sky albedo болон white-sky (MCD43B3) albedог сар бүрийн гадаргын альбедог тооцоолоход ашигласан. (Schaaf et al. 2002) MODIS сенсоровын солонгын 7 өнгийн болон өргөн зурвасын долгионы black-sky болон white-sky ашиглан (Lucht et al. 2000)-ийн дараах томъёогоор гадаргын альбедог тоон загварт зориулан тооцоолсон.

(Schaaf et al, 2002) (1)

α - Гадаргын альбедо, α_{bs} - Black-sky альбедо, α_{ws} - White-sky альбедо

D - Диффузийн коэффициент, (=0.2) (B. de Foy et al., 2006)

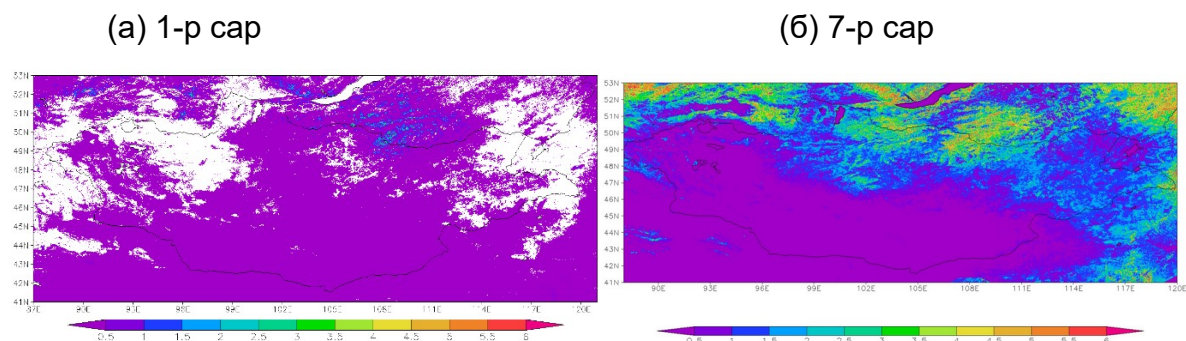
Ерөнхийдөө MODIS-ийн гадаргын альбедо нь нарийвчлал өндөр, бусад сенсороор хэмжсэн гадаргын альбедотой харьцуулахад газрын хэмжилтээр тодорхойлсон альбедотой ойролцоо байдаг байна (Jin et al. (2003,a,b)) Жишээ болгон Зураг 2-т MODIS сенсоровын 2009 оны 1км нарийвчлалтай 1 болон 7 сарын гадаргын альбедог үзүүлэв. MODIS-ийн гадаргын альбедо нь тухайн цаг хугацааны гадаргын альбедо тул загварын тооцоолсон албедогоос илүү нарийвчлалтай бодит байдалд маш ойр юм. Зуны улиралд гадаргын альбедо нь өөрчлөлт их багатай байдаг. Харин хавар, намар, өвлийн улиралд утгын хувьд хэлбэлзэл ихтэй байдаг.



Зураг 2. 2009 оны MODIS-ийн NDVI-аар газрын гадаргын альбедо

Навчны гадаргуугийн индекс (LAI)

Навчны гадаргуугийн индекс (LAI) нь ургамлын босоо нягтыг тодорхойлдог параметр бөгөөд нэгж газрын гадаргуу дахь ногоон навчны талбайгаар илэрхийлэгдэнэ. LAI нь ургамлын биологийн болон физик шинж чанарыг тодорхойлдог ба үүнд гэрэл халхлах байдал, үе шат, нүүрсхүчил болон азотын эргэц гэх мэт. LAI нь агаар мандал болон биомандлын хоорондох ургамлаас гарч буй органик хийн харилцан солилцооны гол газар нутгийн хэмжээг үзүүлж байдаг. Мөн LAI нь ургамлын транспираци болон биомассыг тодорхойлогч гол параметр болж байдаг. Жишээ болгон [Зураг 3](#)-т 2009 оны 1 болон 7-р сарын MODIS-ийн LAI индексийг үзүүлэв. LAI-ийн өөрчлөлт нь загварын ургамлын транспирацид нөлөөлж түүнчлэн нийлбэр ууршилт, агаар мандлын чийгийн нөөц, хур тунадасны хэмжээнд чухал нөлөө үзүүлдэг.

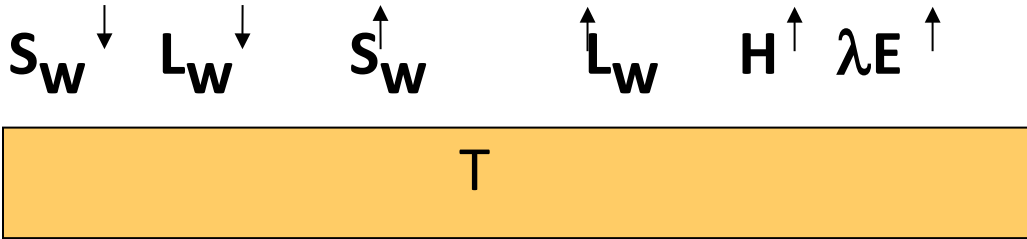


Зураг 3. 2009 оны MODIS-ийн навчны гадаргуугийн индекс

1.1.1 Газар бүрхэвчийн NOAH загвар

Weather Forecasting and Research (WRF) ([Skamarock et al., 2008](#)) загварыг цаг агаарын өнгөрсөн болон ирээдүйн төлөвийг тодорхойлоход өргөн ашигладаг бүс нутгийн загвар юм. Энэ загвар нь сүүлийн үеийн бүс нутгийн загвар бөгөөд цаг агаарын прогнозын судалгаанд ихээхэн ашигладаг. Одоогийн байдлаар Монголын Ус, цаг уурын алба энэхүү загварыг шуурхай ажиллагаанд цаг агаарын урьдчилсан мэдээ гаргахад ажиллуулж байгаа болно. WRF загвар нь анхны захын өгөгдлөө дэлхийн хэмжээний загварын үр дүнгээс авч, динамик буулгалтын (dynamic downscaling) аргыг ашиглан сонгосон бүс нутгаар өндөр нарийвчлалтайгаар цаг агаарын төлөвийг дүрслэн гаргадаг. Дэлхийн хэмжээний болон WRF загварын үр дүнг тунадас, салхи болон температур зэрэг элементүүдийг ажиглалтын мэдээтэй харьцуулж үзсэн бөгөөд WRF загварын үр дүн үнэлгээ сайн байсан. Хэдий тийм боловч бүсийн загварт ашиглаж байгаа газар бүрхэвчийн параметр болох ургамал бүрхэвч, газрын гадаргын альбеда, ногоон ургамлын бүрхэвч зэрэг нь 20-30 жилийн өмнөх хиймэл дагуулын мэдээнд тулгуурласан өгөгдөл байдаг тул жил бүрийн уур амьсгалаас хамаарсан өөрчлөлтийг тусгаж чаддаггүй дутагдалтай талтай юм.

Газар бүрхэвчийн загвар нь энергийн балансыг дараах томъёогоор тооцдог.



$$SW_d + LW_u = SW_d + LW_u + H + \lambda E + G \quad (2)$$

SW_d - нарнаас ирж буй шулуун цацраг

LW_d - агаар мандлаас ирж буй урт долгионт цацраг

SW_u - газрын гадаргуугаас ойж буй богино долгионт цацраг

LW_u - газрын гадаргаас цацруулж буй урт долгионт

H - ил (sensible) дулаанд зарцуулж буй энерги

λE - нууц дулаан (ууршилт, цас мөсний хайлалт)

G - газрын гүн руу зарцуулах дулаан

✓ Цацрагийн баланс нь дараах хэлбэрээр илэрхийлэгдэнэ.

$$R_n = SW_d + LW_d - SW_u - LW_u \quad (3)$$

Цацрагийн балансаар илэрхийлэгдэх энерги нь газрын гадаргын гадаргын шинж чанараас хамаарч ил, нууц болон хөрсний гүн руу шилжих дулаанд хувирч байдаг.

Газрын гадаргаас буцаж ойх шулуун цацраг нь гадаргын альбедогоос шууд хамааралтай байдаг.

$$SW_u = a * SW_d \quad (4)$$

a - газрын гадаргын альбедо

✓ Газрын гадаргаас цацруулах урт долгионт цацраг нь Стефан-Болцманы томъёогоор илэрхийлэгдэнэ.

$$LW_u = \epsilon \delta T^4 \quad (5)$$

ε - газрын гадаргуугийн цацруулалтын чадвар

δ - Стефан-Болцманы тогтмол

T - газрын гадаргын температур

✓ Ил дулааныг дараах томъёогоор загварт тооцно.

$$H = r c_p r_a (T_s - T_r)$$

r - агаарын дундаж нягт

c_p - тогтмол даралтан дах агаарын дулаан багтаамж

T_s - газрын гадаргын температур

T_r - агаарын температур

r_a - агаарын аэродинамик эсэргүүцэл

✓ Хөрсний гүн рүү шилжих дулаан

$$G = -K_t \frac{\partial T}{\partial z}$$

Kt - дулаан солилцооны параметр, энэ хөрсний шинж чанар, бүтцээс хамаарна

✓ Нууц дулаан нь ургамал, хөрс, цас болон мөсний ууршилтаар тодорхойлогдоно.

$$LH = \lambda w E + (\lambda w + \lambda m) E_s \quad (6)$$

λw - усны уурын хувийн дулаан багтаамж

λw - цас болон мөснөөс уурших усны уурын хувийн дулаан багтаамж

E - хөрс, ургамлаас уурших нийлбэр ууршилт

E_s - цас, мөсөн гадаргаас уурших ууршилт

✓ Хөрс, ургамал уурших нийлбэр ууршилт нь дараах байдлаар илэрхийлэгдэнэ.

$$E = E_{dir} + E_t + E_c \quad (7)$$

✓ Ургамлаар дамжих уурших ууршилт буюу транспераци

$$E_t = \sigma_f E_p B_c \left[1 - \left(\frac{W_c}{S} \right)^n \right] \quad (8)$$

✓ Ургамал бүрхэвчийн гадаргуугаас уурших ууршилт

$$E_c = \sigma_f E_p \left(\frac{W_c}{S} \right)^n \quad (9)$$

✓ Хөрсний гадаргуугаас уурших ууршилт

$$E_{dir} = (1 - \sigma_f) \beta E_p \quad (10)$$

σ_f - ногоон ургамлын бүрхэц

E_p - потенциал ууршиц

B_c - ургамал бүрхэвчийн эсэргүүцлийн функц

W_c - ургамал бүрхэвчид агуулагдах чийгийн агууламж

S - ургамал бүрхэвчийн хамгийн их чийг агуулах багтаамж

β - хөрсний чийгээс хамаарсан функц

Эдгээр ууршилт нь ногоон ургамлын бүрхцээс шууд хамаарч байгаа нь харагдаж байна.

Ургамал бүрхэвчийн эсэргүүцлийн функцэд навчны гадаргуугийн индекс чухал нөлөөтэй байдаг

$$B_c = \frac{1 + \frac{\Delta}{R_r}}{1 + R_c C_b + \frac{\Delta}{R_r}}$$

(11)

$$R_c = \frac{Rc_min}{LAI * F_1 F_2 F_3 F_4}$$

(12)

LAI-навчны гадаргуугийн индекс
 Rc_min ≈ ургамлын төрлөөс хамаарсан минимум эсэргүүцлийн
 коэффициент

F1 ≈ нарны цацрагаас хамаарсан функц

F2 ≈ агаарын температураас хамааралтай функц

F3 ≈ агаарын чийгээс хамаарсан функц

F4 ≈ хөрсний чийгээс хамаарсан функц

1.1.2 Азийн шороон шуурга, аэрозолийн загвар /The Asian Dust Aerosol Model-ADAM/

АНУ-ын Байгаль орчныг хамгаалах агентлагаас гаргасан агаарын чанарын үнэлгээний тоон загварт [The Community Multiscale Air Quality (CMAQ) model] үндэслэсэн, Солонгосын цаг уурын агентлаг хөгжүүлсэн, Азийн шороон шуурга, аэрозолийн загварыг /The Asian Dust Aerosol Model-ADAM/ ашигласан.

CMAQ загвар нь 3 төрлийн загварыг хамтатгасан. Үүнд:

- Агаар мандлын төлөв байдлыг тооцоолох цаг агаарын тоон загвар
- Байгалийн болон хүний үйл ажиллагаанаас хамаарсан агаарт ялгаруулах ялгарлыг тооцоолох загвар (emission model)
- Хувьсах нөхцөлд байгаа агаарын бохирдлыг урьдчилан тооцоолох агаарын химийн зөөгдлийн загвар

Загварын системийн бүрэлдэхүүн хэсэг: CMAQ загвар нь 2 төрлийн оролтын мэдээг шаардана. Үүнд: Эхлээд агаар мандлын болон газрын цаг агаарын төлөв байдлын мэдээлэл, нөгөө нь агаарын чанарт нөлөөлж буй химийн элемент нэгдлийн ялгарал юм. Цаг агаарын мэдээллийг цаг уурын бүс нутгийн загварын

(WRF) гаралтын үр дүнгээс авна. Ялгарлын зэргийн оролтын мэдээг нээлттэй-эх үүсвэрт (open-source Sparse Matrix Operator) түшиглэн олж авна.

ADAM загвар нь 11 хэсэг эгэл тоосонцроор тоосны дэгдэлтийг тооцдог (Хүснэгт 1).

Хүснэгт 1. Тоосонцрын диаметр

Bin Number	Range of Particle Diameter (μm)	Mid Diameter (μm)
1	0.20 ~ 0.50	0.35
2	0.50 ~ 0.82	0.66
3	0.82 ~ 1.35	1.09
4	1.35 ~ 2.23	1.79
5	2.23 ~ 3.67	2.95
6	3.67 ~ 6.06	4.87
7	6.06 ~ 10.00	8.03
8	10.00 ~ 16.50	13.25
9	16.50 ~ 27.25	21.88
10	27.25 ~ 45.00	36.13
11	45.00 ~ 74.00	59.50

Тоосны зөөгдлийг 0.2-0.74 μm хэмжээтэй тоосонцрын хэмжээ бүрээр тооцдог.

$$F_a = \alpha \times u_i^4 \quad \text{if } u_i \geq u_{it} \quad (13)$$

u_{it} - үрэлтийн хурдны зааг

$$\frac{d}{d \log r} \propto r^{1.5} \quad (14)$$

r - тоосонцрын радиус

Хэрвээ газар бүрхэвчийн төрөл тооцож өгвөл

$$F_a = (1 - \sum_i f_i R_i) \times \alpha \times u_i^4 \quad \text{if } u_i \geq u_{it} \quad i$$

f_i : тухайн газар бүрхэвчийн ангилал дахь ногоон ургамлын бүрхэц

R_i : буруулах хүчин зүйл

Зөөгдлийн тархалтыг Шао-гийн (Shao et al., 2002) томъёогоор тооцно.

$$P_s(d) = \gamma P_m(d) + (1 - \gamma) P_f(d) \quad (15)$$

$P_s(d)$ - эгэл хэсэг бүрийн тархалт

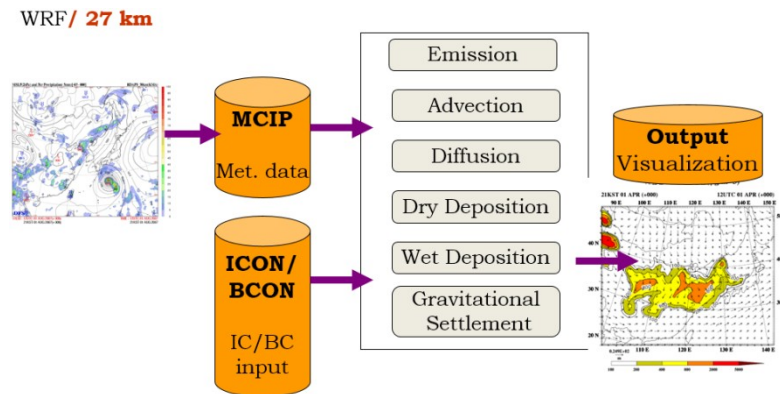
γ - жингийн коэффициент

$$\gamma = e^{-k(u_i - u_{it})^n} \quad (16)$$

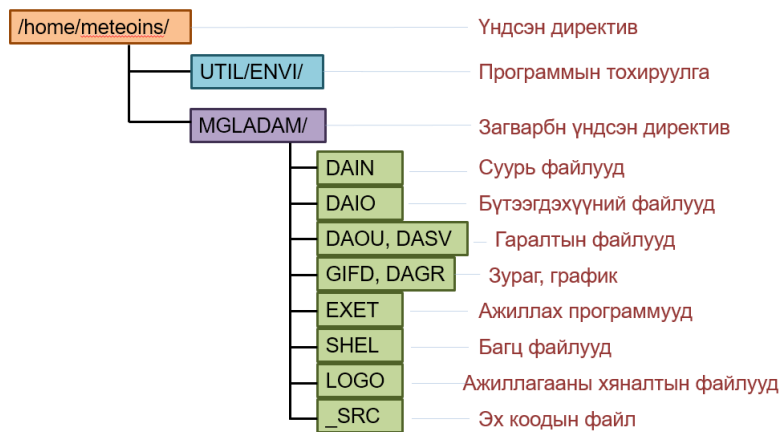
($k=27, n=3$)

$$P_{m,f}(d) = \frac{1}{d} \sum_{j=1}^J \frac{w_j}{\sqrt{2\pi}\sigma_j} \exp\left(-\frac{(\ln d - \ln D_j)^2}{2\sigma_j^2}\right) \quad (17)$$

$P_m(d), P_f(d)$ - эгэл хэсгийн хамгийн бага болон их тархах тархалт

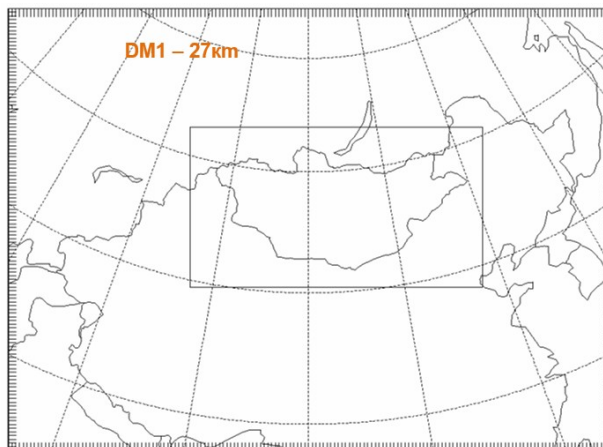


Зураг 4. ADAM загварын үйл ажиллагааны схем



Зураг 5-а. ADAM загварын мэдээний оролт, гаралтын директив

ADAM загварын бүс нутгийн алхмыг 27км (DM1)-ээр (Зураг 6) сонгож туршилтыг явуулсан (Зураг 5-а). Босоо чиглэлийн орон зайн хувьд газрын гадаргаас дээш 35 түвшинд тооцоог хийсэн бөгөөд, хамгийн дээд түвшнийг 100гПа, доод түвшнийг газрын гадаргаас дээш 19м-ээр авсан. Тоон туршилтыг 2019 оны 5 сарын 14-ний 00 цагаас 16-ны 00 цаг (гринвичийг цагаар тооцсон) хүртэл гамшигт үзэгдэл болсон хугацаагаар бодуулсан болно.



Зураг 6. ADAM загварын бүс нутаг

1.1.3 Хиймэл дагуулын боловсруулалт

Үүл бол цаг агаар, уур амьсгал бүрэлдэн тогтох, далай эх газрын харилцан үйлчлэлийн системд чухал үүрэг гүйцэтгэдэг. Шинжлэх ухаанд үүлний чиглэлийн судалгаа одоо хүртэл дутмаг байгаа ба энэ чиглэлийн судалгаа, шинжилгээний ажлыг эрчимтэй хийх шаардлагатай байгаа билээ. Үүлний төрөл, микрофизик шинжийг мэдсэнээр аливаа цаг агаарын үзэгдлийн хөгжлийн үе шат, шилжилтийг нарийвчлан тодорхойлох, цаашлаад бүс нутгийн газар орчмын энергийн болон чийгийн балансыг тооцоолох чухал ач холбогдолтой юм. Японы цаг уурын агентлагийн HIMAWARI-8 хиймэл дагуул юм. Монгол орныг бүрэн хамарсан үүлний мэдээллийг 500м хүртэл нарийвчлалтай 10 минут тутам үүлний бүтээгдэхүүнийг авч ашиглах боломжтой юм.

Цаг уурт ихэвчлэн байран хиймэл дагуулын үүлний бүтээгдэхүүн ашигладаг бөгөөд өргөн уудам газар нутгийг хамарсан үүлний бүрхэц, шилжилтийг тодорхойлоход чухал үүрэг гүйцэтгэдэг.

Монголын цаг уурын албанд Хятад болон Япон улсын байран хиймэл дагуулын мэдээллийг хүлээн авч ашиглаж байна. Хамгийн сүүлийн үед хөөргөсөн нарийвчлал өндөртэй цаг уурын байран хиймэл дагуул нь Японы цаг уурын агентлагийн HIMAWARI-8 хиймэл дагуул юм. Монгол орныг бүрэн хамарсан үүлний мэдээллийг 500м хүртэл нарийвчлалтай 10 минут тутам үүлний бүтээгдэхүүнийг авч ашиглах боломжтой юм.

HIMAWARI-8 цаг уурын хиймэл дагуул нь үзэгдэх гэрлийн 3 (VIS), ойрын нил туяаны 3 (NIR), нил улаан туяаны 10 (IR) сувагтай, 10 минут тутам мэдээлэл дамжуулдаг.

Энэ судалгааны ажилд HimawariCloud /хиймэл дагуулын эх мэдээг интернэтээр шууд татаж авах/ үйлчилгээгээр Японы цаг уурын агентлагаас хиймэл дагуулын эх мэдээг хүлээн авч шороон шуурганы зургийг боловсруулах юм.

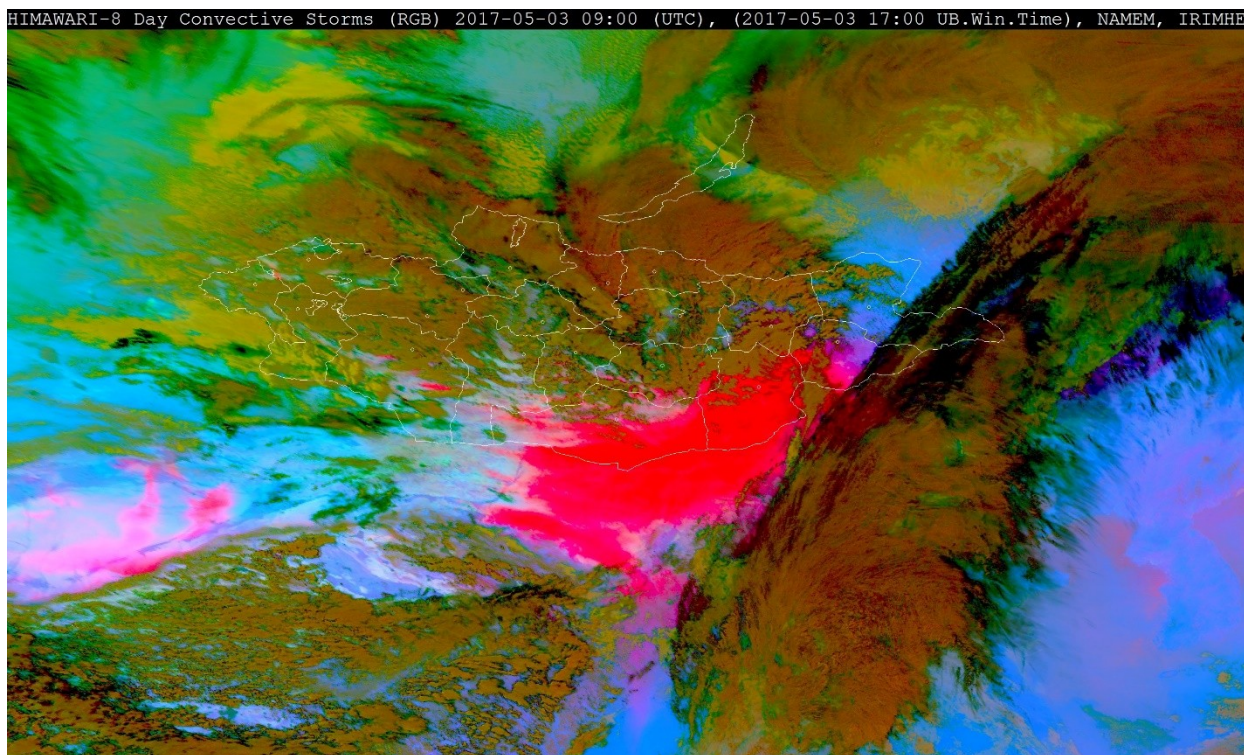
Хиймэл дагуулын сувгийн мэдээгээр улаан, ногоон болон цэнхэр (RGB) гэсэн гурван өнгө ашиглан ямар төрлийн үүл байна вэ гэдгийг хялбархан харж болдог. Мөн энэ 3 өнгөөр шороон шуургыг ч гэсэн ялган харж болно. [Хүснэгт 2-т](#) 2009 онд Meteosat Second Generation (MSG) хиймэл дагуулын мэдээ ашиглан параметрууд болон шороон шуургыг ялган харуулах RGB (Red Green Blue) өнгө гаргах Brightness температурын хилийг үзүүлэв.

Хүснэгт 2. Brightness температурын хил

RGB өнгө	Параметр: Brightness температур (зөрөө)	MIN	MAX
Red	12.0 μm - 10.8 μm	-4 K	+2 K
Green	10.8 μm - 8.7 μm	0 K	+15 K
Blue	10.8 μm	261 K	289 K

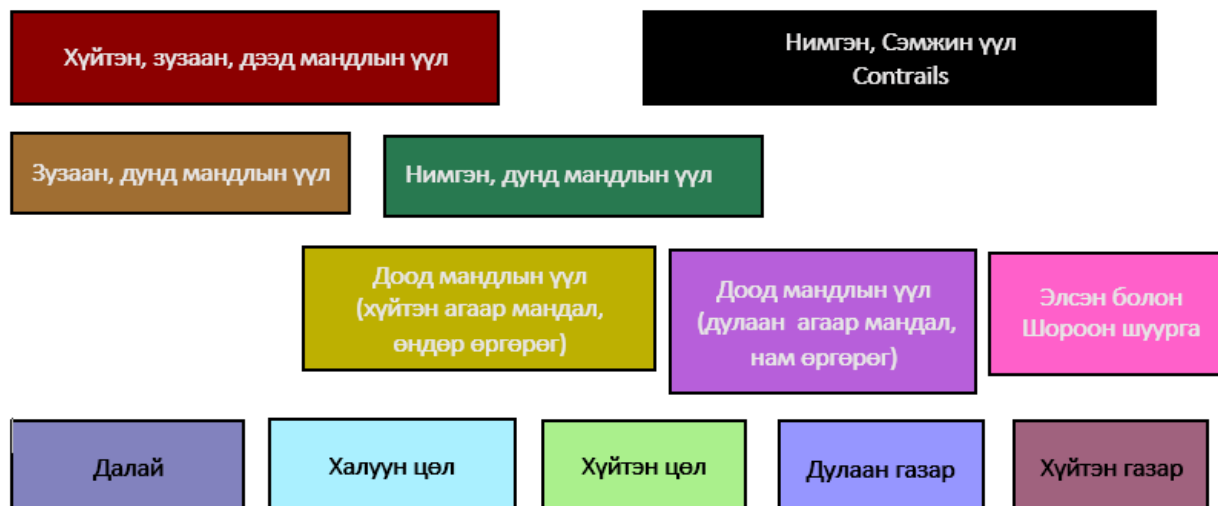
DUST= (RGB:B15-B13/B13-B11/B13)

R- B15-B13, G- B13-B11, B- B13



Зураг 7. Говийн нутгаар ажиглагдсан шороон шуурга, 2017-05-03-ны 17:00 цаг

Ягаан, ягаавтар өнгө нь шороон шуургыг илэрхийлж байна. Нил улаан туяаны суваг ашиглаж байгаа учир өдөр болон шөнийн аль ч хугацаанд шороон шуургыг тодорхойлж чадаж байгаа нь давуу талтай байна. Харин үүлний доор байгаа элсэн болон шороон шуургыг илрүүлж чадахгүй.



Зураг 8. Бүтээгдэхүүний өнгөний ялгарал

Нам өргөрөг, дулаан агаар мандалд доод мандлын үүл болон шороон шуурганы өнгө ойролцоо байгаа учир хөдөлгөөнт зургаар тэдгээрийг ялган харж болно. Шороон шуурганы цаг хугацаа орон зайн тархалтыг өндөр нарийвчлалтай гаргаж түүний шилжилт, явцыг мэдэх нь шуурхай үйлчилгээний ажилд маш өндөр ач холбогдолтойгоос гадна судалгааны ажилд өргөн ашиглахаар байна. Тухайлбал бид цаашид шорооны эх үүсвэрийг тодорхойлж түүнийг шороон шуурганы загварт суурь мэдээ болгон оруулж мөн загварын үр дүнг үнэлэхэд маш чухал мэдээлэл болно.

БҮЛЭГ II. СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН

Монгол орны говийн бүс нутгийн уур амьсгалын онцлог, одоогийн өөрчлөлт хандлагыг тодорхойлох

Манай орны говийн бүс нутаг нь Төв Азийн хуурай, хуурайдуу говь цөлийн бүсэд багтдаг. Газар бүрхэвчийн хувьд хайрга чулуу, элс ихтэй, тачир сийрэг бэлчээрийн ургамалтай, уул нуруу, хонхор, хөндий, тэгш тал, говь цөл алаглан оршдог тул уур амьсгалын өвөрмөц нөхцөлийг бүрдүүлж байдаг. Нийт нутаг дэвсгэрийг уур амьсгалын хуурай сэрүүвтэр, хуурай дулаавтар, нэн хуурай дулаан гэсэн гурван мужид хуваан авч үздэг.

Эх газрын хуурай сэрүүн, эрс тэс уур амьсгалтай, хуурай агаартай, хур тунадас бага унадаг тул хөрснөөс уурших чийгийн нөөц бага, агаар нэн хуурай, салхи ихтэй учир шороон шуургатай өдрийн тоо олон өөрөөр хэлбэл шороо тоос их босдог. 1990 оны зах зээлийн эдийн засгийн шилжилтээс улбаалан энэ гандуу бүс нутагт хүний үйл ажиллагааны дарамт, хөнөөл эрс нэмэгдсээр байна. Хүний үйл ажиллагааны сөрөг нөлөөлөл дээр уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөлөл нэмэгдсэнээр говийн бүс нутгийн эмзэг экосистемийг улам бүр доройтуулсаар байна.

Уул уурхайн хөгжил нь Монгол орны говийн бүс нутагт бусад бүс нутагтай харьцуулахад илүү хурдацтай явагдаж байгаа. Уул уурхайн үйл ажиллагаатай холбоотой зам тээврийн дэд бүтэц, замын хөдөлгөөний эрчмээс үүдэлтэй шороо тоосны агууламж нэмэгдэж, биологийн олон янз байдал, хүний эрүүл, амгалан амьдрах орчинд үзүүлэх сөрөг нөлөө сүүлийн арав гаруйхан жилд илэрхий ажиглагдах болов.

Иймд эмзэг экосистемтэй говийн бүс нутгийн өнөөгийн уур амьсгалын өөрчлөлтийг нарийвчлан судлах нь нийгэм, эдийн засаг, байгаль орчин зэрэг салбаруудад дасан зохицох, нөлөөллийг сааруулах арга хэмжээ авахад маш чухал болно.

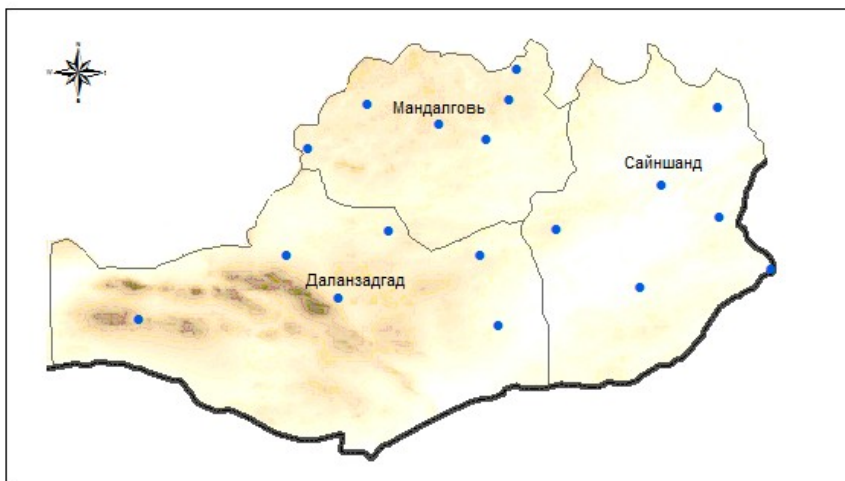
2.1.1 Зорилго, зорилт

Энэ судалгааны ажлын гол зорилго нь Говийн бүсийн нутгийн уур амьсгалын онцлог, түүний өнөөгийн өөрчлөлтийг тогтооход оршино. Энэхүү зорилгын хүрээнд дараах зорилтуудыг тавьж ажилласан.

- Говийн бүс нутгийн цаг уурын 17 станцын хоног, сар, жилийн агаарын дундаж температур, хур тунадас болон салхины дундаж, үнэмлэхүй их хурд, чиглэл, үзэгдэлтэй өдрийн тооны цувааг бүрдүүлэх
- Цувааг нөхөх, цувааны нэгэн төрлийн байдалд анализ хийх
- Говийн бүс нутгийн уур амьсгалын онцлогийг тодорхойлох
- Уур амьсгалын өнөөгийн өөрчлөлтийн Даланзадгад, Сайншанд, Мандалговь станцуудаар гаргах, экстремаль утгуудын өөрчлөлтийг тодорхойлох

2.1.2 Ашигласан мэдээ

Говийн бүс нутгийн уур амьсгалын онцлог, олон жилийн өөрчлөлтийг тодорхойлохын тулд Өмнөговь, Дундговь, Дорноговь аймгуудын цаг уурын байнгын ажиглалтын 17 станцын 1940-2017 оны хоногийн дундаж, хамгийн их, хамгийн бага температур, салхи, харьцангуй чийг, хур тунадас, нарны гийгүүллийн үргэлжлэх хугацаа, үзэгдэлтэй өдрийн тоо, цасан бүрхүүлийн мэдээг авч ашигласан. Цаг уурын станц нь хур тунадсыг хоногт 2 удаа өглөө 08 цаг, орой 20 цагт бусад элементүүдийг хоногт 8 удаа хэмждэг болно. Сонгон авсан станцуудын байршлыг [Зураг 9](#)-д үзүүлэв.



Зураг 9. Говийн бүсийн нутгийн станцын байршил

Энэ судалгаандаа уур амьсгалын өөрчлөлтийг тодорхойлохдоо Дэлхийн цаг уурын байгууллагаас (ДЦУБ) гаргасан зөвлөмжийн дагуу уур амьсгалын олон жилийн дундаж утгыг 1971-2000 оноор авав. Монгол орны жилийн дундаж агаарын температур, нийлбэр хур тунадасны ОЖД-аас хазайх хазайлтыг дараах томъёогоор тооцоолов.

$$\sigma = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (18)$$

Энд: σ –хазайлт, X_i -тухайн жилийн утга, \bar{X} - олон жилийн утга, n -цувааны урт
 Жил, улирлын агаарын температурын өөрчлөлтийг дараах шугаман тэгшитгэлээр тодорхойлов.

$$F(x, t) = ax(t) + b \quad (19)$$

Энд t (сар) = 1, 2, ..., 660; $x(t)$ – жил/улирлын агаарын температур (дундаж, максимум болон минимум), a – шугаман трендийн коэффициент (°C/жил). Манн-Кэндал (Mann-Kendall) –ийн тестийг ашиглаж шугаман өөрчлөлтийн статистик ач холбогдлыг үнэлсэн. (Milambo et al., 2010) Манн-Кэндалын статистикийн аргыг нар санал болгосон.

($X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$) n гэсэн хугацааны цуваа ($R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$) гэсэн

Манн-Кэндалийн статистик S нь [85]:

$$\sum_{i=1}^{n-1} \left[\sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(R_i - R_j) \right] \quad (20)$$

Энд:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & \forall x > 0 \\ 0 & \forall x = 0 \\ -1 & \forall x < 0 \end{cases} \quad (5)$$

Хэрвээ таамаглал тэг бол H_0 нь үнэн, S нь ойролцоогоор хэвийн тархсан байна.

$$\mu = 0 \quad \sigma = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (21)$$

$$z = \frac{|S|}{\sigma^{0.5}} \quad (22)$$

Дисперс буюу дундаж квадрат хазайлтыг

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (23)$$

Стандарт хазайлтыг

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (24)$$

Энд: S –стандарт хазайлт, X_i -тухайн жилийн утга, \bar{X} - олон жилийн дундаж утга, n – цувааны урт

Хангамжийн арга нь тухайн хэмжигдэхүүн, үзүүлэлтийн хэдэн жилд буюу хэт удаан хугацааны уур амьсгалын прогноз болдог өргөн ач холбогдолтой. Уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн хангамжийг тооцоходоо цувааг ихээс бага руу эрэмбэлнэ. Ийнхүү эрэмбэлсний дараа хангамж тооцоолоход өргөн хэрэглэдэг Г.А.Алексеевийн томьёогоор эрэмбэлсэн цувааны дугаар бүхэнд ноогдох хангамжийг тооцно.

$$P = \frac{m-0.3}{n+0.4} * 100\% \quad (25)$$

Энд: m-цувааны гишүүний дугаар, n-цувааны урт

2.1.3 Уур амьсгалын экстремаль индексийг сонгох, тооцоолох

Дэлхийн цаг уурын байгууллагын CCI/CLIVAR-ын ажлын хэсгийнхэн 2013 онд ClimPACT программ хангамжийг үйлдвэрлэлд нэвтрүүлсэн. Тус программ хангамж нь R 2.15.2 ажилладаг бөгөөд нэг зэрэг 80 гаруй индексийг тооцоолдог. Говийн бүс нутгийн гол төлөөлөл болох Даланзадгад, Мандалговь, Сайншанд станцуудын 1961-2018 оны хоногийн максимум, минимум температур, хур тунадасны мэдээллийг ClimPACT программ хангамжийн стандарт алдаа 4-өөр сонгон шалгаж, буруу мэдээллийг засаж, уур амьсгалын экстремаль индексүүдийг тооцоолсон. Эдгээр индексүүдээс хамгийн их өөрчлөлт өгч буй индексүүдийг сонгон авсан. Сонгон авсан индексүүдийг Хүснэгт 3-т үзүүлэв.

Хүснэгт 3. Сонгон авсан уур амьсгалын экстремаль индексүүд

Товчлол	Нэр	Тодорхойлолт	Нэгж
TNx	Үнэмлэхүй хамгийн бага температур	Минимум температурын хамгийн их утга	°C
TXx	Үнэмлэхүй хамгийн их температур	Максимум температурын хамгийн их утга	°C
FD0	Хүйтэн өдөр	Хоногийн үнэмлэхүй бага температур 0 градусаас доош орж хүйтэрсэн өдөр	хоног
SU30	Халуун өдөр	Хоногийн үнэмлэхүй их температур 30 градусаас давж хасан өдөр	хоног
SPI12	Хуурайшилтын индекс	Хур тунадасны стандартчилагдсан индекс	

Хуурайшилтын индекс буюу цаг уурын ганг тодорхойлдог олон арга байдаг. Эдгээр аргууд дундаас хамгийн түгээмэл хэрэглэгддэг нь цаг уурын ган, хур тунадасны стандартчилагдсан индекс SPI (standardized precipitation index) (McKee et al., 1993) билээ. SPI индекс нь хур тунадасны тархалтын функцээр тодорхойлогддог бөгөөд тухайн жил, сар хэр зэрэг хуурай, чийглэг болохыг илэрхийлдэг. Цаг уурын ган SPI-г доорх томъёогоор тооцоолсон.

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad x > 0 \quad (26)$$

Энд: $\alpha > 0$ хэлбэрийн параметр, $\beta > 0$ хэмжээний параметр, $x > 0$ нийлбэр хур тунадас

$$\Gamma(\alpha) = \tilde{A}(\alpha) - \text{гамма функц} \quad (27)$$

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (28)$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}} \quad (29)$$

Энд: $A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x_i)}{n} \quad (30)$

n - нийт хур тунадасны тоо

Нийт хур тунадасны хуримтлагдсан магадлалын тархалтыг (cumulative probability) доорх томъёогоор тооцоолсон.

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\hat{\beta}^{\hat{\alpha}} \Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x x^{\hat{\alpha}-1} e^{-\frac{x}{\hat{\beta}}} dx \quad (31)$$

Энэ тэгшитгэлд $t = x/\hat{\beta}$ орлуулбал:

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x t^{\hat{\alpha}-1} e^{-t} dt \quad (32)$$

X=0 үед гамма функц нь тодорхойгүй бөгөөд хуримтлагдсан магадлалын тархалт (cumulative probability) нь доорх хэлбэртэй бичигдэнэ.

$$H(x) = q + (1-q)G(x) \quad (33)$$

Энд: q – сарын хур тунадасны 0 үеийн магадлал

Эцэст нь H(x) хуримтлагдсан магадлалын тархалт нь SPI индексийн стандарт хэвийн тархалтад шилждэг. SPI хуурайшилтын индексийн ангиллыг Хүснэгт 4-т үзүүлэв.

Хүснэгт 4. SPI индексийн ангилал

SPI –ийн хэмжээгээр хуурайшилтыг ангилах	
SPI хэмжээ	Ангилал
1.0 <	Маш их чийглэг
0.51-1.0	Их чийгтэй
0.31-0.5	Дунд зэргийн чийгтэй
0.3-(-0.3)	ОЖД орчим
-0.31-(-0.5)	Дунд зэргийн хуурай
-0.51-(-1.0)	Онцгой хуурай
-1 >	Маш их хуурай

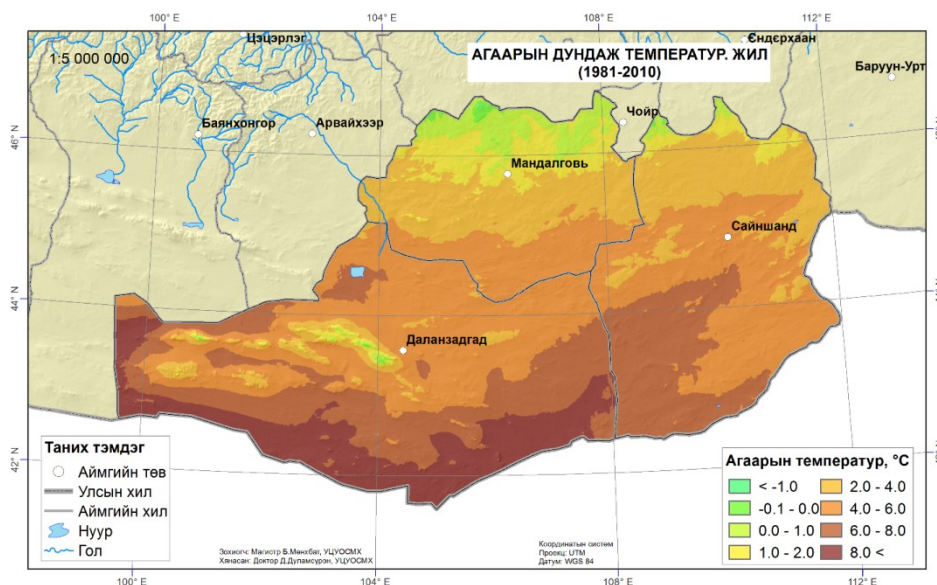
Уур амьсгалын өөрчлөлтийн графикуудыг Sigmaplot 10.0, 2 хэмжээст газарзүйн тархалтын зураглалыг газар зүйн мэдээллийн системийн ESRI ArcInfo/GRID программ хангамжуудыг ашиглан хийв.

Говийн бүс нутгийн уур амьсгалын онцлог

Говийн бүс нутгийн уур амьсгалыг бүрдүүлэгч үндсэн хүчин зүйлийн нэг нарны цацраг, нарны гийгүүллийн үргэлжлэх хугацаа нь орон нутгийн онцлогтой боловч бүсийн горимыг дагадаг. Жилдээ хэвтээ гадарга дээр 4300-5400 мДж/м² орчим нийлбэр цацраг ирдэг ба нарны өндөр хамгийн бага байх өвлийн саруудад бага (нийлбэр цацраг 12 дугаар сард 171 мДж/м²) байснаа алгуур нэмэгдэж 5-6 дугаар сард нийлбэр цацраг 640 мДж/м² орчим болтлоо өсөж улмаар үүлшил, нарны өндөртэй уялдан буурч намар өвлийн горимд шилжиж байдаг. Нарны гийгүүллийн үргэлжлэх хугацаа жилдээ 3020-3300 цаг, хамгийн бага нь өвлийн улиралд 648 цаг, хавар 829 цаг, намар 790 цаг байдаг. Хамгийн ихдээ зуны улиралд 922 цаг ба өдөрт дунджаар 13 цаг нар гийгүүлдэг байна. Цэлмэг өдрийн тоо 230-270 өдөр буюу нийт жилийн 64-75%, өөрөөр хэлбэл нарны эрчим хүчний нөөц асар ихтэй.

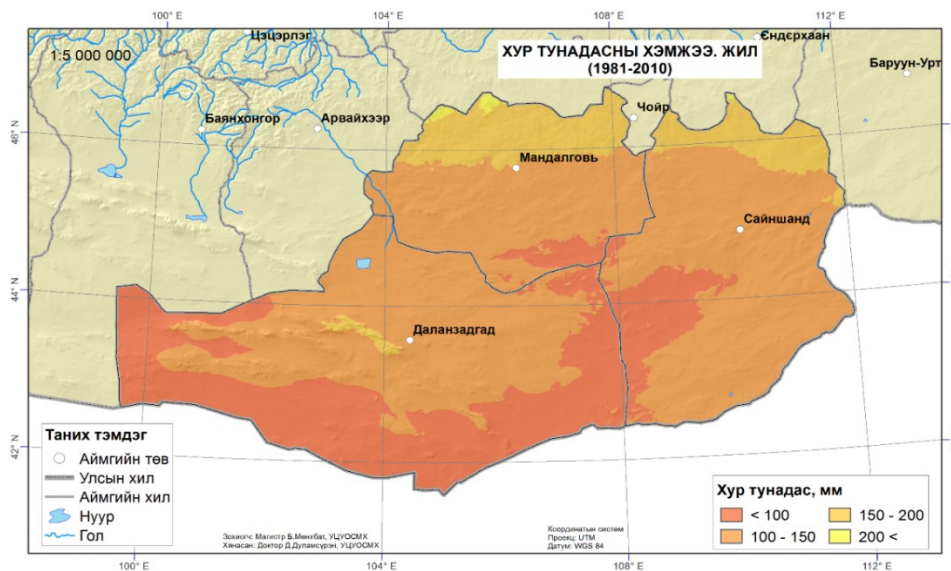
Нарны цацрагийн нөлөө үйлчлэлээр газрын гадарга халж, хөрснөөс агаар орчны дулаан хүйтний нөөц горимыг бий болгодог. Тус нутаг нь уур амьсгалын хуурай, дулаавтар мужид хамаарагддаг (Жамбаажамц 1989). Говийн бүс нутгийн уур амьсгалын онцлог нь зундаа халуун, хур тунадас бага унадаг тул хуурай, хаврын улиралд салхи ихтэй. Цэлмэг өдрийн тоо их байдаг учраас нарны гийгүүллийн үргэлжлэх хугацаа их өөрөөр хэлбэл нар, салхины эрчим хүчний асар их нөөцтэй.

Жилийн дундаж агаарын температур говийн бүс нутгийн хойд хэсгээр сэрүүвтэр -1.5-аас 2°C, өмнөд хэсгээр дулаахан 6°C-аас 8°C, бусад нутгаар 2°C-аас 4°C байдаг (Зураг 10). Өвлийн улиралд агаарын температур -13.4°C-аас -25.5°C ба хамгийн хүйтэндээ агаарт -35°C –с -38.8°C, хөрсөнд -44.6°C хүрч хүйтэрдэг. Зуны улирлын агаарын дундаж температур 21°C-аас 23.9°C ба хамгийн ихдээ агаарт 41.8°C-аас 42.4°C, хөрсөнд 70°C хүрч халдаг. Намрын анхны цочир хүйтрэлт агаарт 9 дүгээр сарын 2 дугаар 10 хоногт, хаврын сүүлчийн цочир хүйтрэлт 5 дугаар сарын эхний 10 хоногт тохиолддог.



Зураг 10. Говийн бүс нутгийн жилийн дундаж агаарын температурын тархалт

Манай орны хур тунадасны горимын нэг онцлог бол жилийн дулаан улиралд тунадас их, жилийн хүйтэн улиралд тунадас бага унадаг. Хур тунадасны горим циклоны үйлчлэлээр тодорхойлогдох боловч зуны улиралд орон нутгийн дулааны конвекцийн нөлөө тун их байдаг. Говийн бүс нутгийн хойд хэсгээр жилдээ дунджаар 150-аас 210 мм тунадас ордог бол өмнөд хэсгээр дунджаар 110 орчим мм тунадас унадаг (Зураг 11). Хур тунадасны 90% орчим нь жилийн дулаан улиралд /IV-IX сард/ үүнээс зөвхөн 6, 7 дугаар сард 50-60% нь ордог. Говийн бүс нутгийн хур тунадасны онцлог нь 1 хоногт жилийн хур тунадастай тэнцэх хэмжээний тунадас заримдаа ордог. Тийм ч учраас Монгол орны хэмжээнд хоногт хамгийн их орсон тунадас говийн бүсэд бүртгэгдсэн байдаг ба энэ нь 1 минутад орох хур борооны эрчимжил ихтэйг харуулж байна. Хоногт хамгийн их нь Даланзадгадад 1956 оны 8 дугаар сарын 5-нд 137.8 мм тунадас орсон.

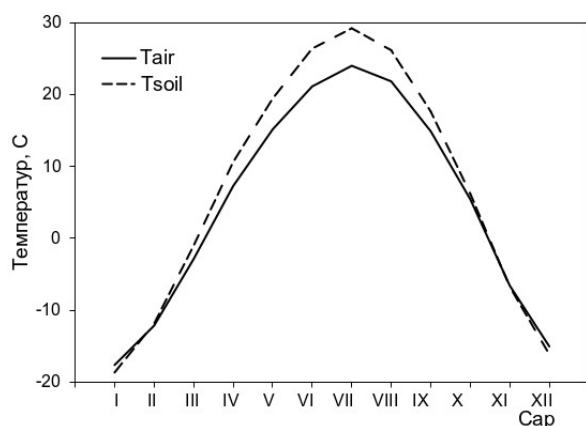
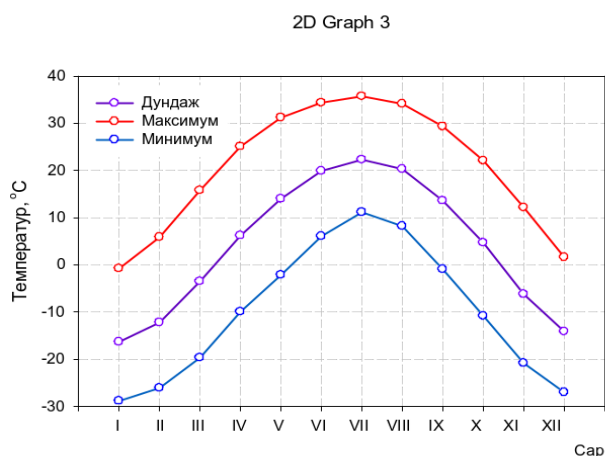


Зураг 11. Жилийн нийлбэр хур тунадасны газарзүйн тархалт

Дулаан хүйтний горим

Монгол орны агаарын дулаан, хүйтэн жилийн дотор тэгш хэмтэй явцтай байдаг. Говийн бүс нутгийн агаарын дулаан, хүйтний жилийн явцыг Зураг 12-т (агаарын үнэмлэхүй их, бага температурын олон жилийн явц) үзүүлэв. Агаар, хөрсний температурын жилийн явц адилхан бөгөөд 7 дугаар сард хамгийн дулаан, 1 дүгээр сард хамгийн хүйтэн ажиглагддаг (Зураг 12а). Агаарын үнэмлэхүй их температур Дорноговийн Замын-Үүдэд 2010 оны 7 сард 42.4°C хүрч халсан бол үнэмлэхүй бага Дундговийн Сайхан-Овоод 2002 оны 12 сард -40.9 хүрч хүйтэрсэн. Жилийн дундаж агаарын температурын агууриг 55°C, үнэмлэхүй их, бага температурын агууриг 83°C байна. Тус нутгаар цасан бүрхүүл 1 дүгээр сараас 2 дугаар сарын хооронд заримдаа бараг тогтохгүй учир хөрсний гадарга дээр 1 дүгээр сараас бусад хугацаанд агаараасаа дулаан, жилийн дулаан улиралд 3-10 дугаар сарын хооронд 2-5°C-аар дулаан байдаг (Зураг 12б).

Хөрсөн дээр хавар 3 дугаар сарын эхний 10 хоногоос 10 дугаар сарын сүүлчийн 2 дугаар 10 хоног хүртэл нийт 220 орчим хоног 0 градусыг дайрч тогтвортой дулаардаг байна.



Зураг 12-а. Агаарын дулаан хүйтний, б-Агаар,хөрсний температурын жилийн явц

Агаарын үнэмлэхүй их, бага температурын хангамжийг Хүснэгт 5-д үзүүлэв. Хүснэгтээс харахад Өмнөговь аймгийн нутгаар агаарын үнэмлэхүй их температур 37.6°C, үнэмлэхүй бага температур -34.1°C хүрч ажиглагдах магадлал 5% буюу 60 жилд 1 удаа тохиолддог бол 32.5°C буюу -24.3°C ажиглагдах магадлал 95% буюу бараг жил болгон тохиолддог байна. Харин Дорноговь нутгаар агаарын үнэмлэхүй их температур 41.2°C, үнэмлэхүй бага температур -37.2°C хүрч ажиглагдах магадлал 5% буюу 60 жилд 1 удаа тохиолддог бол 34°C буюу -26.2°C жил болгон тохиолддог байна.

Хүснэгт 5. Агаарын үнэмлэхүй их, бага температурын хангамж

Станц нэр	Дундаж их, бага	Хангамж (%)							Үнэмлэхүй их, бага
		5	10	25	50	75	90	95	
Даланзадгад	35.1	37.6	37.2	36.0	34.8	34.3	32.9	32.5	39.9

	-29.6	-34.1	-32.8	-31.0	-29.3	-27.1	-25.5	-24.3	-42.3
Сайншанд	37.8	41.2	39.8	38.3	37.5	36.3	35.1	34.0	41.8
	-32.0	-37.2	-35.4	-33.1	-30.7	-29.1	-27.9	-26.2	-44.8
Мандалговь	34.55	38.1	36.5	35.3	34.1	32.6	31.5	30.9	39.6
	-32.3	-36.6	-35.8	-33.5	-32.0	-30.6	-28.5	-27.0	-38.3

Говийн бүс нутгаар хоногийн үнэмлэхүй их температур 30°C -аас давж халсан өдөр жилд дунджаар 40 хоног, хамгийн ихдээ 2013 онд 71 өдөр тохиолдсон ба эдгээр өдрүүдэд үнэмлэхүй их температур 42.4°C хүрч халсан. Харин хоногийн үнэмлэхүй бага температур -25°C -аас давж хүйтэрсэн өдөр жилд дунджаар 17 өдөр, хамгийн ихдээ 1964 онд 51 өдөр тохиолдсон байна. -30°C -ыг давж хүйтэрсэн өдөр жил болгон тохиолдоод байдаггүй ба хамгийн ихдээ 1964, 1968 онуудад 16 өдөр тохиолдсон ба энэ үед үнэмлэхүй бага температур -37.1°C хүрч хүйтэрсэн байна.

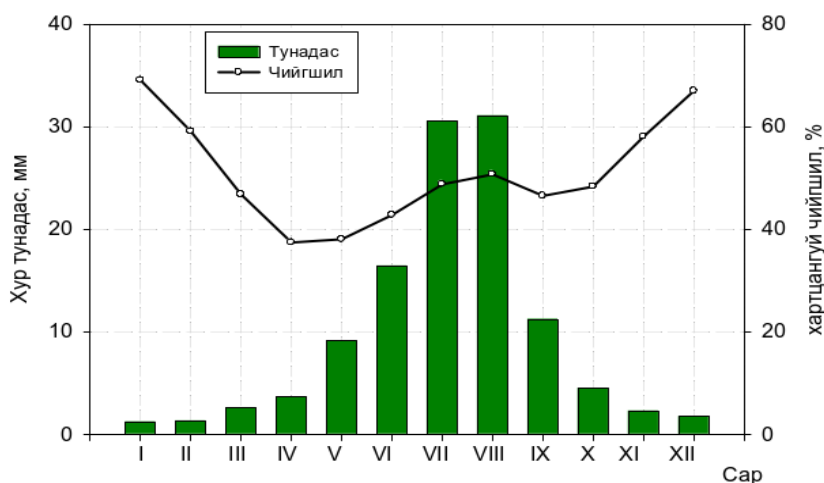
Чийгшлийн горим

Говийн бүс нутгийн хур тунадасны 90% орчим нь жилийн дулаан улиралд /IV-IX сард/ үүнээс зөвхөн 6, 7 дугаар сард 50-60% нь ордог.

Харьцангуй чийг өвлийн улиралд 67-75%, зуны улиралд 42-52% ба хавар салхины хурд ихэсдэгтэй холбоотой чийг багасаж хамгийн бага утгадаа хүрдэг (Зураг 13). 30%-с бага харьцангуй чийгшилтэй хуурай өдрийн тоо 128-132 орчим хоног, харьцангуй чийгшлийн бага утга хаврын улиралд 10%-с доош орж буурах үе байдаг. Жилдээ 30-35 орчим өдөр бороо, 17-20 өдөр цас ордог байна.

Тус нутгаар цасан бүрхүүл ихэнхдээ тогтоод байдаггүй. Цасны дундаж зузаан 1-2 см. Өвлийн ганц сараас бусад хугацаанд малын ундны эх үүсвэр нь ойр орчмын худаг ундны усны цорын ганц эх үүсвэр болно.

2D Graph 5

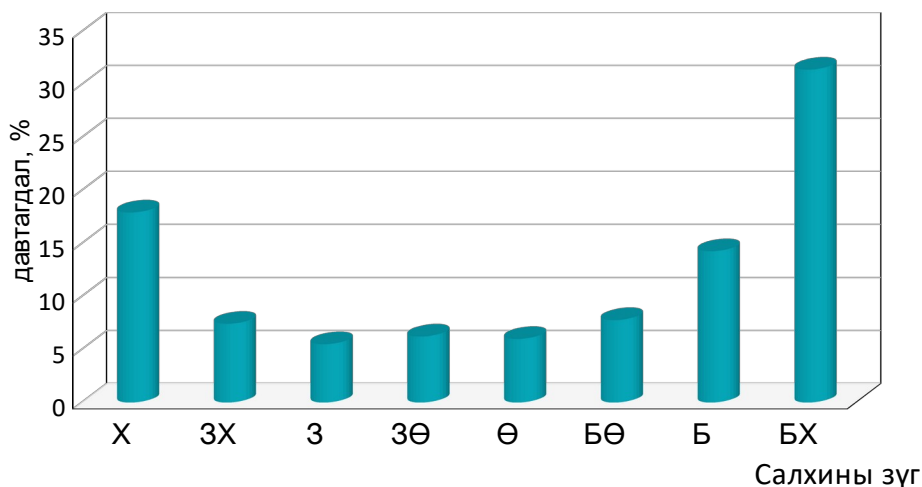


Зураг 13. Жилийн хур тунадасны хуваарилалт болон харьцангуй чийгийн явц

Агаарын даралт, салхины горим

Агаарын даралт нь газар нутгийн өндрөөс хамаарах бөгөөд цаг улирлын байдлаар өөрчлөгдөж байдаг. Хөвсгөл сум орчмын агаарын даралт жилд дунджаар 896.5 гПа, даралтын их утга 11 сард ажиглагдах хамгийн ихдээ 937.7 гПа, хаврын улиралд бага утгадаа хүрэх ба 4 сард хамгийн багадаа 881.5 гПа хүрдэг.

Салхи нь тухайн орон нутгийн онцлог, уул зүй, хотгор гүдгэрээс ихээхэн хамаардаг үзүүлэлт. Мөн дулаан хүйтэн агаар, чийг, үүл зэрэг нь салхиар зөөгдөн нэг газраас нөгөөд шилжих бөгөөд салхины хүч ихсэхтэй холбоотой цасан ба шороон шуурга зэрэг цаг агаарын аюултай үзэгдэл үүсэх тул салхи бол цаг уурын хамгийн чухал хэмжигдэхүүн юм. Говийн бүс нутгийн салхины жилийн дундаж хурд бага 3.0-4.8 м/с ба хаврын улиралд нэмэгдэж 4-6.5 м/с хүрэх бөгөөд энэ үед салхины үнэмлэхүй их хурд 40 м/с хүрдэг (Хүснэгт 6). Жилийн салхины зүгийн давтагдлыг [Зураг 14](#)-т үзүүлэв. Жилдээ баруун хойд зүгийн салхи зонхилж ажиглагддаг бөгөөд өвлийн улиралд энэ чиглэлийн салхины давтагдал 49.5% болж илт давамгайлна. Харин зун нь 22% болж багасаж, зүүн хойд зүгийн салхи ихсэж 17.8% болдог байна. Хүчтэй салхитай өдрийн (15м/с-ээс их салхитай өдөр) тоо жилд дунджаар 35 хоног, хамгийн ихдээ 82 өдөр ажиглагдсан байдаг. Шороон шуургатай өдрийн тоо говийн бүсийн хойд хэсгээр 30-50 өдөр, бусад нутгаар жилд дунджаар 60-70 өдөр ажиглагддаг.



Зураг 14. Жилийн салхины зүгийн давтагдал (%)

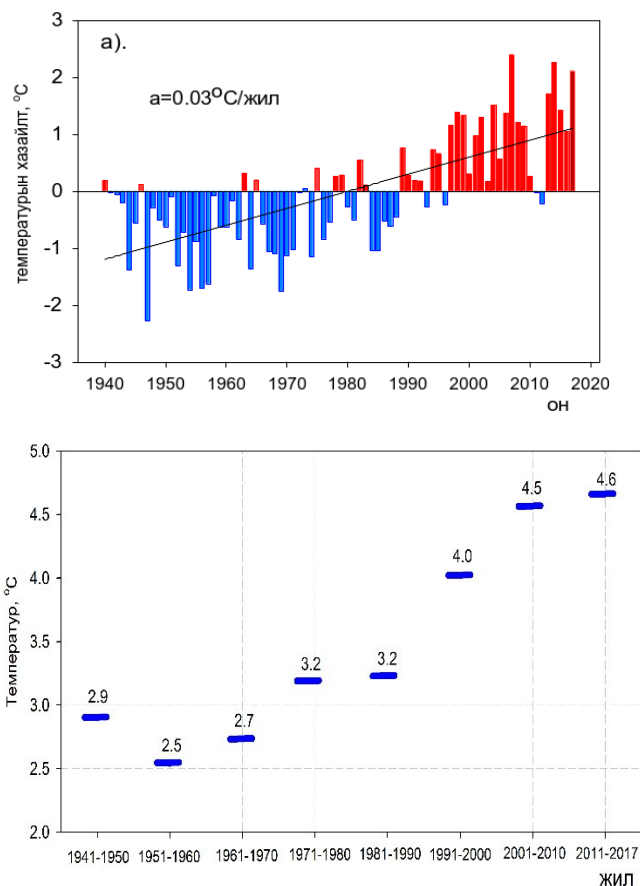
Хүснэгт 6. Сарын дундаж болон үнэмлэхүй их салхины хурд, м/с

Үзүүлэлт	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Жил
Дундаж хурд	3.8	4.2	5.0	5.7	5.6	4.9	4.2	3.8	4.1	4.1	4.2	4.0	4.4
Үнэм/ их хурд	26	26	40	40	34	32	34	24	24	27	24	36	40

2.1.4 Уур амьсгалын өнөөгийн өөрчлөлт

Дэлхийн уур амьсгалын дулааралтын гол хэсэг дээр Монгол орон оршиж байгаа бөгөөд Монгол орны жилийн дундаж агаарын температур 1940-2016 оны хооронд 2.2°C -аар дулаарсан гэж олон судалгааны ажилд тэмдэглэсэн байдаг. Энэхүү дулааралт Монгол орны газар нутаг бүрд харилцан адилгүй илэрч байгаа. Манай орны өмнөд хэсэг болох говийн бүс нутгийн 1940-2017 оны жилийн дундаж агаарын температурын олон жилийн дунджаас (ОЖД гэдэгт 1971-2000 оны дундаж утгыг авав) хазайх хазайлт болон арав арван жилээр дунджилсан утгуудын өөрчлөлтийг [Зураг 15](#)-д үзүүлэв. Зургаас харахад говийн бүс нутгийн жилийн дундаж агаарын температур 1940-2017 оны хооронд 2.28°C -аар дулаарсан ($p < 0.05$ буюу статистик үнэмшилтэй) байна. Харин жилийн дундаж агаарын температурыг 10 жилээр дундажлавч үзэхэд 1990 оноос хойших сүүлийн гурван 10 жилд агаарын дундаж температур эрчимтэй дулаарсан бөгөөд 2010-2017 он хамгийн дулаан, 1951-1960 он хамгийн хүйтэн 10 жил байжээ.

2D Graph 2



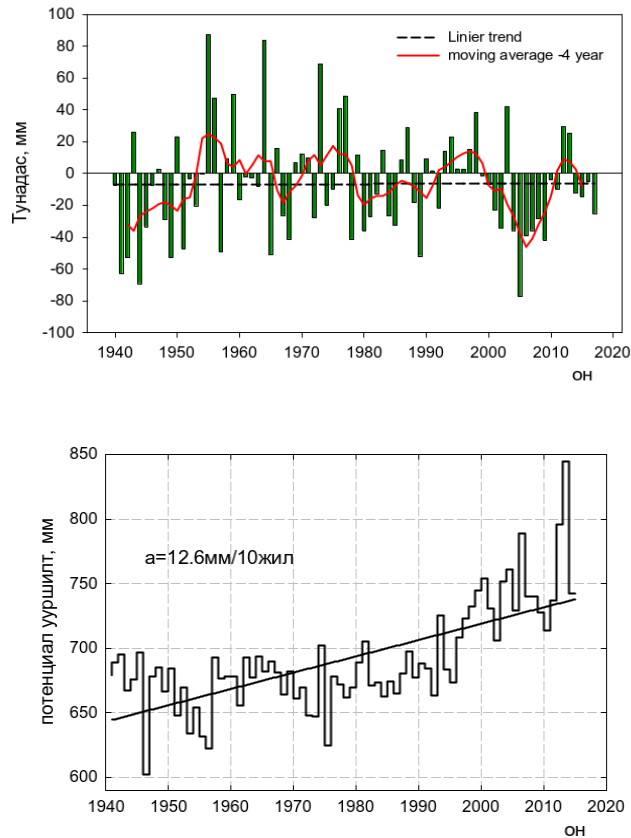
Зураг 15. Жилийн дундаж агаарын температурын ОЖД-аас хазайх хазайлт болон 10 жилээр дундажласан утгуудын өөрчлөлтийн явц (ОЖД гэдэгт 1971-2000 оны дундаж утгыг авав)

Хуурай, гандуу уур амьсгалтай говийн бүс нутагт хур тунадасны экосистемд үзүүлэх нөлөөлөл их. Говийн бүс нутгийн жилийн нийлбэр хур тунадасны ОЖД-аас хазайх хазайлт болон боломжит ууршилтын олон жилийн явцыг [Зураг 16-д](#) үзүүлэв. Сүүлийн 70 гаруй жилийн хугацаанд жилийн нийлбэр хур тунадасны хэмжээ маш их хэлбэлзэлтэй байсан хэдий ч өссөн, буурсан тодорхой хандлага илрээгүй болно.

Иймд хөдөлгөөнт дунджийн аргыг ашиглан ([Мижиддорж нар 2017](#)) хур тунадасны хэлбэлзлийн нам давтамжийн спектрийн зургийн босоо тэнхлэгт жилийн нийлбэр хур тунадасны нормчилсон хазайлтыг үзүүлсэн (улаан шугам). Уг зураг дээр хур тунадасны богино хугацааны хэлбэлзэл эрс багассан нь харагдаж байна. Энэхүү нам давтамжийн спектр дэх жилийн нийлбэр хур тунадасны хэмжээ нь нэлээд олон жилээр дунджаасаа их буюу ахиу, бага буюу татруу байгаа алгуур өөрчлөлтийг илэрхийлж байна. 4 жилээр дунджилсан хур тунадасны өөрчлөлтийг авч үзэхэд ([улаан шугамын өөрчлөлт](#)) 1998-2011 оны хооронд олон жил хур тунадас бага байсан байна. Сүүлийн 2015-2017 оны хооронд мөн говийн бүс нутгаар ОЖД-аас бага хур тунадас оржээ.

Уур амьсгалын дулааралтын улмаас дэвсгэр гадаргын ууршилт 10 жилд 12.6 мм ихсэж, газар нутгийн хувьд илүү их хуурайшилт явагдсаар байна. Мөн сүүлийн 3 жилийн хугацаанд ОЖД-аас бага хур тунадас ([Зураг 16-а](#)) орсонтой холбоотой боломжит ууршилт өмнө нь ажиглагдаж байгаагүйгээр эрс нэмэгдсэн байна.

2D Graph 7



Зураг 16. Жилийн нийлбэр хур тунадасны болон потенциал ууршилтын олон жилийн явц (ОЖД гэдэгт 1971-2000 оны дундаж утгыг авав)

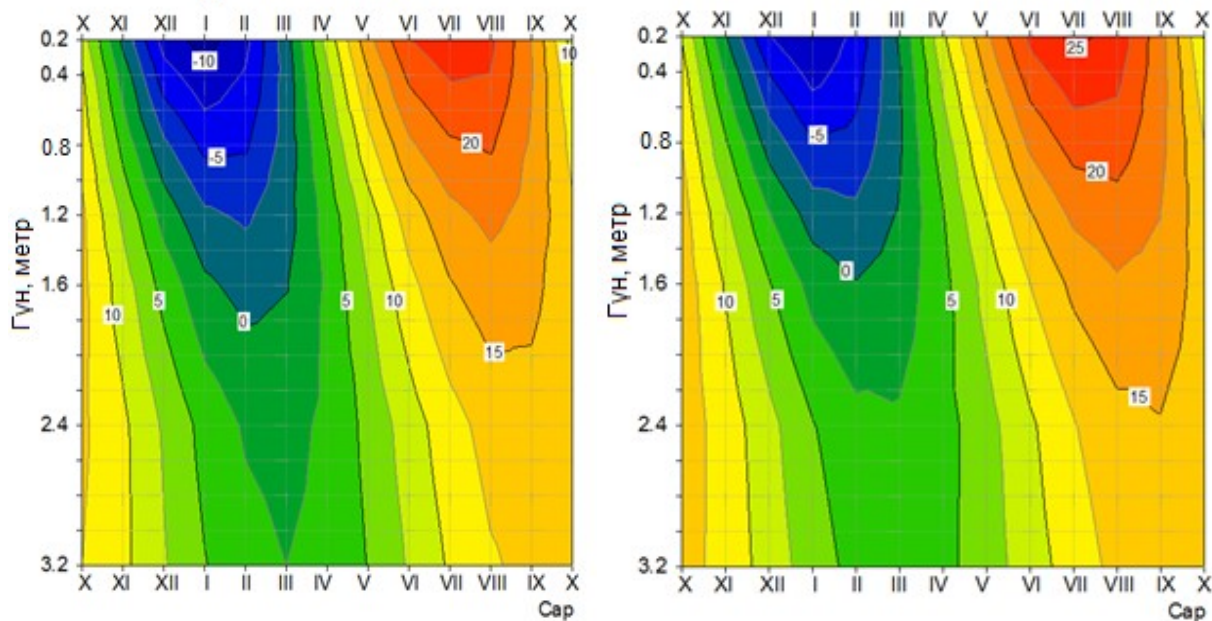
Хөрсний гүний температурын дулааралт

Газрын гүнд дулаан хүйтэн нэвчих нь нутаг орны уур амьсгал, цаг агаарын хэлбэлзэл, хувирал өөрчлөлтийг шууд илэрхийлэгч нэгэн хүчин зүйл болж байдаг. Хөрсний гадаргын дулаан гүн рүүгээ нэвчих замаар түүний онцлог илэрдэг. Гүний температурын хэлбэлзлийн үе хөрсний шинж төлөвөөс үл хамааран аль ч гүнд ижил байдаг. Манай орны хувьд намраас хавар хүртэл хүйтний цөмрөлт, хавраас намар хүртэл дулааны цөмрөлт тэгш хэмтэй ажиглагддаг. Говийн бүс нутгаар хөрсний өнгөн гадаргын хөлдөлт 10 дугаар сарын 28-наас эхэлж 3 сарын 5 хүртэл 127 орчим хоног байдаг ба энэ нь хөрсний механик бүтцээс хамаараад өөр өөр байдаг байна.

Дэлхийн дулаарал хөрсний гүний температурт хэрхэн нөлөөлж байгааг үнэлэхийн тулд Даланзадгад, Сайншанд станцуудын гүний температурын 1961-1990, 1991-2017 оны дунджаар термоизоплетыг байгуулж [Зураг 17](#)-д үзүүлэв.

Говийн бүс нутагт 0°C -ын нэвчих гүн 1961-1990 оны хооронд 1.8 метрийн гүн хүртэл ажиглагддаг байсан бол 1991-2017 онд 1.5 метрийн гүн болж 30 см-ээр

дээшилж, +15 градусын нэвчих гүн 30 см-ээр доошилж гүн рүүгээ дулаарч эрчимтэй явагдаж байна.

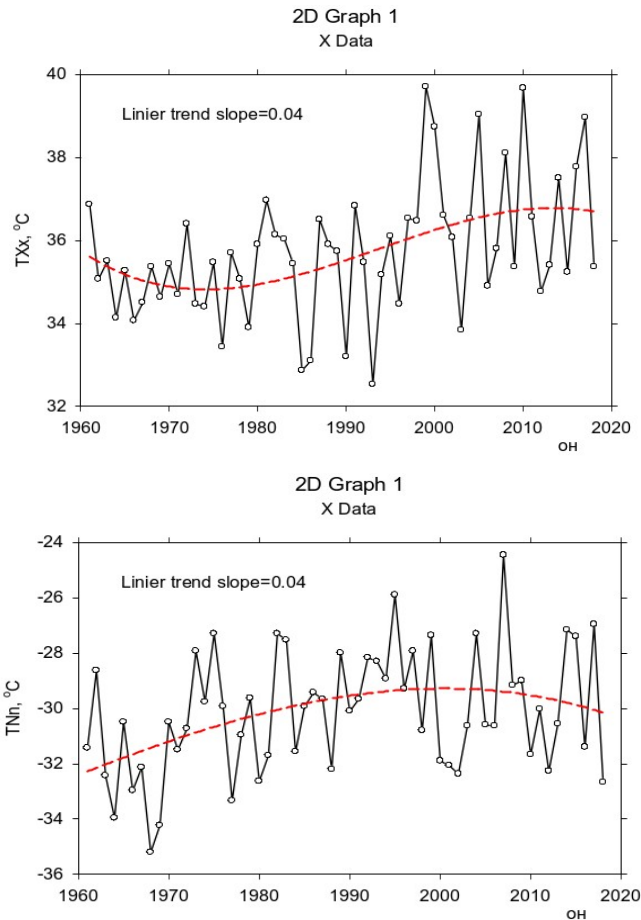


Зураг 17. Говийн бүс нутгийн хөрсний гүний температурын тархалт (1961-1990, 1991-2018)

Экстремаль индексүүдийн олон жилийн өөрчлөлт

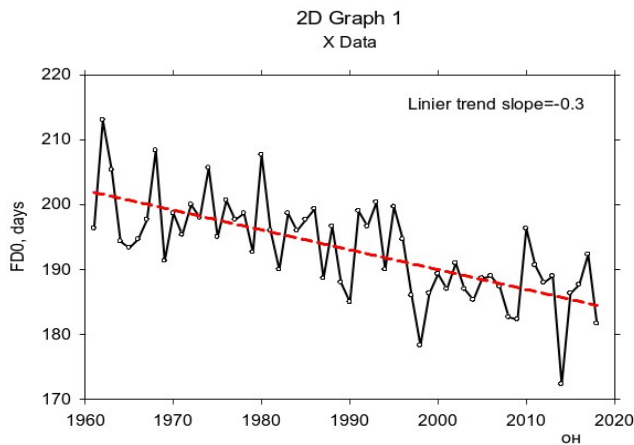
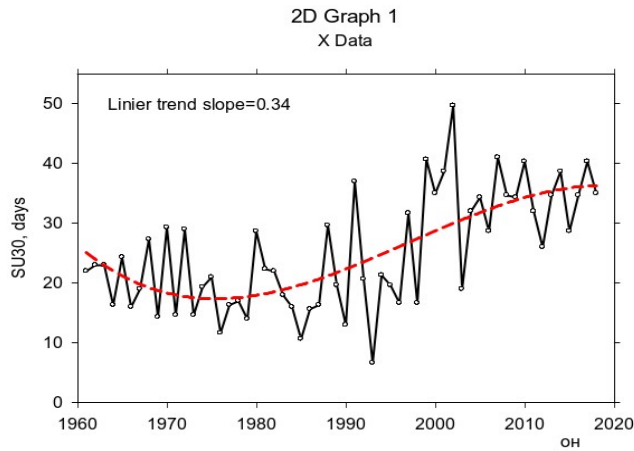
Говийн бүс нутгийн уур амьсгалын экстремаль индексүүдийн хандлагыг тогтоох нь уур амьсгалын өөрчлөлт хурдтай явагдаж байгаа өнөө үед дасан зохицох арга хэмжээ авахад чухал билээ. Ялангуяа байгаль, нийгэм эдийн засгийн салбаруудын эрсдэл, нөлөөллийн үнэлгээ хийхэд агаарын температур, хур тунадасны экстремаль индексүүдийг өргөнөөр ашиглах болсон. Дэлхийн цаг уурын байгууллагын CCI/CLIVAR-ын ажлын хэсгийнхний гаргасан ClimPACT программ хангамжаар максимум, минимум температур болон хур тунадасны 80 гаруй индексийг тооцоолж, эдгээр индексүүдээс говийн бүс нутгийн экосистемд хамгийн их нөлөөлөх 5 индексийг сонгон авсан. Говийн бүс нутгийн агаарын үнэмлэхүй их (TXx), үнэмлэхүй бага (TNn) температур, 30°C-аас халуун (SU30) болон 0 градусаас хүйтэн (FD0) өдрийн тоо, мөн хуурайшилтын индекс (SPI12)-ийн 1961-2018 оны олон жилийн өөрчлөлтийг [Зураг 18-20](#)-д үзүүлэв.

Даян дэлхийн уур амьсгалын дулааралтын улмаас говийн бүс нутгийн агаарын үнэмлэхүй их температур 1996 оноос хойш эрчимтэй дулаарч байгаа бөгөөд 1961-2018 оны хооронд үнэмлэхүй их, бага температур 2.2°C-аар тус тус дулаарсан байна. Агаарын үнэмлэхүй их температур дулаарч байгаатай холбоотой 30 градусаас халуун өдрийн тоо 1961-2018 оны хооронд 19 хоногоор, үнэмлэхүй бага температурын эрчим суларч байгаатай холбоотой 0 градусаас хүйтэн өдрийн тоо 17 хоногоор цөөрсөн байна.

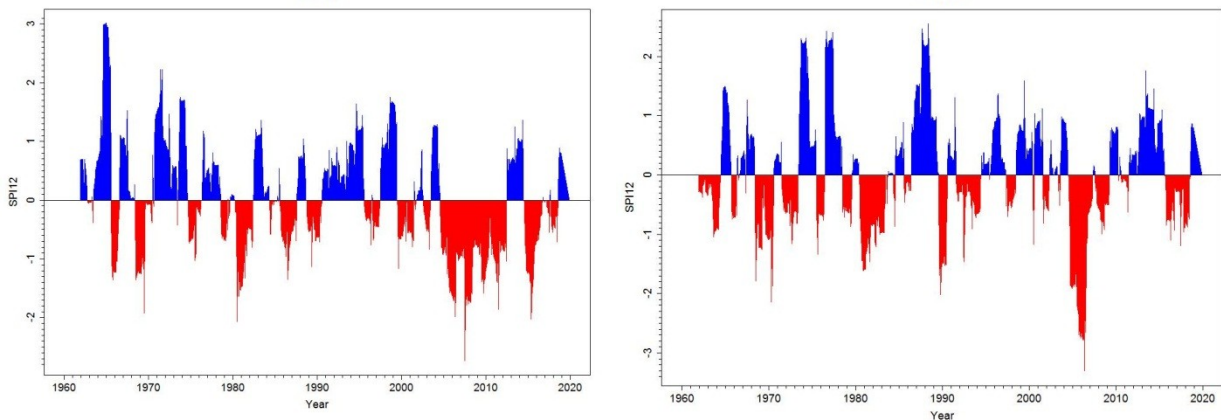


Зураг 18. Агаарын үнэмлэхүй их (TXx), үнэмлэхүй бага (TNn) температурын олон жилийн явц

Цаг уурын ган буюу хуурайшилтыг хур тунадасны стандартчилагдсан индекс (SPI)-ээр тооцоолов. Хуурайшилтын индекс (SPI) нь тухайн жилийн чийглэг болон хуурайшилтыг хэлэх бөгөөд 12 сараар тооцоолсон SPI-ийн өөрчлөлт нь гадаргын ус, нуур цөөрмийн ус татрах, ширгэх зэрэгт нөлөөлдөг чухал үзүүлэлт юм. Говийн бүс нутгийн төлөөлөл болох Сайншанд, Мандалговь станцуудын 12 сараар тооцоолсон хуурайшилтын индексийн 1961-2018 оны олон жилийн явцыг зураг 11-д үзүүлэв. Зургаас харахад говийн бүс нутгаар 1997-2011 оны хооронд хуурайшилтын индекс SPI 1-ээс бага буюу маш их хуурай, 2012-2014, 2018 онуудад 0.6-аас 0.8 хооронд буюу их чийгтэй, 2015-2017 оны хооронд маш их хуурай жилүүд дахин үргэлжилж жижиг нуур, гол ширгэх эрсдэл өндөр байсан байна.



Зураг 19. Халуун (SU30), хүйтэн (FDO) өдрийн олон жилийн явц



Зураг 20. Монгол орны хуурайшилтын индексийн (SPI12) олон жилийн явц

2.1.5 Дүгнэлт

Говийн бүс нутгийн уур амьсгалын онцлог, түүний олон жилийн*/өөрчлөлтийг тодорхойлохдоо говийн 3 аймгийн цаг уурын 17 станцын 1940-2018 оны агаар, хөрсний температур, хур тунадас, харьцангуй чийгшил, салхины хурд, чиглэлийн хоногийн мэдээллийг ашиглав. Говийн бус нутгийн уур

амьсгалын онцлог нь зундаа халуун, хуурай, хур тунадас бага унадаг, нар салхины эрчим хүчний нөөц ихтэй.

Жилийн дундаж температур агаарт 0.3°C - 7.4°C , хөрсөнд 2.4°C -аас 9°C байдаг. Жилд дунджаар 75-150 мм тунадас, хоногт хамгийн их нь 1956 оны 8 дугаар сарын 5-нд Даланзадгадад 137.8 мм тунадас орсон. Говийн бүс нутгаар салхины жилийн дундаж хурд бага 3.0-4.8 м/с ба хаврын улиралд нэмэгдэж 4.0-6.5 м/с хүрэх бөгөөд энэ үед салхины үнэмлэхүй их хурд 40 м/с хүрдэг. Хүчтэй салхитай өдрийн (15м/с-ээс их салхитай өдөр) тоо жилд дунджаар 20-40 хоног ажиглагддаг.

Даян дэлхийн уур амьсгалын дулааралтын улмаас говийн бүс нутгийн жилийн дундаж температур жилийн дундаж агаарын температур 1940-2017 оны хооронд 2.28°C -аар дулаарсан ($p < 0.05$ буюу статистик үнэмшилтэй) ба 2010-2017 он хамгийн дулаан, 1951-1960 он хамгийн хүйтэн 10 жил байжээ.

Сүүлийн 70 гаруй жилийн хугацаанд жилийн нийлбэр хур тунадасны хэмжээ маш их хэлбэлзэлтэй байсан хэдий ч өссөн, буурсан тодорхой хандлага илрээгүй. Иймд жилийн нийлбэр хур тунадасны олон жилийн явцыг 4 жилээр гулсуулан дундажлан авч үзэхэд олон жилээр дунджаасаа их буюу ахиу, бага буюу татруу үед илэрсэн. Энэхүү үеэс үзэхэд 1998-2011, 2015-2017 оны хооронд олон жил хур тунадас бага байсан байна. Харин говийн бүс нутгийн хэмжээнд дэвсгэр гадаргын ууршилт 10 жилд 12.6 мм-ээр ихсэж, газар нутгийн хувьд илүү их хуурайшилт явагдсаар байна. Мөн сүүлийн 3 жилийн хугацаанд ОЖД-аас бага хур тунадас орсонтой холбоотой боломжит ууршилт өмнө нь ажиглагдаж байгаагүйгээр эрс нэмэгдсэн байна.

Хөрсний гүний температурын 0°C -ын нэвчих гүн 1961-1990 оны хооронд 1.8 метрийн гүн хүртэл ажиглагддаг байсан бол 1991-2017 онд 1.5 метрийн гүн болж 30 см-ээр дээшилж, $+15$ градусын нэвчих гүн 30 см-ээр доошилж гүн рүүгээ дулааралт эрчимтэй явагдаж байна.

Говийн бүс нутгийн экосистемд хамгийн их нөлөөлөл үзүүлэх агаарын үнэмлэхүй их (TXx), үнэмлэхүй бага (TNn) температур, 30°C -аас халуун (SU30) болон 0 градусаас хүйтэн (FD0) өдрийн тоо, мөн хуурайшилтын индекс (SPI12) гэсэн 5 экстремаль индексийн өөрчлөлтийг тооцоолсон. Агаарын үнэмлэхүй их температур 1996 оноос хойш эрчимтэй дулаарч байгаа бөгөөд 1961-2018 оны хооронд үнэмлэхүй их, бага температур 2.2°C -аар тус тус дулаарсан. Агаарын үнэмлэхүй их температур дулаарч байгаатай холбоотой 30 градусаас халуун өдрийн тоо 1961-2018 оны хооронд 19 хоногоор, үнэмлэхүй бага температурын эрчим суларч байгаатай холбоотой 0 градусаас хүйтэн өдрийн тоо 17 хоногоор цөөрсөн байна.

Цаг уурын ган буюу хуурайшилтын индексийг Даланзадгад, Сайншанд цаг уурын станцын өгөгдлөөр тооцоолоход говийн бүс нутгаар 1997-оос 2011 оны хооронд хуурайшилтын индекс (SPI) -1-ээс бага буюу маш их хуурай, 2012-2014, 2018 онуудад 0.6-аас 0.8 хооронд буюу их чийгтэй, 2015-2017 оны хооронд маш их хуурай жилүүд болж өнгөрчээ.

2.2 Монголын оронд ажиглагдсан шороон шуурганы тархалт, жил улирлын явц, хандлага

Салхины нөлөөгөөр тоос шороо их хэмжээгээр агаарт хөөрч, үүний улмаас агаар булингартан алсын бараа харагдац эрс буурах үзэгдлийг шороон шуурга гэнэ.

Монгол оронд Ус цаг уурын байгууллагад цаг уурын станцууд байгуулагдаж эхэлсэн 1936 оноос эхлэн шороон шуурганы нүдэн баримжааны ажиглалтыг хийж эхэлсэн бөгөөд цаг уурын ажиглалтын сүлжээ өргөжих хэрээр шороон шуурганы ажиглалт мөн өргөжиж ирсэн юм. 2019 оны байдлаар цаг уурын 136 станц, 180 харуул дээр шороон шуурганы нүдэн баримжааны синоптик ажиглалтыг хийж байна.

Шороон шуурга нь Монголын говь, цөл, цөлөрхөг хээрийн бүсэд хаврын улиралд ихэвчлэн ажиглагдах бөгөөд шороон шуурганы ихэнх нь өдрийн цагт ажиглагдана ([Jugder et al., 2004](#)). Шороон шуурганы үүсэлд агаар мандлын циклоны үйлчлэл гол үүрэг гүйцэтгэхийн зэрэгцээ хөрсний гадаргын байдал чухал үүрэгтэй. Ургамал багатай нүцгэн хөрснөөс тоос шороо хүчтэй салхиар агаарт дэгдэж шороон шуургыг үүсгэнэ. Говийн нутагт шороон шуурга удаан хугацаагаар үргэлжлэн шуурахыг Монголын нүүдэлч малчид эрт цагаас "Угалз" хэмээн нэрлэж иржээ ([Natsagdorj et al., 2003](#)).

Олон төрлийн шалтгаанаар тоос, шороо агаар мандалд дэгдэнэ. Агаар мандал дахь нарийн ширхэгт тоос, эгэл хэсгүүдийг гарал үүслийн хувьд байгалийн болон хүний үйл ажиллагааны гэж ангилна. Байгалийн гаралтайд шороон шуурга, галт уулын дэлбэрэлтийн үнс тоос, ургамлын тоос, далайн давлагаанаас үүсэх давс зэрэг орно ([Jugder et al. 2012](#)). Монгол орны баруун болон өмнөд хэсэг, Хятадын баруун ба хойд хэсэгт орших элсэн манхан, говь, цөлийн бүс нутгууд нь Зүүн хойд Азийн шороон шуурганы гол эх үүсвэр нутаг юм ([Jugder et al. 2012](#), [Shao 2009](#)). Хүний үйл ажиллагаатай холбоотой хотжилт, үйлдвэржилт, байгалийн нөөц ашиглалт зэргээс утаа, тортог, тоос, химийн элемент нэгдлүүд агаарт дэгдэнэ ([Jugder et al. 2012](#)). Шороон шуурганы үед хөрсний гадаргуугийн шороонд байгаа нян бактери, вирус, мөөгөнцөр шороо тоостой хамт агаарт дэгдэж био-аэрозолыг буй болгох бөгөөд сүүлийн үед био-аэрозолын хэмжилт судалгаа судлаачдын анхаарлыг татаж нэлээд хийгдэж байна ([Maki et al. 2008, 2017, 2018, Noda et al. 2019](#)).

Иймээс зүүн хойд Азийн шороон шуурганы эх үүсвэр нутгийн нэг хэсэг болох Монгол орны нутагт ажиглагдсан шороон шуурганы уур амьсгалын горим, явц хандлагыг сүүлийн үеийн хэмжилтийн мэдээгээр өргөтгөн гаргах, шилжилт хөдөлгөөнийг агаар мандлын хөдөлгөөний загвараар нарийвчлан судлах зорилго тавин энэхүү судалгааг хийсэн болно.

2.2.1 Ашигласан мэдээ, судалгааны арга

Шороон шуурганы уур амьсгалын онцлогийг тодруулан судлахын тулд энэхүү судалгаанд цаг уурын тулгуур 32-85 станцын 1960-2019 оны өдөр тутмын ажиглалтын мэдээг ашиглав.

Шороон шуурганы давтагдал нь хөрс ургамлын онцлог, салхины горимоор тодорхойлогдохын дээр нэгэнт цаг уурын станц дээр энэ үзэгдлийг нүдэн баримжаагаар ажиглах тул ажиглалтын цувааны нэг төрлийн байдал нь тэр үед хэрэглэж байсан салхи хэмжих багаж, ажиглалтын заавар, дүрэм тэр байтугай ажиглагчийн мэргэжил чадвараас ч хамаарна ([Natsagdorj et al. 2003](#)). Тухайлбал, Говь-Алтайн Тонхил 1986-2019 онд ихэвчлэн явган шороон шуурга ажиглаад, шороон шуургыг хэдхэн удаа ажигласан, Бугат станц 1993-2019 онд голдуу явган шороон шуургыг ажиглаад, шороон шуурга бараг ажиглаагүй, Ховдын Байтаг 2010-2013 онд зөвхөн явган шороон шуурга ажигласан, Өмнөговийн Булганы Сайхан станц 1994-2019 онд явган шороон шуургыг бараг ажиглаагүй байх жишээтэй. Иймээс явган шороон шуурга болон шороон шуургыг нийлүүлэн авч үзэж шороо хийсдэг өдрийн тоог гарган судалгаанд ашиглав.

1960-1989 оноор дундажлан явган шороон шуургатай өдрийн тоо, шороон шуургатай өдрийн тоо, шороо хийсдэг өдрийн тоогоор зураглал хийсэн үр дүнгээс оруулав ([Natsagdorj et al. 2003](#)). Мөн шороо хийсдэг өдрийн тоог 1960-2008 оноор гаргаж Монголын үндэсний атласт (2009) хэвлүүлсэн үр дүнг оруулав.

Шороо хийсдэг өдрийн тооны жил улирлын явц, олон жилийн хандлагыг цаг уурын тулгуур 32 станцын 1960-2019 оны өдөр тутмын ажиглалтын мэдээнд статистик боловсруулалт хийж гаргав.

2.2.2 Судалгааны үр дүн

Шороон шуургатай өдрийн тоо

Шороон шуургатай өдрийн тооны олон жилийн давтагдлын газар зүйн тархцыг Нацагдорж нар (2003, 2006) хийсэн. Энэ судалгаагаар шороон шуургатай өдрийн тоо Хангай, Хөвсгөл, Хэнтийн уулархаг нутгаар жилд 5 өдрөөс цөөн, Их нууруудын хотгорт 10-17 өдөр, говь, цөл, цөлжүү хээрийн бүсэд 20-37 өдөр болж байна. Монголын говийн бүсэд шороон шуурганы давтагдал ихтэй 3 муж илэрсэн нь Алтайн цаад говь, Өмнөговийн Улаан нуурын орчим, Замын-Үүдийн орчим болно. Харин хөрс нь хүний үйл ажиллагааны улмаас ихээхэн эвдэрсэн хот суурин газар орчноо бодвол шороон шуурга олонтоо тохиолдож байна. Энд Мөрөн, Булган, Хараа, Улаанбаатар, Биндэр зэрэг хот суурин газрыг нэрлэж болно ([Natsagdorj et al. 2003](#), [Нацагдорж нар 2006](#)).

Явган шороон шуургатай өдрийн тоо

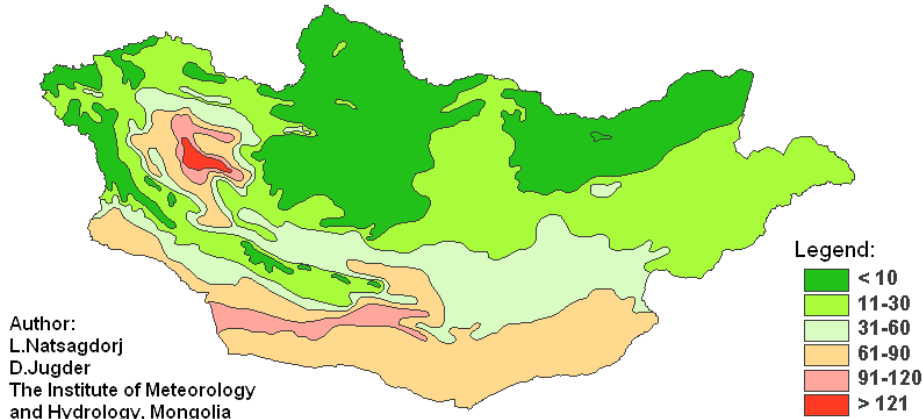
Явган шороон шуургатай өдрийн газар зүйн тархцыг Нацагдорж нар (2003, 2006) хийсэн байна ([Нацагдорж нар 2006](#)). Явган шороон шуургатай өдрийн тоо нь шороон шуурганы давтагдлаас олон, ялангуяа хамгийн их утга нь Монгол элсний орчинд (Дөрвөлжин станцын мэдээгээр 110 өдөр), Алтайн цаад говь, Замын-Үүдийн болон Арц Богдын орчим 60-70 өдөр хүрдэг байна. Явган шороон шуургатай өдрийн тоонд мөн хот суурины нөлөө илүү тод илэрч байна. Тухайлбал хотын дотор орших Улаанбаатар станцад дунджаар 16.3 өдөр явган шороон шуурга шуурч байхад Буянт-Ухаад 4.2 өдөр явган шороон шуурга тохиолдож байна ([Natsagdorj et al. 2003](#), [Нацагдорж нар 2006](#)).

Шороон хийсдэг өдрийн тоо

Нацагдорж нар (2003, 2006) шороон болон явган шуургатай өдрийн тооны нийлбэрийг авч шороо хийсдэг өдрийн тоо гэж нэрлэж зураг үйлджээ (Зураг 20). Шороо хийсдэг өдрийн тоо Хангай, Хэнтий, Хөвсгөлийн уулархаг нутгаар 10 өдрөөс цөөн, Их хувиурдун хөтгөр, говь цөлийн бүс нутгаар 61-127 өдөр, Алтайн цаад говьд 91-120 өдөр, Алтайн цөлийн бүс нутгаар 11-30 өдөр байна. (Natsagdorj et al. 2003, 2006)

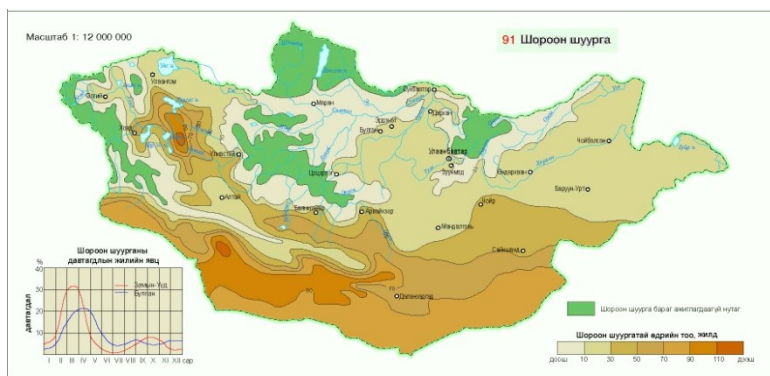
Зураг 20.

Мөн үндэсний тоо Алтай цөлийн бүс говь, Монгол үндэсний



2003

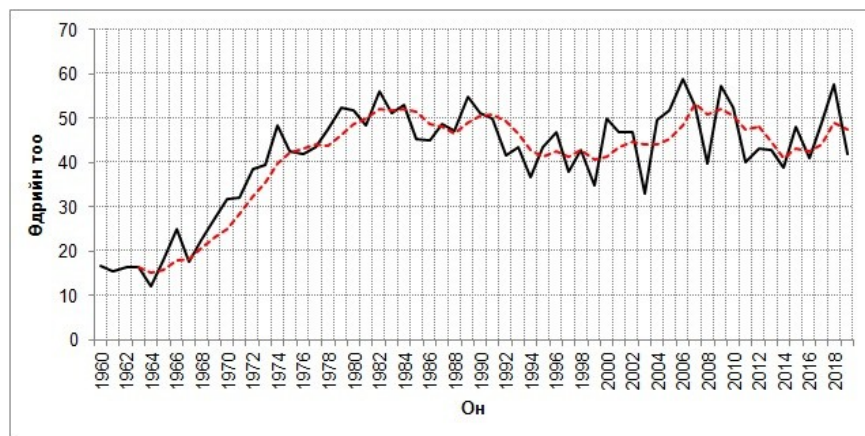
Монголын өдрийн эн, говь, цөлийн өвөр Монголын



Зураг 22. Шороон шуурганы тархалт (1960-2008)

Шороон шуурганы олон жилийн явц, хандлага

Явган шороон шуургатай болон шороон шуургатай өдрийн тоог нийлүүлэн шороо хийсдэг өдрийн тоо гэж үзэв. Шороо хийсдэг өдрийн тооны олон жилийн явц, хандлагыг Монгол орны цаг уурын тулгуур 32 станцын 1960-2019 оны мэдээгээр гаргав (Зураг 23). Зурагт шулуун хар зураасаар шороо хийсдэг өдрийн тоо, тасархай улаан зураасаар 4 алхамт хөвөгч дунджаар жигдрүүлсэн утгыг тэмдэглэв. Шороо хийсдэг өдрийн тоог 4 жилээр гулсуулан жигдрүүлж харахад 1960-1990, 2000-2007, 2015-2018 онд өссөн, 1991-1999, 2010-2014 онд буурсан хандлага харагдаж байна.



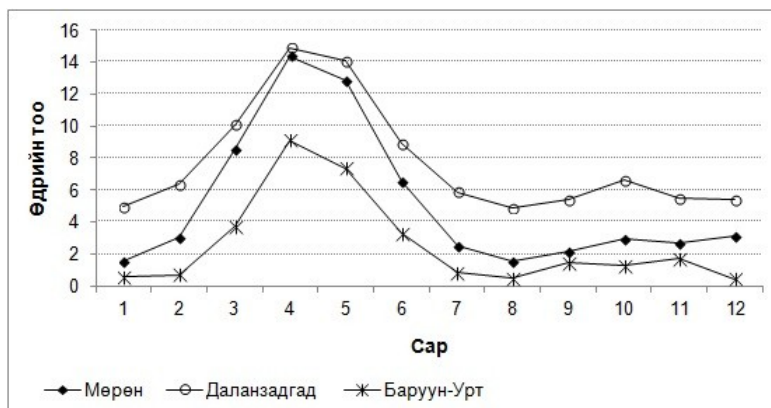
Зураг 23. Шороон шуургатай өдрийн тооны олон жилийн явц, хандлага (1960-2019 он)

Тайлбар: Шулуун хар зураас нь шороо хийсдэг өдрийн тоо, тасархай улаан зураас нь 4 алхамт хөвөгч дунджаар жигдрүүлсэн утга.

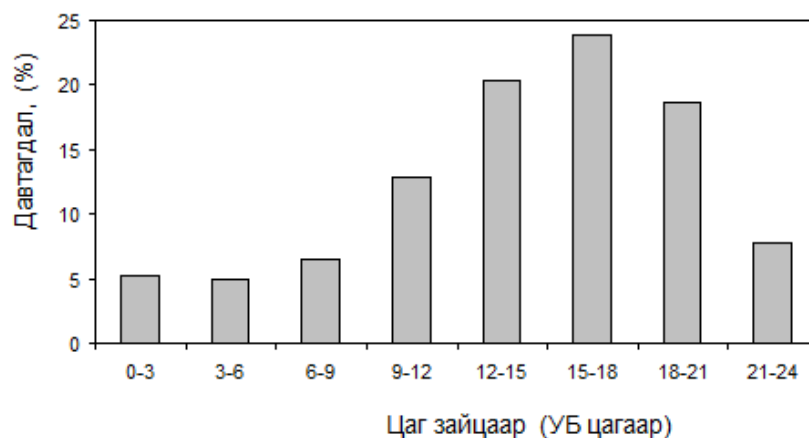
Шороон шуурганы жилийн ба хоногийн явц

Монгол оронд шороон шуурга тодорхой илэрсэн жилийн явцтай. Дундад өргөргийн фронтын бүс хойш урагш шилжих, үүнтэй холбоотой циклоны үйлчлэл ихэсдэгээс шороон шуурганы хамгийн их давтагдал (61%) хавар тохиолдох ба хоёр дахь их утга нь намар 10, 11 дүгээр сард тохиолдоно (Natsagdorj et al. 2003).

Шороон шуурганы жилийн явцыг шороон шуургатай өдрийн тоогоор говь (Даланзадгад), тал хээр (Баруун-Урт), хангайн бүсийн (Мөрөн) нэг нэг станцуудаар төлөөлүүлэн авч [Зураг 24](#)-д үзүүлэв. Говь, хээр тал, хангайн бүсэд шороон шуурга 3-5 сард хамгийн их тохиолдож байгаа нь зургаас харагдаж байна (Зураг 23).



Зураг 24. Шороон шуурганы жилийн явц (өдрийн тоогоор, 1986-2019)



Зураг 25. Говийн нутаг дээрх шороон шуурганы хоногийн явц, хаврын улирлаар

Монгол орны тал, хээр, говийн бүс нутагт шороон шуурга тодорхой илэрсэн хоногийн явцтай (Зураг 24). Шороон шуурганы хоногийн явцыг авч үзвэл өдрийн цагт ихсэж, шөнийн цагт багасдаг зүй тогтолтой. Өдрийн цагт хөрс халахтай уялдан агаарын тогтворгүйшил ихсэж салхины хурд ихсэж шороо босох нь их байх ба шөнийн цагт эсрэг байдаг (Natsagdorj et al. 2003). Говийн нутаг дээрх шороон шуурганы хаврын улирлын хоногийн явцыг гурван цагийн зайцаар гаргаж үзэхэд шороон шуурганы давтагдал үдийн 12 цагаас оройны 18 цагийн хооронд хамгийн их байна (Зураг 25).

2.2.3 Дүгнэлт

Шороон шуургатай өдрийн тоо манай орны Хангай, Хэнтий, Алтайн уулархаг бүс нутагт 5 өдрөөс цөөн, говийн бүс болон Их нууруудын хотгорт 20 өдрөөс олон үүний дотор Алтайн өвөр говь, Өмнөговь аймгийн Булган сум орчим, Дорноговийн Замын-Үүд орчимд 30-37 өдөр хүрч байна.

Явган шороон шуургатай өдрийн тоо Алтай, Хангай, Хөвсгөл, Хэнтийн уулархаг бүс нутагт 10 өдрөөс цөөн, говь цөл, цөлжүү хээрийн бүс нутаг болон Их нууруудын хотгорт 20 өдрөөс олон, үүний дотор Их нууруудын хотгорт орших Монгол элсний орчим, Алтайн өвөр говьд 61-110 өдөр хүрдэг. Шороо хийсдэг өдрийн тоог авч үзвэл манай орны говь цөлийн бүс нутаг болон Их нууруудын хотгорт 61-127 өдөр шороогоор шуурч байгаа ба Монгол оронд шороон шуурганы 61% нь хаврын улиралд ихэвчлэн үд дунд, үдээс хойш тохиолддог байна. Шороон шуургатай өдрийн тооны хандлагыг 1960-2019 оноор цаг уурын 32 станцын ажиглалтын мэдээгээр гаргасан нь энэхүү судалгааны ажлын нэг шинэ үр дүн юм. Шороон шуурга Монгол орны нутаг дээр 1960-аад оноос ерээд он хүртэл 3 дахин өссөн бөгөөд 2000-2007, 2015-2018 онд өсөх хандлагатай, 1991-1999, 2010-2014 онд буурсан хандлага харагдаж байна.

2.3 Агаар мандал дахь бага хольцтой хийн хэмжилтэд дүн шинжилгээ хийх, нарны цацрагт нөлөөлөх байдлыг судлах

Агаар мандал нь 78 хувийн азот, 21 хувийн хүчилтөрөгч, 1 хувийг аргон гэж үздэг бөгөөд усны уур бол агаар мандлын гол бүрэлдүүлэгч болж байдаг. Үүнээс гадна 1 орчим хувийг бага хольцтой хий эзэлдэг. Эдгээр хийнүүд нь агаар мандлын цацрагийн тэнцлийг тэнцвэржүүлэх, химийн хувиралд гол үүрэг гүйцэтгэдэг. Эдгээр хийг хүлэмжийн хий ($\text{CO}_2, \text{CH}_4, \text{N}_2\text{O}, \text{SF}_6$) болон агаар бохирдуулах хий ($\text{SO}_2, \text{NO}_x, \text{CO}, \text{O}_3..$) гэж ангилдаг. Сүүлийн 2 зуун жилд энэ хийнүүдийн хэмжээ маш түргэн өсөж байна. (John H. Sheinfeld, 1998).

Нарнаас ирж буй цацрагийг дэлхийн гадарга шингээгээд түүнийгээ урт долгионт цацраг болгон хий мандал руу цацаргадаг. Агаар мандалд агуулагдаж байгаа зарим хийнүүд энэ урт долгионт цацрагийг өөртөө шингээж, дэлхийн гадарга руу буцааж цацаргадаг бөгөөд үүний нөлөөгөөр агаар мандалд нэмэлт дулааралт бий болохыг хүлэмжийн үзэгдэл гэдэг бөгөөд эдгээр хийнүүдийг хүлэмжийн хий гэж нэрлэдэг.

Эдгээр хийнүүдэд нүүрсхүчлийн хий / CO_2 /, усны уур / H_2O /, метан буюу намгийн хий / CH_4 /, хлор –фторт нүүрс төрөгч/ CFCl -ийн нэгдлүүд, азотын исэл, озон зэрэг хийнүүд ордог байна. Хүлэмжийн үзэгдэл үүсэж нэмэлт дулааралт бий болгоход 36-70 хувь нь усны уур, 9-26 хувь нь нүүрсхүчлийн хий, 4-9 хувь метан, 3-7 хувь (John H. Sheinfeld, 1998) озоны нөлөөлөл байдаг гэж үздэг байна.

Хүлэмжийн хийнүүд нь байгаль дээр байхаас гадна хүний үйл ажиллагааны улмаас агаарт маш их хэмжээгээр ялгарч байна. Жишээлбэл: Нүүрсхүчлийн хийн хувьд түлшний шаталтаас голдуу агаарт ялгардаг. Метан нь газар тариалан, мал аж ахуйн үйл ажиллагаатай холбоотой үүсдэг. (Д.Оюунчимэг, 2007). Агаар мандал дахь хүлэмжийн хийн хэмжээ нь дэлхийн бөмбөрцгийн түүхийн туршид хувирч өөрчлөгдсөөр иржээ. Үйлдвэржилтийн өмнөх үед нүүрсхүчлийн хийн агууламж 280 ppm байснаа одоогийн байдлаар 100 гаруй ppm-ээр нэмэгдсэн байна. Хүлэмжийн хийн чиглэлээр хийгдэж байгаа судалгаанууд нь уур амьсгалын өөрчлөлтийн судалгаа түүний хандлагыг даган ерөнхий хандлагыг харуулах чиглэлээр явагдаж байгаа бөгөөд богино хугацааны өөрчлөлт, тухайн орон нутгийн онцлог, хил дамжсан зөөгдөл зэргийг харгалзан үзэж хийсэн судалгаа ховор байна. Дэлхийн уур амьсгал хэзээ ч тогтвортой байдаггүй нь олон учир шалтгаантай бөгөөд үүний нэг нь хүн төрөлхтний үйл ажиллагааны улмаас агаар мандал дахь бага хольцтой хийн болон аэрозолын агууламж өссөн явдал юм. ХХ зуунаас хүний үйл ажиллагаатай холбоотой бага хольцтой хийн агууламж ихсэж байна гэсэн ерөнхий дүгнэлттэй байсан бөгөөд галт уулын дэлбэрэлт, газар хөдлөлт, далай тэнгисийн хэлбэлзэл, усан дотор болж буй өөрчлөлтүүд зэрэг байгалийн хүчин зүйлүүдтэй холбож үнэлсэн үзүүлэлтүүд байдаггүй.

Хүрээлэн буй орчны хэмжилт судалгаа нь уур амьсгал ба түүний өөрчлөлтийг судлахад зайлшгүй шаардлагатай юм (Жамсуева, 2009).

Монгол орны говийн бүс нь агаарын чанарт нөлөөлөх хүний үйл ажиллагааны нөлөөлөл харьцангуй бага учраас суурь хэмжилт судалгаа хийхэд тохиромжтой бүс нутаг юм.

Сүүлийн жилүүдэд эрдэмтдийн судалгаа байгаль орчны болон уур амьсгалын өөрчлөлтийн холбоо түүний биосфер ба нийгэмд үзүүлж буй нөлөөллийг судлахад ихээхэн анхаарлаа хандуулж байна

Иймд өөрийн орон нутгийн хувьд эдгээр хийн агууламж хир өөрчлөгдөж байгаа, хил дамжсан зөөгдөл байгаа эсэхийг тодорхойлох, тухайн орон нутгийн онцлог тухайн хийн агууламжид хэрхэн нөлөөлж байгаа зэргийг нарийвчлан судлах шаардлагатай байна.

Энэ ажлын хүрээнд Говийн бүсэд агаар мандалд агуулагдах бага хольцтой хий болон аэрзолын оптик шинж чанарын талаар өмнө хийгдсэн судалгааны үр дүнгүүд хэмжилтүүд болон нэмэлтээр өөрсдийн хийсэн хэмжилт судалгааны үр дүнд үндэслэн олон жилийн өөрчлөлт хандлага онцлогийг гаргах, нарны хэт ягаан туяаны өөрчлөлт болон агаар мандал дахь аэрозолын нарны цацрагт нөлөөлж байгаа нөлөөллийг судлах оролдлого хийлээ.

2.3.1 Ашигласан мэдээ

Монгол орны говийн бүсийн агаарын чанарын харуулууд дээр хийгдсэн хяналт мониторингийн сүлжээний мэдээлэл, AERONET-ийн сүлжээнд тасралтгүй хийгдсэн ажиглалтын сүлжээний мэдээлэл, хүлэмжийн хийн чиглэлээр Улаан-Уул станц дээр хийгдсэн мэдээлэл болон өөрсдийн хэмжилт туршилт хийсэн доорх мэдээ мэдээллийг ашиглав. Үүнд:

- Дорноговь аймгийн Эрдэнэ сумын Улаан-Уул хүлэмжийн хийн станцын 1992-2018 оны агаар дахь хүлэмжийн хий болох нүүрс хүчлийн (CO_2), хий намгийн хий (CH_4) 6 фторт хүхрийн (SF_6) мэдээ
- Өмнөговь аймгийн Даланзадгад дахь AERONET ийн сүлжээний нарны фотометрийн 1997-2018 оны бүх долгионы урт дахь мэдээ
- Дундговь, Дорноговь, Өмнөговь аймгуудын төв дэх агаарын чанарын харуул нь өдөр бүр 08, 14, 20 цагт агаарыг 20 минутын турш /рмп-аар/ соруулан агаар дахь хүхэрлэг хий (SO_2), азотын давхар (NO_2) ислийг лабораторидоо тодорхойлдог. Сайншандын 2000-2018, Мандалговийн 1996-2018, Даланзадгадын 2013-2018 оны хүхэрлэг хий (SO_2), азотын давхар (NO_2) ислийн агууламжийн хэмжилтийн мэдээ
- 2019 оны 7 дугаар сарын 23-нас 8 дугаар сарын 3-ы хооронд Дорноговь аймгийн Эрдэнэ сум, Сайншандад хийсэн хэт ягаан туяаны хэмжилтийн 10 минут тутмын мэдээ, Dust track-аар 24 цаг тасралтгүй хэмжсэн PM_{10} -н агууламжийн мэдээ, аспиратороор 20 мин соруулж авсан дээжид дүн шинжилгээ хийсэн өглөө, өдөр оройн мэдээ болон өмнө судлагдсан судалгааны үр дүнгүүд бусад материалууд

Хэмжилтэд хэрэглэгдэж буй багаж төхөөрөмжүүд

Дээрх хэмжилт судалгаануудад ашиглагдсан багаж тоног төхөөрөмжүүдийг тоймлон үзүүлбэл

- Хүлэмжийн хийн станцын дээж авах төхөөрөмж



а)



б)

Зураг 26. а) Хүлэмжийн дээж авч байгаа байдал б) дээж соруулах компрессор ба агуулах шилэн савууд

- Аэрозолын оптик зузааныг тодорхойлох багаж



Зураг 27. Нарны фотометр

Нарны фотометер нь нарнаас ирж буй цацрагийн шинж чанарт үндэслэн агаар мандал дахь аэрозолын оптик зузааныг шинж чанар, хэмжээнээс нь хамааруулж гэрлийн олон мужид тасралтгүй тодорхойлдог.



Зураг 28. Хэт ягаан туяаны индекс хэмжих Solarmeter ба автомат цаг уурын станц

Solarmeter нь агаар мандал дахь хэт ягаан туяаны хэмжээг индексээр илэрхийлэн шууд хэмждэг. Цаг уурын автомат станц нь агаарын температур, чийг даралт, салхины хурд зэргийг тасралтгүй хэмжих боломжтой. Энэ багажуудыг 2019 оны 7 дугаар сарын 23-8 дугаар сарын 2 ны хооронд явуул судалгаанд ашигласан.



Зураг 29. Агаар мандал дахь тоосонцрыг тасралтгүй хэмжигч Dust track

Dust track нь агаар мандал дахь аэрозолийг хэмжээгээр ялган агууламжаар тодорхойлдог багаж юм. Энэ багажийг 2019 оны 7 дугаар сарын 23-8 дугаар сарын 2-ны хооронд явуул судалгаанд ашигласан ба 10мкм-с бага хэмжээтэй тоосонцрыг 10 минутаар тасралтгүй 24 цагаар хэмжилт хийсэн.

Явуул судалгаагаар хийсэн хэмжилтүүд

Цаг Агаар Орчны Тоон Загварчлал Судалгааны Хэлтсийн эрдэм шинжилгээний ажилтан Д.Оюунчимэг, инженер Б.Баасанжаргал нар 2019 оны 7 дугаар сарын 23-аас 8 дугаар сарын 3-ы хооронд батлагдсан удирдамжийн дагуу Говийн бүсийг төлөөлүүлэн Дорноговь аймгийн Сайншанд, Эрдэнэ сумдад агаар мандлын физик химийн шинж чанарт үндэслэн бага хольцтой хийн хэмжилт, нарны хэт ягаан туяаны хэмжилт, 10 мкм-ээ бага хэмжээтэй аэрозолийн хэмжилт. Бусад цаг уурын элементүүдийн хэмжилтийг 10 хоногийн турш 10 минутын зайцтайгаар хийлээ. 2019 оны 07 дугаар сарын 23-25-нд Дорноговь аймгийн Эрдэнэ сумын нутагт өглөөний 06 цагаас 19 цаг хүртэл тасралтгүй нарны хэт ягаан туяаг UVI радиометр багажаар. Агаарын температур, чийг, даралт, салхины зүг хурд дулааны индексийг цаг уурын зөөврийн автомат хэмжигчээр 10 минут тутам хэмжсэн. 7 дугаар сарын 24 ний өдөр хүлэмжийн хийн дээжийг 2 давталттайгаар тусгай сонгосон хадан дээрээс авч бусад хэмжилтийг хамт хийлээ.

2.3.2 Судалгааны арга зүй

Аэрозолын оптик зузаан (AOD) гэдэг нь газрын гадаргаас агаар мандлын дээд хил хүртэл баганаар хэмжигдэж байгаа аэрозолын хэмжээг илэрхийлдэг. (хотын униар, утаа, говийн тоос шороо, далайн давс гм). Аэрозолын оптик зузааныг тодорхойлохдоо нарны фотометрийн хэмжиж байгаа хүчдэл $V(\lambda)$ нь тухайн багажид ирж байгаа цацрагийн хэмжээтэй шууд хамааралтай. V_0 -ийг агаар мандлын дээд хил дээр ирж байгаа цацрагийн эрчимжилд харгалзуулан тооцоолсон утга

- Beer-Lambert-Bouguer ийн хуулиар :
- $V(\lambda) = V_0(\lambda) \exp[-\tau(\lambda)(total) * m]$ (34)
- $\tau(\lambda)_{Aerosol} = \tau(\lambda)_{total} - \tau(\lambda)_{water} - \tau(\lambda)_{Rayleigh} - \tau(\lambda)_{O_3} - \tau(\lambda)_{NO_2} - \tau(\lambda)_{CO_2} - \tau(\lambda)_{CH_4}$] (35)

Дээрх тэгшитгэлд үндэслэн нийлбэр хэмжилтээс аэрозолын утгыг ялгаж авсан болно. Бусад мэдээллийг статистик аргаар боловсруулав.

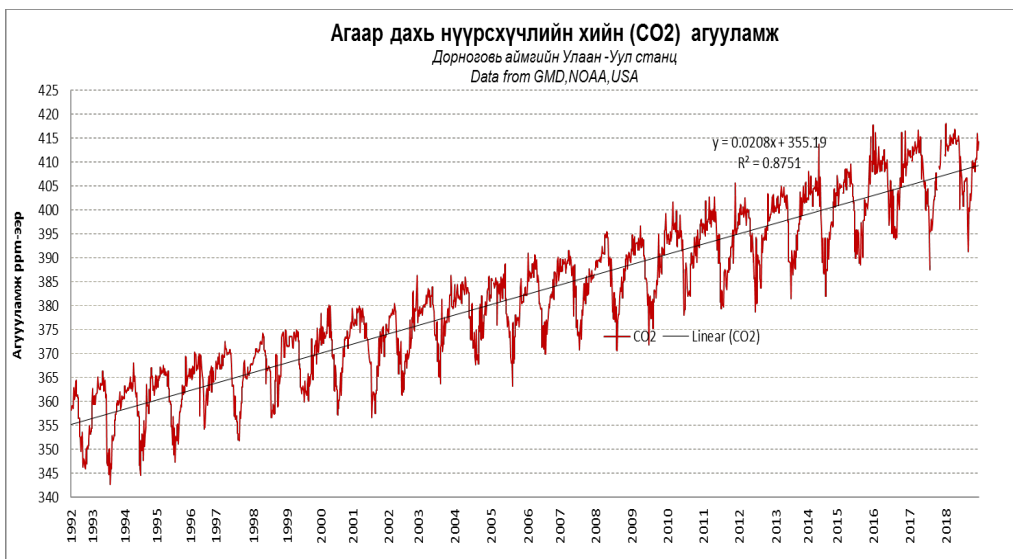
2.3.3 Судалгааны үр дүн

Говийн бүсэд бага хольцтой хийн талаар өмнө хийгдсэн судалгаа шинжилгээний ажлууд болон одоо хийдгэж байгаа хяналт шинжилгээний үр дүн, өөрсдийн хийсэн явуул судалгааны үр дүнд үндэслэн дараах ажлуудыг хийлээ.

Дорноговь аймгийн Эрдэнэ сумын нутагт 1992 оноос хойш хийгдэж буй хүлэмжийн хийн дээжийн мэдээнд чанарын шалгалт, дүн шинжилгээ хийж нүүрсхүчлийн хий (CO_2), намгийн хий (CH_4), 6 фторт хүхэр (SF_6) олон жилийн өөрчлөлт хандлагыг гаргав.

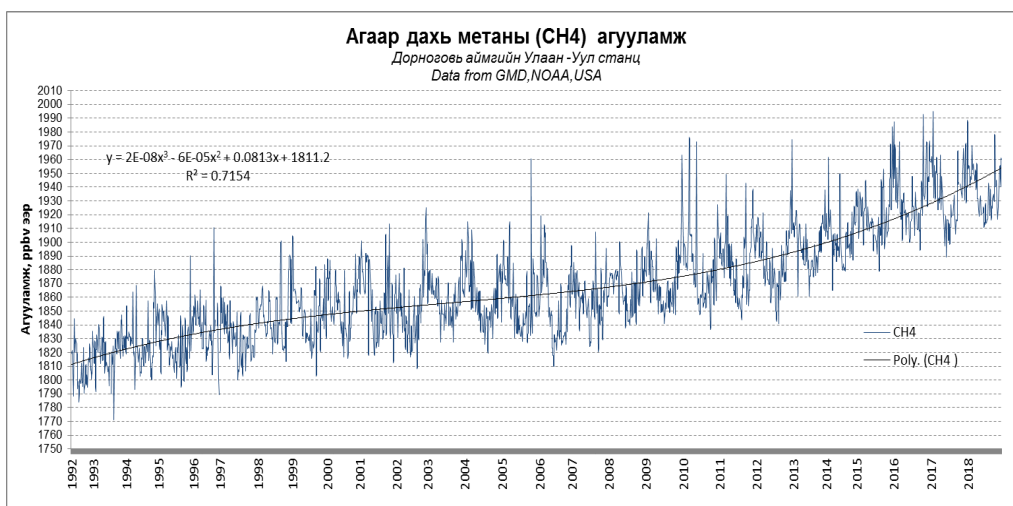
Нүүрсхүчлийн / CO_2 / хийн агууламж

Дорноговь аймгийн Эрдэнэ сумын нутагт байрлах хүлэмжийн хийн мониторингийн станцын мэдээгээр гол хүлэмжийн хийнүүдийн дундаж агууламж Монгол орны нутаг дэвсгэр дээр тасралтгүй өсөж байна.



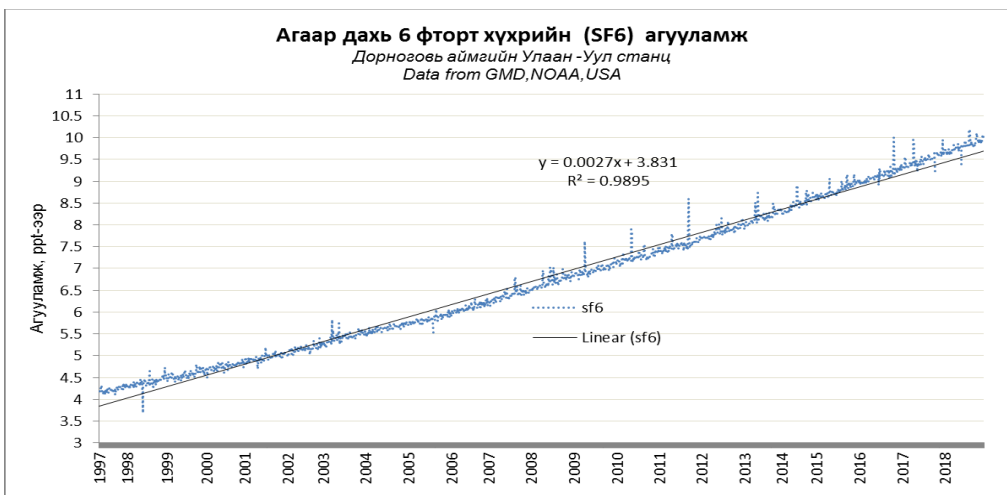
Зураг 30. Агаар дахь (CO₂) нүүрсхүчлийн хийн агууламж

Нүүрсхүчлийн /CO₂/ хийн агууламж 26 жилийн (1992-2018) хугацаанд 54.7 ррт буюу олон жилийн дундажтай нь харьцуулахад 15.4%-р нэмэгдсэн байна (Зураг 30). 2018 оны дундаж 409.7 ррт байсан ба 2017 ба 2018 оны өөрчлөлт 2.3 ррт – ээр өсөлттэй байна



Зураг 31. Агаар дахь (CH₄) метаны агууламж

Агаар дахь метаны жилийн дундаж агууламж 1992-2018 оны хооронд 1808 ррвч-ээс 1937.6 ррвч болж 7.2 хувиар өссөн (Зураг 31) байна. 2018 оны дундаж агууламж 1937.6 ррвч байсан бөгөөд өмнөх оныхоос 3.8 ррвч –ээр өссөн байна.

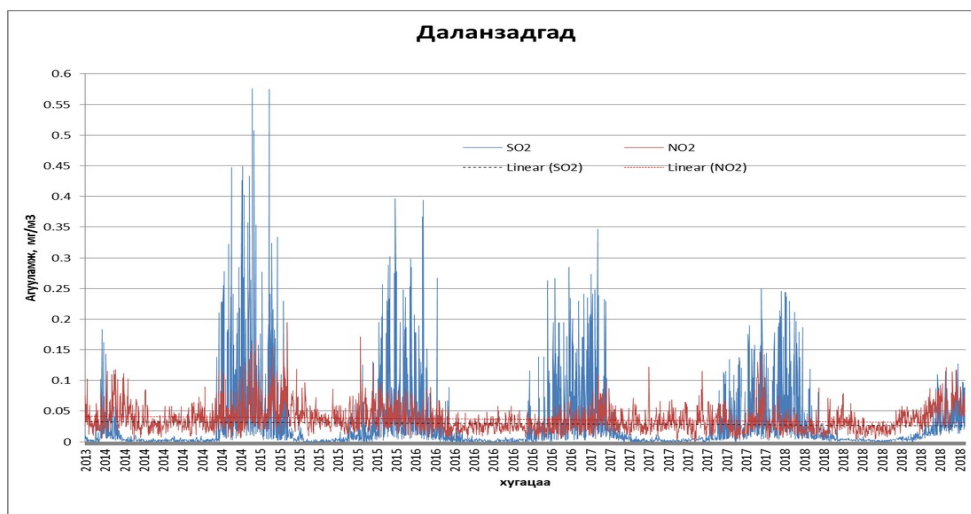


Зураг 32. Агаар дахь 6 фторт хүэр (SF₆) агууламж

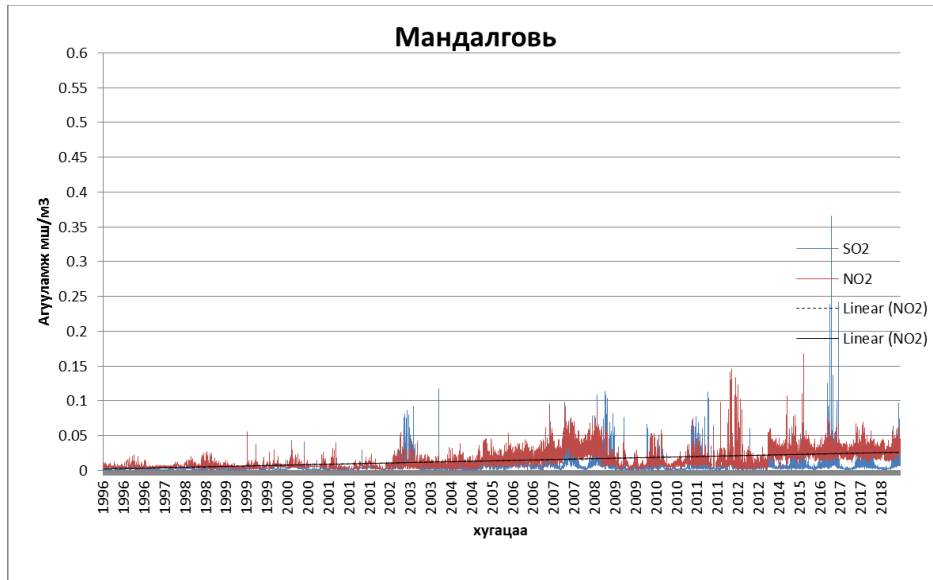
Агаар мандалд агуулагдах агууламж харьцангуй бага боловч дулааруулах хүчин чадал сайтай хүлэмжийн хий бол SF₆ юм. 1997-2018 оны хооронд Улаан-Уул станц дээр SF₆-ын агууламж 3.8ppt-ээс 9.8 ppt буюу 2.6 дахин (Зураг 32) 2018 оны дундаж агууламж 9.8ppt байсан бөгөөд өмнөх оныхоос 0.3 ppt –ээр өссөн байна.

Хүхэрлэг хий азотын давхар ислийн агууламж

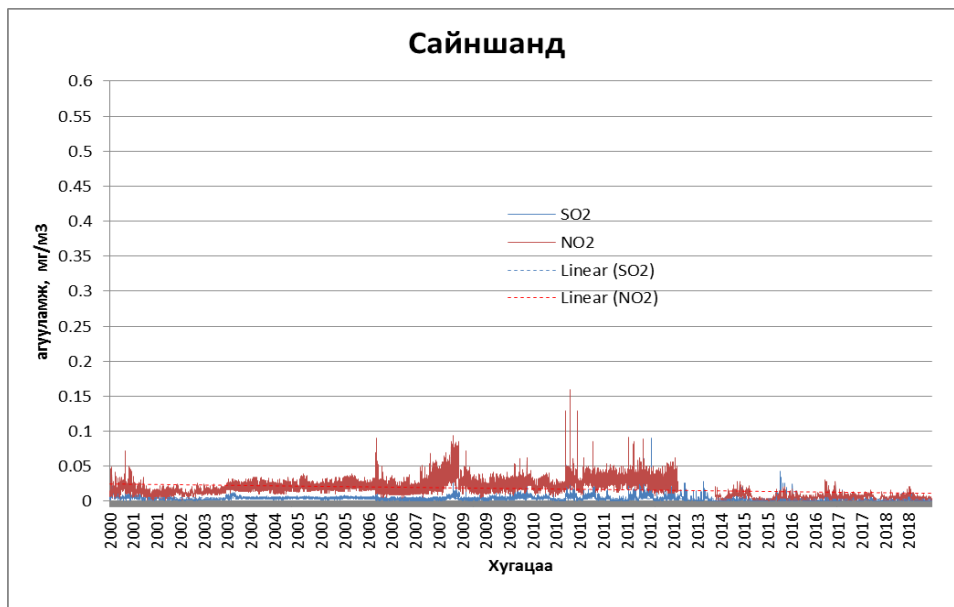
Дундговь, Дорноговь, Өмнөговь аймгуудын төв дэх агаарын чанарын харуул нь өдөр бүр 08, 14, 20 цагт агаарыг 20 минутын турш /рмп-аар/ соруулан агаар дахь хүхэрлэг хий (SO₂), азотын давхар ислийг лабораторидоо тодорхойлсон дүнгүүдээр олон жилийн хандлага өөрчлөлтүүдийг харуулав.



Зураг 33. Өмнөговь аймгийн Даланзадгад дахь агаарын чанарын харуул орчмын хүхэрлэг хий азотын давхар ислийн агууламж

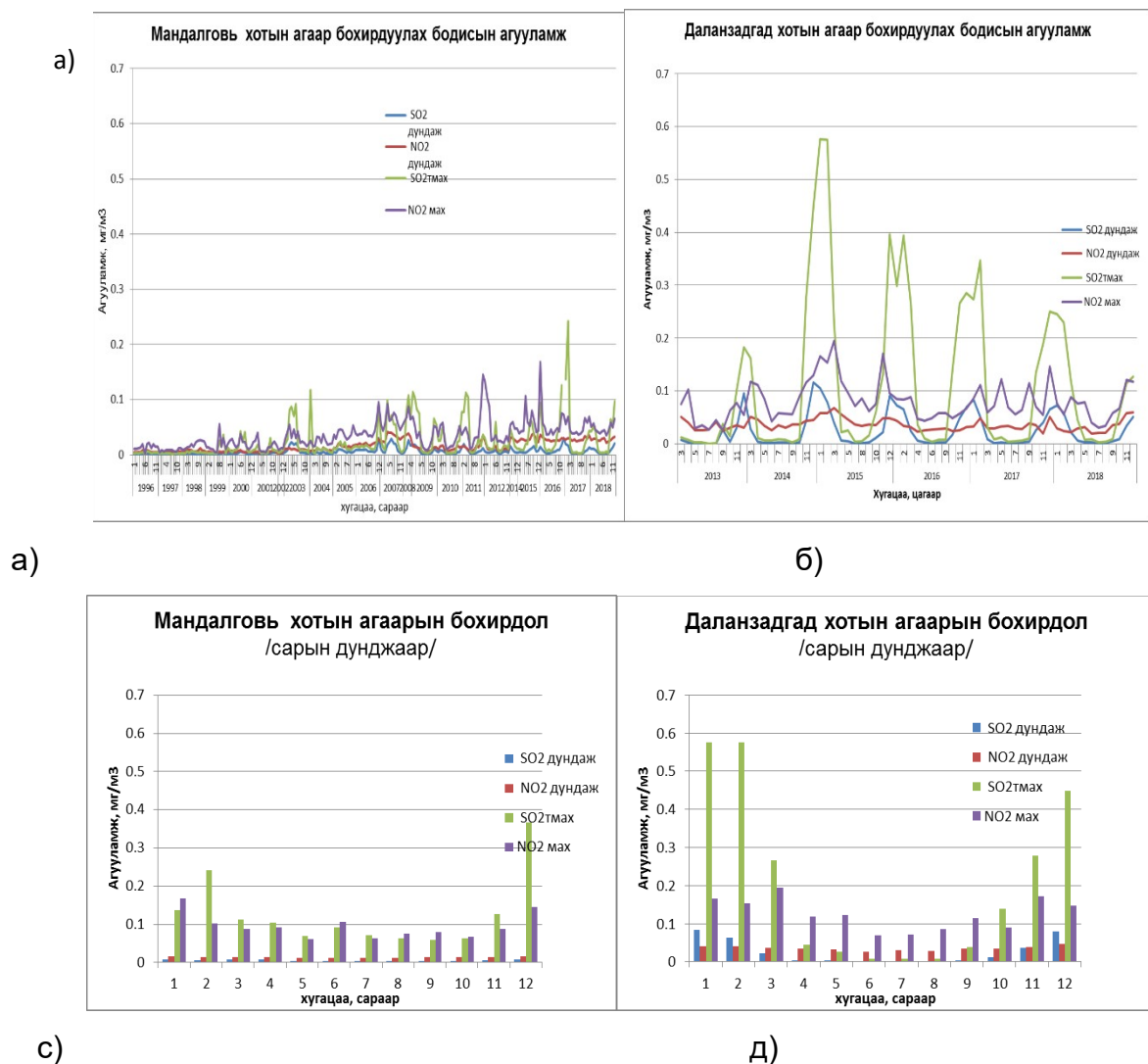


Зураг 34. Дундговь аймгийн Мандалговь дахь агаарын чанарын харуул орчмын хүхэрлэг хий азотын давхар ислийн агууламж



Зураг 35. Дорноговь аймгийн Сайншанд дахь агаарын чанарын харуул орчмын хүхэрлэг хий азотын давхар ислийн агууламж

Говийн бүсийн аймгууд дахь агаар бохирдуулах хийн агууламж



Зураг 36. Говийн бүсийн аймгууд дахь агаар бохирдуулах хийн сарын дундаж болон хамгийн их агууламж: а), с) Мандалговь б), д) Даланзадгад

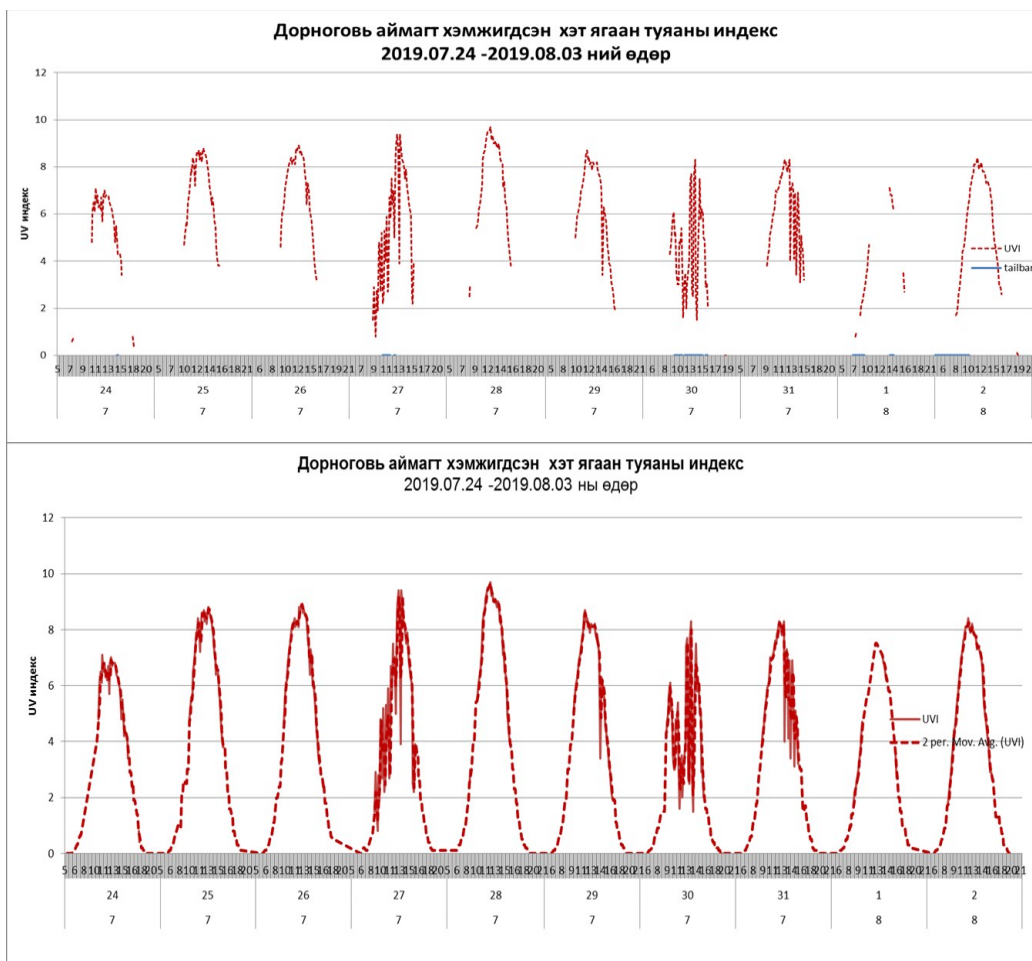
Говийн бүсийн аймгуудад өвлийн улиралд агаарын бохирдол ихсэж байгаа нь галлагааны хугацаатай давхцаж байгаа боловч стандартаасаа давах хэмжээнд хүрээгүй байна.

Нарны хэт ягаан туяаны индекс

Говийн бүсэд 2019 оны 7 дугаар сарын 23-аас 8 дугаар сарын 3-ны хооронд батлагдсан удирдамжийн дагуу Говийн бүсийг төлөөлүүлэн Дорноговь аймгийн Сайншанд, Эрдэнэ сумдад агаар мандлын физик химийн шинж чанарт үндэслэн бага хольцтой хийн хэмжилт, нарны хэт ягаан туяаны хэмжилт, 10 мкм-ээ бага хэмжээтэй аэрозолын хэмжилт, бусад цаг уурын элементүүдийн хэмжилтийг 10 хоногийн турш 10 минутын зайцтайгаар хийлээ. 2019 оны 07 дугаар сарын 23-25-

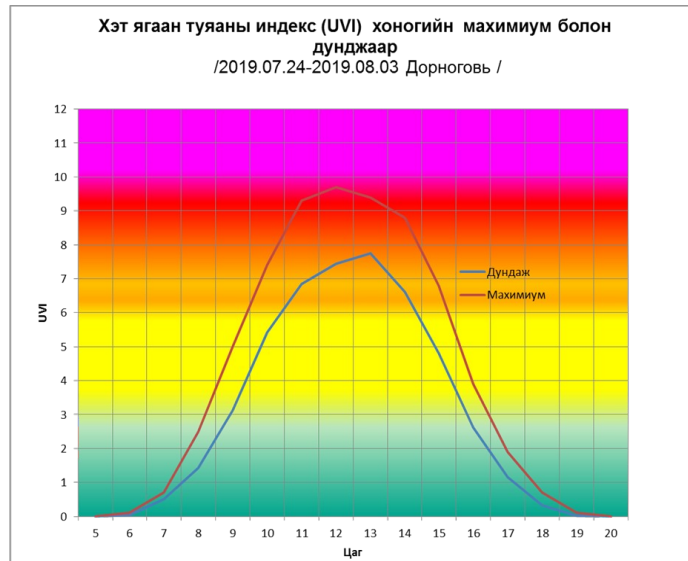
нд Дорноговь аймгийн Эрдэнэ сумын нутагт өглөөний 06 цагаас 19 цаг хүртэл тасралтгүй нарны хэт ягаан туяаг UVI радиометр багажаар, агаарын температур, чийг, даралт, салхины зүг хурд дулааны индексийг цаг уурын зөөврийн автомат хэмжигчээр 10 минут тутам хэмжсэн. 7 дугаар сарын 24 ний өдөр хүлэмжийн хийн дээжийг 2 давталттайгаар тусгай сонгосон хадан дээрээс авч бусад хэмжилтийг хамт хийлээ. Дорноговь аймгийн төв орчим хэт ягаан туяаны хэмжилт, аэрозолын хэмжилтийг 10 минутаар хийсэн ба агаарын дээжийг аспиратороор соруулан 20 минутаар 8 удаа 16 дээж авсан ба авсан дээжээ Дорноговь аймгийн УЦУОГТөвийн Орчны лабораторид шинжлүүлсэн ба шинжилгээний дүнг албан бичгээр авлаа.

Дорноговь аймгийн Эрдэнэ сум болон Сайншанд орчим нарны хэт ягаан туяаны индексийг тасралтгүй хэмжиж хоногийн динамикийг гаргалаа.



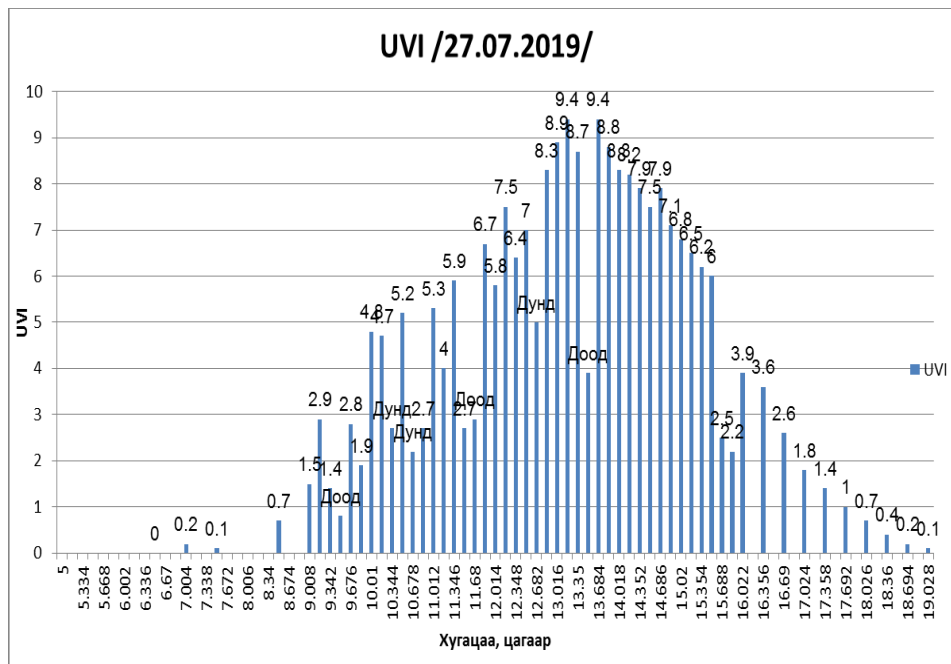
Зураг 37. Дорноговь аймагт хэмжигдсэн хэт ягаан туяаны индекс

Дорноговь аймагт хэмжигдсэн хэт ягаан туяаны индексийн утгыг авч үзвэл 10-16 цагийн хооронд өндөр байгаа бөгөөд наранд байхад тохиромж муутай байна. Гадаа ажиллах нөхцөлд малгай өмсөх шил зүүх түүнчлэн 30 минутаас хэтрэхгүй байхаар байна.

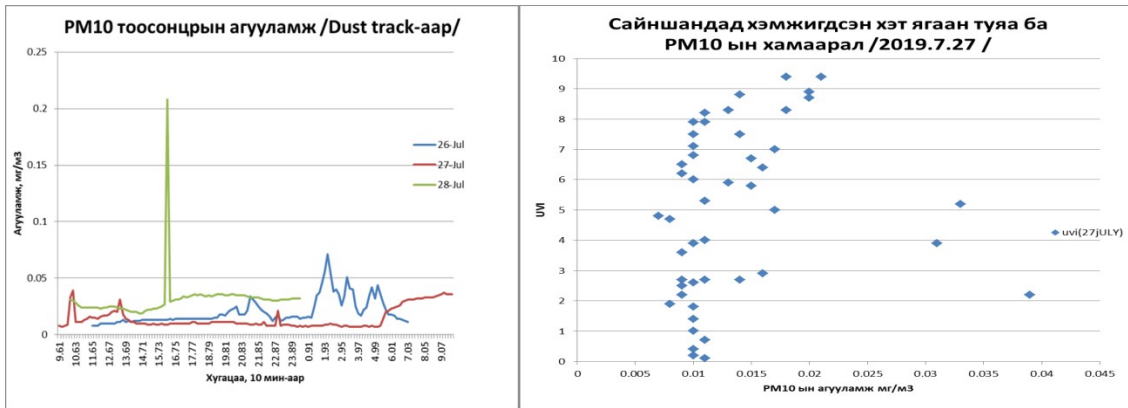


UVI	Тайлбар	Хамгаалах арга	Наранд байж болох хугацаа
0_2	ямар нэгэн муу нөлөөгүй	Байнга хэрэглэдэг малгай, нарны шилээ хэрэглэх болно	1 цагаас +
3_5	Нарны хамгаалалтгүй бол бага зэрэг нөлөөлж болно.	Нарны шил малгай өмсөх. SPF15+ хэрэглэх	40 мин
6_7	Нарны хамгаалалтгүй бол эрсдэлтэй	Нарны шил малгай өмсөх. SPF30+ хэрэглэх	30 мин
8_10	Нарны хамгаалалтгүй бол өндөр эрсдэлтэй	Нарны шил малгай өмсөнө. SPF30+ хэрэглэнэ. Битүү хувцас өмсөх аль болох	20 мин
11+	Нарны хамгаалалтгүй бол хэт өндөр эрсдэлтэй	Бүх арга хэмжээ ав. Гадаа гарахгүй байх шаардлагатай	15 минутаас бага

Зураг 38. Дорноговь аймаг хэмжигдсэн хэт ягаан туяаны индекс ба ДЭМБ-аас санал болгосон хязгаарын утга



Зураг 39. Дорноговьд хэмжигдсэн хэт ягаан туяа ба үүлний нөлөө



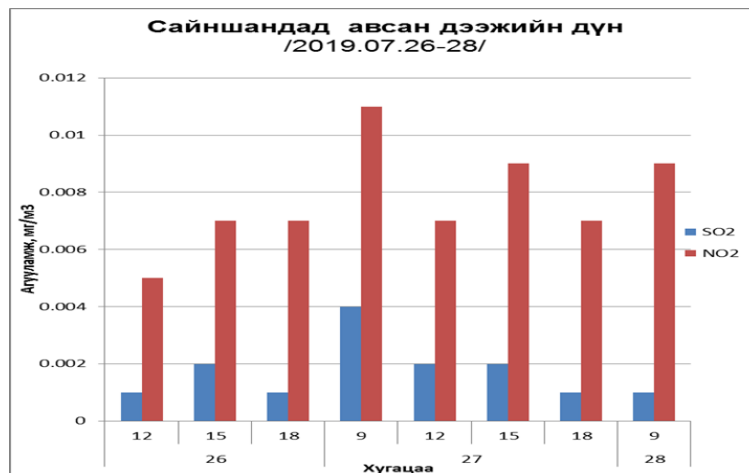
а)

б)

Зураг 40. Дорноговьд хэмжигдсэн а) аэрозол ба б) хэт ягаан туяаны хамаарал

Тухайн хэмжилтийн үед агаар мандал дахь тоос шороо харьцангуй бага байсан бөгөөд нөлөөлөх хэмжээнд байсангүй. Харин үүлний өндрөөс хамаарч индекс маш хүчтэй буурч байлаа. Тухайн хэмжилтийн хугацаанд аспиратороор дээж авч агаар дахь NO₂ ба SO₂-ыг Дорноговь аймгийн лабораторид шинжлүүлсэн.

Агаар мандал дахь аэрозол



Зураг 41. Агаар дахь NO2 ба SO2-ын агууламж

Агаар дахь NO₂ ба SO₂-ын агууламж бага утгатай байсан ба онцын өөрчлөлт ажиглагдаагүй. Агаар мандал дахь аэрозол нарны цацрагт хэрхэн нөлөөлж буйг үнэлэх зорилгоор Өмнөговь аймгийн төв Даланзадгад хотод Америкийн сансар судлалын агентлагийн AERONET сүлжээний хүрээнд 1997 оноос эхлэн нарнаас ирж буй цацрагийн өөрчлөлтөөр агаар мандал дахь аэрозолын хэмжээг тодорхойлох зориулалт бүхий нарны фотометр /sun photometer/ багажаар тасралтгүй хийж байгаа хэмжилтийн олон долгионы урт дахь аэрозолын оптик зузааны 1997-2018 оны мэдээллийг татан авч мэдээллийн сан бүрдүүлэн дүн шинжилгээ хийж байна. Хэмжилтийн үр дүн нь 3 түвшнээр гардаг бөгөөд 1

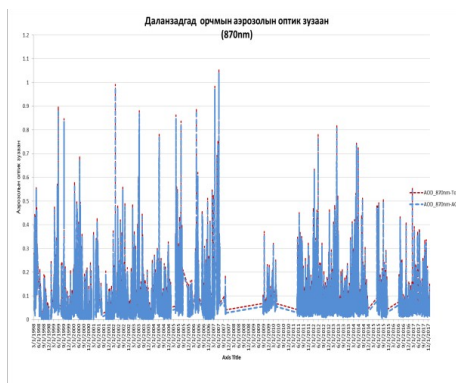
түвшинд анхны ямар ч засвар хийгдээгүй мэдээлэл, 1.5 түвшинд засвар хийж үүлний услагийн мэдээллийг давхар агуулсан, 2 түвшинд үүлний услагийн мэдээллийг шүүсэн цэвэр аэрозолын мэдээ байна. Аэрозолын судалгаанд 2 түвшний мэдээг ашиглаж дараах үр дүнгүүдийг гаргалаа.

Нарны фотометрээр хэмжсэн нийлбэр болон тухайлсан аэрозолын оптик зузаан

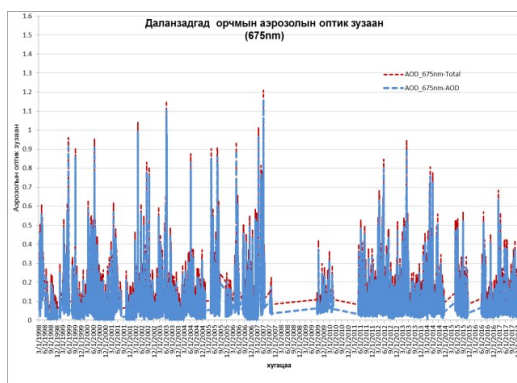
Даланзадгад дахь Нарны фотометрээр хэмжсэн нийлбэр болон тухайлсан аэрозолын оптик зузааны мэдээллийг 1020, 870, 500 нм-ийн хэмжигдсэн долгионы уртад харгалзуулан агаар мандалд агуулагдаж байгаа тоосонцрын хэмжээг тодорхойлж чадаж байгаа эсэхийг тодорхойлж хамгийн их болон дундаж утгуудыг сараар жилээр тодорхойллоо. Мөн агаар дахь нийлбэр озоны хэмжээ, азотын давхар ислийн утгуудын олон жилийн явц, улирлын онцлогийг харуулав. Даланзадгадад нарны фотометрээр хэмжсэн аэрозолын оптик зузааны мэдээгээр 1020, 870, 675, 500 нм –ийн долгионы уртад хэмжсэн нийлбэр болон аэрозолын оптик зузааны хэмжилтийн үр дүнг доорх зурагт харуулав.



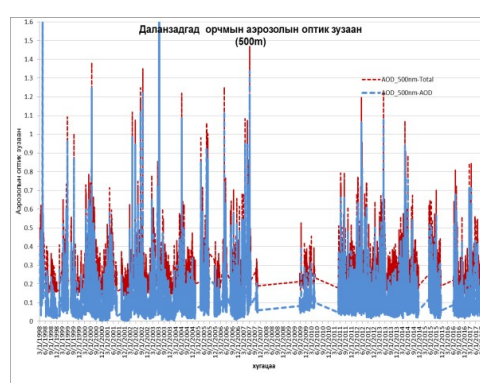
а)



б)



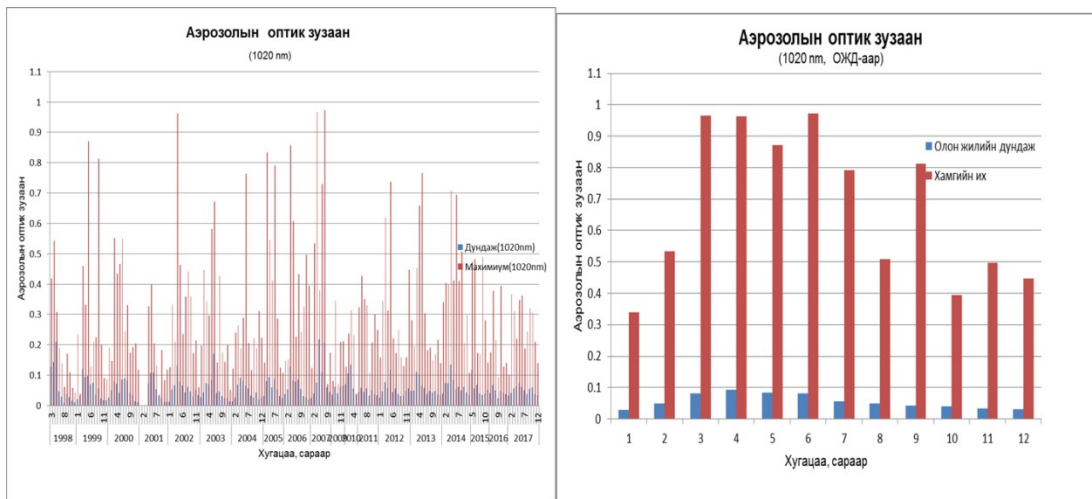
с)



д)

Зураг 42. Даланзадгадад 1020 а), 870 б), 675 в), 500 д) нм –ийн долгионы уртад хэмжсэн нийлбэр болон аэрозолын оптик зузаан

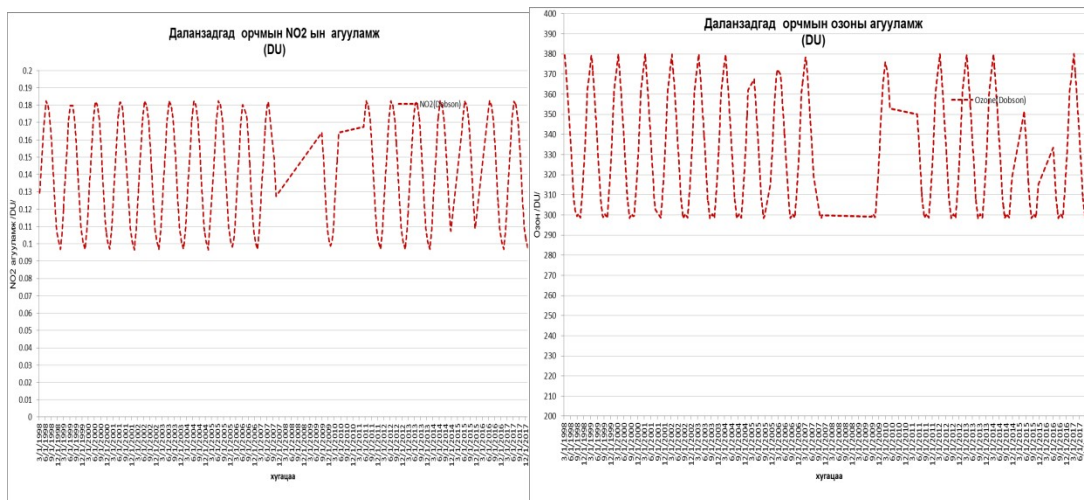
Урт долгионы уртуудад аэрозолын оптик зузааныг бараг 98-100 хувь хэмжиж байгаа бөгөөд долгионы урт буурах тусам энэ хэмжээ багасаж байна.



Зураг 43. Аэрозолын оптик зузааны сарын дундаж утга болон хамгийн их утгууд

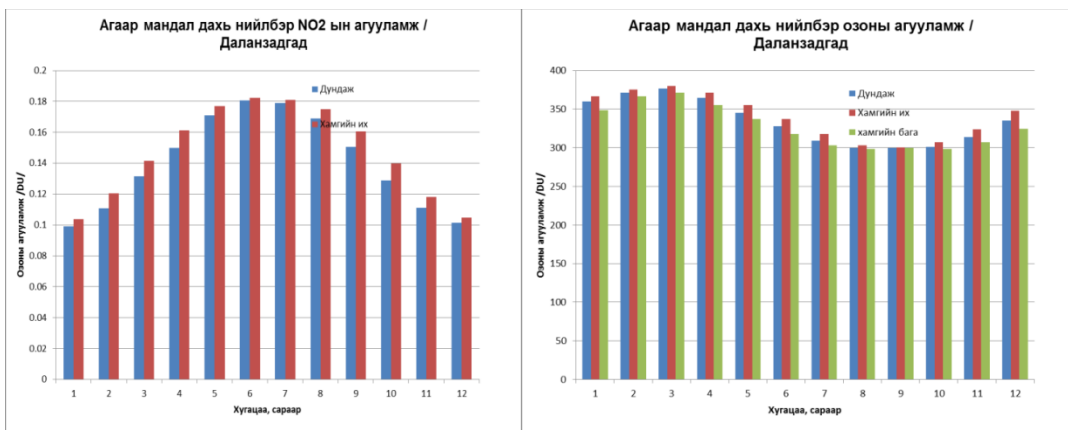
Аэрозолын оптик зузааны сарын дундаж утга болон хамгийн их утгуудаас харвал сарын дундаж утга 0.1-ээс бага байгаа нь агаар тунгалаг байгааг харуулж байна.

Гэвч ялангуяа хаврын улиралд 1-д дөхсөн тохиолдлууд ажиглагдсан нь агаар дахь тоос шороо нарны цацрагт асар хүчтэй нөлөөлдгийг харуулж байна.



а)

б)



с)

д)

Зураг 44. Нарны фотометрээр хэмжсэн агаар мандал дахь нийлбэр озон ба азотын давхар ислийн олон жилийн а), б) болон жилийу явц (с), д)

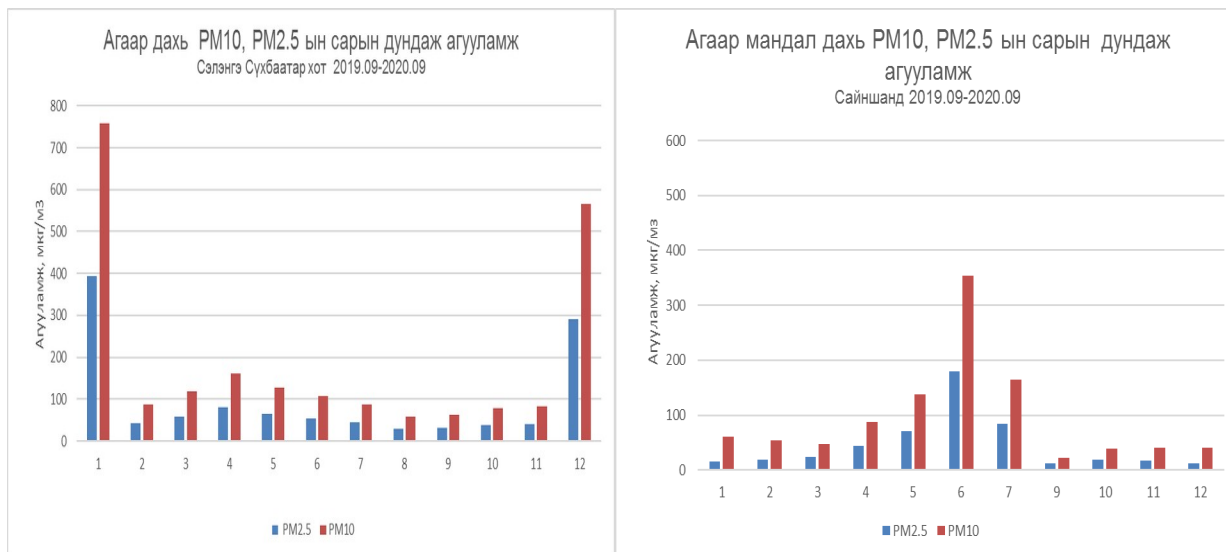
Агаар мандал дахь озоны хэмжээг тасралтгүй хэмжсэн байгаа бөгөөд улирлын явцыг маш тодорхой харуулсан байна. 1998-2018 оны хооронд агаар мандал дахь озоны хэмжээ хэмжээ маш тогтвортой байсан ба улирлаас хамаарч 300-380 Ду ийн хооронд хэлбэлзэж байна.

Сэлэнгэ Дорноговь аймагт AQM багажаар хийсэн аэрозол ба хэт ягаан туяаны хэмжилт

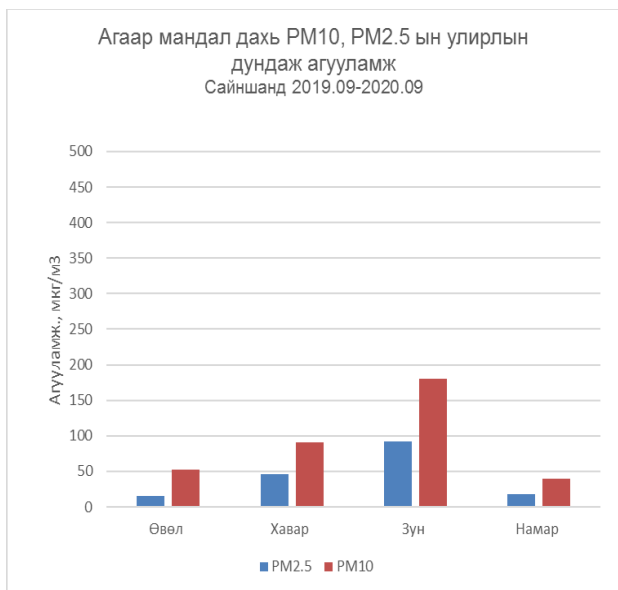
Дорноговь аймгийн Сайншанд, Сэлэнгэ аймгийн Сүхбаатар хотод тасралтгүй 2019 оны 9 сараас 2020 оны 8 дугаар сар хүртэл “Air Quality Monitoring” автомат багажаар тасралтгүй хэмжсэн газрын гадарга орчмын аэрозол буюу PM₁₀, PM_{2.5} тоосонцрын жилийн болон улирлын дундаж агууламжийг доорх зургуудад харуулав.

а) Сэлэнгэ

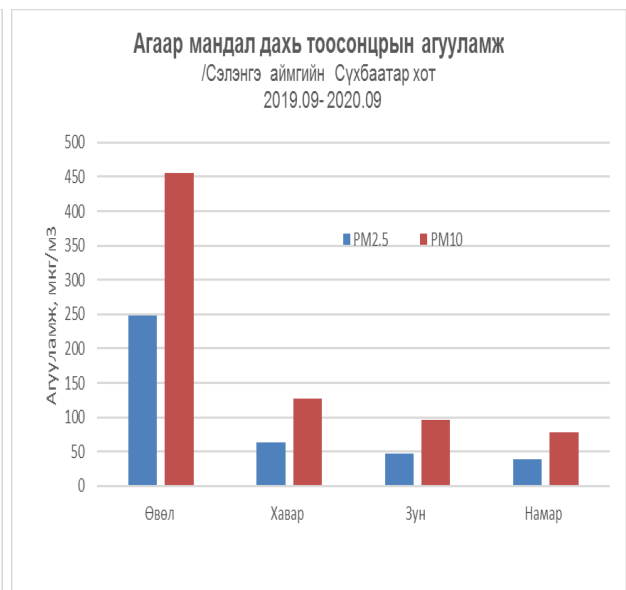
б) Дорноговь



в) Сэлэнгэ



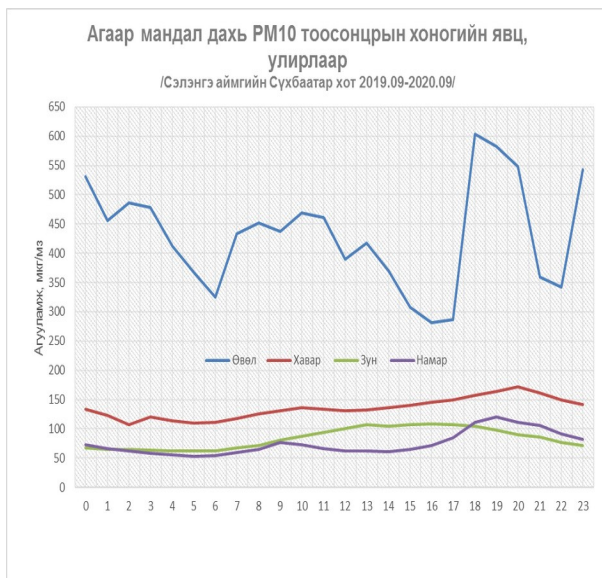
г) Дорноговь



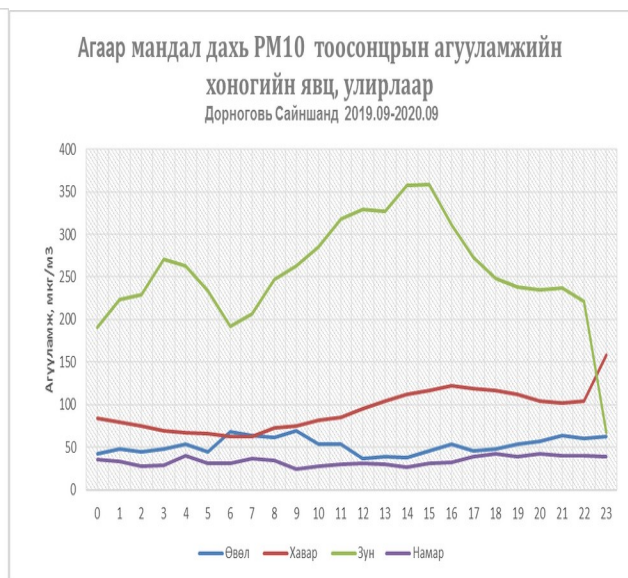
Зураг 45. Газрын газар орчим дахь PM₁₀, PM_{2.5} тоосонцрын сар (а,б), улирлын (в, г) дундаж агууламж

Дээрх зургаас харахад Сэлэнгэ аймгийн Сүхбаатар хотод өвлийн улиралд PM₁₀ ба PM_{2.5}-н агууламж өвлийн улиралд хоногийн турш эрс их байна. Энэ нь өвлийн хугацааны галлагаатай холбоотой агаар дахь тоосонцрын агууламж эрс ихэссэн байна.

а) Сүхбаатар

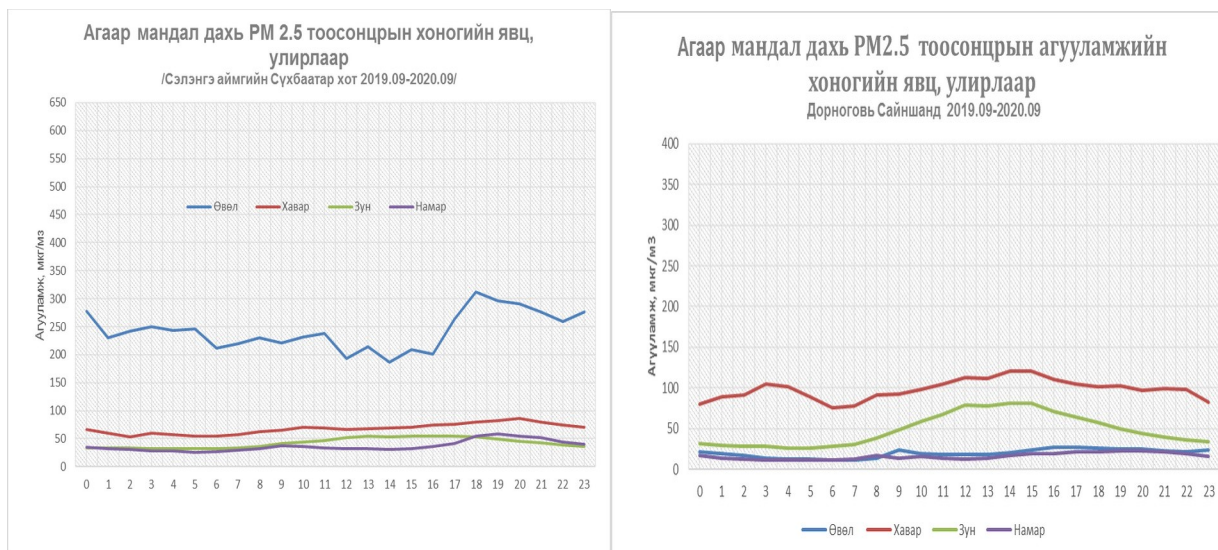


б) Сайншанд



в) Сүхбаатар

г) Сайншанд



Зураг 46. Газрын газар орчим дахь PM10(а,б), PM2.5 (в,г) тоосонцрын хоногийн дундаж агууламж

Харин Сайншанд хотод хэмжилт хийж буй цаг уурын станцын талбай галлагаатай эх үүсвэрүүдээс хол байрлаж байгаа учраас хаврын саруудад тоосны агууламж ихэссэн нь байгалийн эх үүсвэр болох шороотой холбоотой нь харагдаж байна. Харин Сайншанд хотод PM₁₀ зуны улиралд их байгаа нь 6 дугаар сард, PM_{2.5}-ын хувьд хаврын улиралд их байна. Хоногийн явцыг харвал үдээс хойшдоо нэмэгдсэн байна. Энэ нь хавар зуны улиралд шороо тоос их босдогтой холбоотой дүгнэж болно.

2.3.4 Дүгнэлт

Монгол орны говийн бүсэд хийгдсэн хэмжилт судалгааны үр дүнг нэгтгэн дүгнэвэл агаар дахь хүлэмжийн хий болох нүүрсхүчлийн /CO₂/ хийн агууламж 26 жилийн (1992-2018) хугацаанд 54.7 ppm буюу олон жилийн дундажтай нь харьцуулахад 15.4%-иар, метаны жилийн дундаж агууламж 1808 ppbv-ээс 1937.6 ppbv болж 7.2 хувиар, SF₆-ын агууламж 1998-2018 оны хооронд 3.8ppm-ээс 9.8 ppm буюу 2.6 дахин нэмэгдсэн байна

Говийн бүс нутаг дахь аймгийн төвүүдэд хүхэрлэг хий, азотын давхар ислийн агууламж нэмэгдэх хандлагатай ялангуяа өвлийн улиралд их байгаа боловч хүлцэх агууламжаасаа давсан тохиолдол ажиглагдаагүй байна. Говийн бүсэд хэт ягаан туяаны индекс 10-16 цагийн хооронд өндөр байна.

Хэмжилтийн хугацаанд агаар мандалд хүчтэй тоос шороо дэгдээгүй байсан учраас энэ 2-ын хамаарал тодорхой илрээгүй боловч Сибирийн түймэр дэгдсэн өдрүүдэд агаар тунгалаг бус байсан бөгөөд хэт ягаан туяаны минимум утга бага зэрэг буурч байлаа. Үүлний өндөршлөөс хамаарч хэт ягаан туяаны хэмжээ эрс буурч байна.

Аэрозолын оптик зузааны сарын дундаж утга болон хамгийн их утгуудаас харвал сарын дундаж утга 0.1-ээс бага байгаа нь агаар тунгалаг байгааг харуулж байна. Гэвч ялангуяа хаврын улиралд 1 д дөхсөн тохиолдлууд ажиглагдсан нь агаар дахь тоос шороо нарны цацрагт асар хүчтэй нөлөөлдгийг харуулж байна.

Агаар мандал дахь озоны хэмжээг тасралтгүй хэмжсэн байгаа бөгөөд улирлын явцыг маш тодорхой харуулсан байна. 1998-2018 оны хооронд агаар мандал дахь озоны хэмжээ хэмжээ маш тогтвортой байсан ба улирлаас хамаарч 300-380 Du ийн хооронд хэлбэлзэж байна.

Урт долгионы уртуудад аэрозолын оптик зузааныг бараг 98-100 хувь хэмжиж байгаа бөгөөд долгионы урт буурах тусам энэ хэмжээ багасаж байна. Аэрозолын оптик зузаан ихэссэн тохиолдлууд нь шороон шуурга шуурсан өдрүүдтэй давхцаж байна. Иймээс шороон шуурганы хүчийг үнэлэх 1 фактор болж болох юм.

2.4 Газар бүрхэвчийн гол үзүүлэлтүүдийн жил, улирлын зураглал

Монгол орон бол Төв Азид орших эрс тэс уур амьсгалтай, сэрүүн цөл болон Сибирийн их ой тайгын шилжилтийн бүсэд орших өртөмтгий бүс нутаг. Мөн өдийг хүртэл нүүдлийн амьдралын хэв маягаа гээгээгүй, байгаль цаг уурын нөлөөн доор оршдог, шинжлэх ухааны судалгаа хийхэд харьцангуй цэвэр (хүний нөлөө бага) систем гэдэг утгаараа олон орны эрдэмтэн судлаачдын анхаарлыг зүй ёсоор татдаг бөгөөд манай орны бэлчээр, газар бүрхэвч, цөлөрхөг бүс нутгийн талбай, ургамлын бүрхэц, биомасс болон ган, цөлжилтөд өртөмтгий нутгийг тодруулах чиглэлээр Ургамалжилтын нормчлогдсон ялгаврын индекс (NDVI) ашигласан дараах голлох бүтээлүүд хэвлэгдсэн байна.

Японы судлаач [Hirano et, al \(2006\)](#) 1981-2003 оны НОАА хиймэл дагуулын 8 км нарийвчлалтай мэдээ ашиглан Монгол орны сүүлийн 23 жилийн ургамлан бүрхэвчийн өөрчлөлтийн төлөв байдлыг гаргасан байна. Энэ судалгаагаар манай орны нийслэл хот буюу Улаанбаатар орчимд ургамалжилт нь илэрхий багассан, мөн тус улсын хойд хэсгийн уулархаг бүс нутагт болон Хятадтай хиллэдэг өмнөд хэсгээрээ бууралтын чиг хандлага ажиглагдаж байгаа бөгөөд, говийн хойд хэсэгт буюу 45-47-р өргөрөгт бага зэрэг өссөн хандлага байгаа нь ган, зудын нөлөөгөөр мал хоргодсонтой холбоотой гэж тайлбарласан байна. Харин Улаанбаатар, Дархан хот орчмоор ургамалжилт буурсан нь атаршсан талбай их байгаатай холбоотой гэж үзжээ.

Хятад, Тайваны судлаачид МОДИС хиймэл дагуулын жил бүрийн (ургамлын ургалтын хугацаа) дундаж NDVI –н 2000-2005 оны мэдээнээс 0.1-с доош утгыг ялган, үүнийгээ цөл нутаг болон ургамал бүрхэвч сийрэг бүс нутаг гэж үзээд зүүн Азийн хэмжээгээр цөл болон ургамал бүрхэвч сийрэг бүс нутгийн талбай, түүний жил бүрийн хэлбэлзлийг гаргасан. Тус судалгааны үр дүнд Монгол орны ургамлан бүрхэвч сийрэг бүс нутаг нь жил бүр бага зэрэг хэлбэлзэх боловч 2001 онд судалгааны бусад жилүүдээс илүү их талбайтай байжээ. Мөн жил бүрийн өөрчлөлтийн зургаас харахад Өмнөговь, Дундговь, Дорноговь аймгуудын зааг нутгаар ургамлан бүрхэвч багатай газар нутгийн хэмжээ нэмэгдэж байгаа төлөв ажиглагдаж байна.

Мөн [Liu нар \(2013\)](#) мөн НОАА хиймэл дагуулын 1988-2008 оны Ургамалжилтын индексийн мэдээ болон Ургамалжилтын оптик зузаан (VOD) ашиглан Монгол орны ургамлан бүрхэвч, биомассын бууралтын байдлыг үнэлсэн бөгөөд энэхүү бууралт нь Монгол орны тал хээрийн бүсэд ихээр илэрч байгаа бөгөөд өөрчлөлтийн шалтгааны 60% нь цаг уурын хүчин зүйлсээс (нэмэгдэж буй агаарын температур, буурч байгаа хур тунадас), үлдсэн хувийн ихэнхийг нь ямааны өсөлт мөн түймэр юм гэж үзсэн.

Эдгээр гадаадын судлаачдаас гадна Монголын эрдэмтэд ч энэ чиглэлд тодорхой ажлуудыг хийж хэвлүүлээд байгаа. Судлаач Доктор М.Эрдэнэтуяа 2004 онд 1982-2001 оны НОАА-ийн ургамалжилтын индексийн мэдээнд тулгуурлан байгалийн бүс бүслүүрүүдийн ангилал, түүний өөрчлөлтийг зурагласан бөгөөд энэ

нь бодит зурагтайгаа маш өндөр хамааралтай ($r=0.96$) байжээ. Мөн ургамалжилтын индексийн хазайцаар ургамалжилтын өөрчлөлтийг үнэлсэн бөгөөд 1982-1994(1995) он хүртэл өсөөд, түүнээс хойш 2001 он хүртэл эрс буурсан хандлага ажиглагджээ.

Доктор [М.Баясгалан 2005](#) онд өөрийн докторын зэрэг горилсон бүтээлийнхээ нэг хэсэгт нь гангийн ургамлан нөмрөгт үзүүлэх нөлөөг судалжээ. Энд НОАА-ийн 1982-2002 оны ургамалжилтын индексийн мэдээгээр нүцгэн газрын олон жилийн мониторинг хийхдээ, цөлөрхөг бүс нутгийн босго утга 0.06 бөгөөд дээд утга нь 0.07 гэж үзжээ. Судалгааны үр дүнд ургамалгүй газрын хэмжээ нь ган болон зуншлагын байдалтай холбоотойгоор тус орны газар нутгийн 3-24%-д хэлбэлзэж байгааг тогтоожээ.

Доктор [Т.Чулуун](#) болон бусад судлаачид 2011 оны Монгол улсын хүний хөгжлийн тайланд “газрын доройтол ба цөлжилт” сэдвийн хүрээнд экологийн эмзэг байдлаар өндөр аймаг нь Баруун аймгуудаас Ховд, үүний дараа говийн аймгууд орох боловч Өмнөговь хамгийн эмзэг, харин бүс бүслүүрийн хувьд говийн бүс бусдаасаа илүү өртөмтгий гэжээ. Мөн тэрээр 1982-2008 оны Ургамалжилтын индексийг утгаар ангилал хийж тооцсон үр дүндээ үндэслэн Монгол орны байгалийн бүс бүслүүрүүдийн хил хязгаар нь шилжих нь харьцангуй бага байгаа боловч ургамлын бүтээмж багатай өмнөд хэсэг нь 6.5-11.1% -р хойш тэлж, хойд хэсгийн ургамлын бүтээмж өндөртэй хэсэг нь хумигдсан гэж дүгнэжээ. Экологийн бүс доторх өмнөд хэсгийн энэ тэлэлт нь уур амьсгал болон газар ашиглалтаас болж ургамлын бүтээмж буурч байна гэж үзжээ.

Судлаач [Д. Аваадорж нар \(2003\)](#) Монгол орны гандуу хуурай нутгийн 40 гаруй хувь нь экологийн ямар нэг доройтолд орж 20% дунд зэрэг, 5 % нь хүчтэй, 2 % нь маш хүчтэй доройтсон нутагт хамаарч байна. Бэлчээрийн ургацын хэмжээ 2-4 дахин, ургамлын зүйлийн тоо 2 дахин цөөрч ургамлын бүрэлдэхүүнд ихээхэн өөрчлөлт орсон тухай судалгаандаа дурдсан байна.

Газрын гадаргын ойлт буюу альбедо гэдэг нь гадаргын ойлгох чадвар буюу нарнаас ирж байгаа цацрагийн хэдэн хувь нь буцаж ойж байгааг үзүүлсэн үзүүлэлт юм. Газрын гадаргын ойлт нь агаар мандлын цацрагийн урсгал ба гадаргын агаар мандлын харилцан үйлчлэлийг хянах хамгийн чухал үзүүлэлтүүдийн нэг юм. Газрын гадаргуугийн альбедо нь газрын энергийн балансын шинжилгээ, цаг уурын загварчлал, урьдчилан мэдээ гаргах, уур амьсгалын өөрчлөлтийн судалгаанд өргөн хэрэглэгддэг.

Газрын гадаргуу дээр шингэсэн нарны энерги нь гадаргуугийн альбедогоор хянагддаг бөгөөд энэхүү газрын гадаргуугийн ойлт нь орон зай, цаг хугацааны хувьд маш их хувьсдаг. Ийнхүү газрын гадаргын ойлтыг цас, мөсөн бүрхүүлийн өөрчлөлтийг үнэлэх судалгаанд өргөн ашигласан. [Чинхай Зоу](#) нарын судлаачид 1982-2015 оны хиймэл дагуулын газрын гадаргуугийн ойлтын мэдээгээр Антарктид орчмын альбедо хэрхэн өөрчлөгдөж буйг үнэлээд Баруун Антарктидад SAL-ийн

өөрчлөлт 2001 оноос өмнө буурах, үүнээс хойш өсөх хандлагатай байгааг судалгаандаа дурдсан.

Ургамлын фенологи нь гадаргуугийн альбедег ихээхэн өөрчилдөг бөгөөд эргээд дэлхийн энергийн тэнцвэрт байдал, уур амьсгалын өөрчлөлтөд нөлөөлж буй альбедег нь дэлхийн дулааралтад хариунд нөлөөг үзүүлж байдаг ([Wang et al., 2017](#))

Бид энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд орон зайн нарийвчлалтай хиймэл дагуулын мэдээ ашиглан газар бүрхэвчийн гол үзүүлэлтүүдийн (NDVI, LAI, Albedo) улирал, жилийн явц, өөрчлөлтийг үнэлэх, газар бүрхэвчинд үзүүлэх цаг уур болон болон бусад хүчин зүйлсийн нөлөөг үнэлэн судлахыг зорьсон.

2.4.1 Судалгааны аргазүй, ашигласан мэдээ

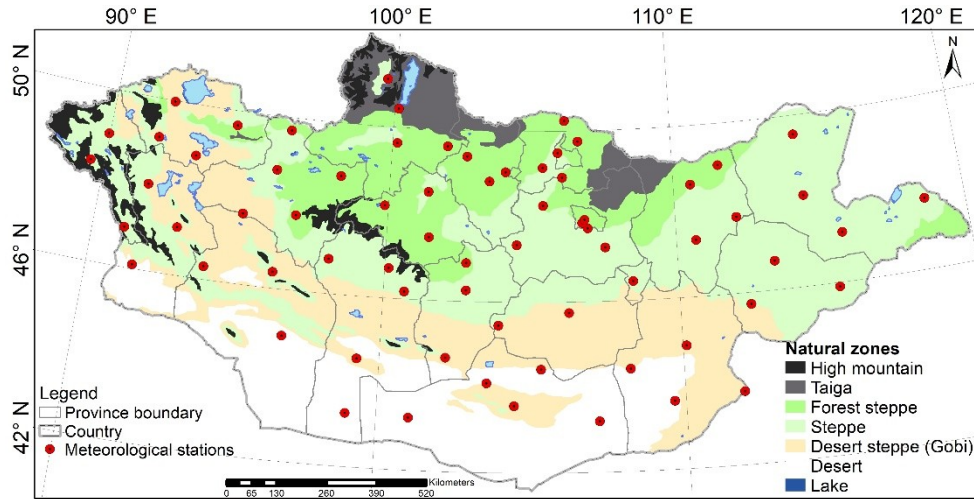
2.4.1.1 Ашигласан мэдээ, судалгааны талбар

(1) Хиймэл дагуулын мэдээ

Энэхүү судалгаанд 32 жилийн (1981-2012) 8 км-ийн ялгах чадвартай 15 хоногийн NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) (GIMMS NDVI3g) ургамлын нормчилсон индекс, 2000-2018 оны МОДИС/Терра хиймэл дагуулын 8 хоногийн 500 м –ийн ялгах чадвартай навчны талбайн индекс (LAI) ([НАСА-ийн гарын авлага 2015](#)), 20 жилийн (2000-2020) МОДИС/Терра хиймэл дагуулын 5.6 км-ийн ялгах чадвартай газрын гадаргын ойлтын (LSA-land surface albedo) сарын мэдээг ашиглан ургамлын ургалтын хугацааны газар бүрхэвчийн өөрчлөлт, хандлагыг үнэлэхийг зорилго.

(2) Газрын ажиглалтын мэдээ

Ус цаг уурын улсын сүлжээний 70 цаг уурын станцын дээрх хиймэл дагуулын мэдээтэй ижил хугацааны уур амьсгалын үндсэн үзүүлэлтүүд болох агаарын температур, хур тунадасны мэдээ, мөн байгалийн бүс бүслүүрийн зураглалыг ашигласан ([Зураг 47](#)).



Зураг 47. Судалгааны ашигласан цаг уурын станц, байгалийн бүс бүслүүр

2.4.1.2 Судалгааны аргазүй

Статистик анализ

Ашигласан мэдээ, мэдээллийн хугацааны хувьд тасралтгүй цуваа үүсгэж үзүүлэлтүүдийн хувьд өөрчлөлт хандлага гэсэн 2 үнэлгээг хийсэн. Ингэхдээ өөрчлөлт, хандлагыг Манн-Кендаллын хандлагын дүг шинжилгээний аргаар үнэлэн тодорхойлсон.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(NDVI_j - NDVI_k) \quad (36)$$

$$\text{sign}(NDVI_j - NDVI_k) = \begin{cases} 1 & \text{if } NDVI_j - NDVI_k > 0 \\ 0 & \text{if } NDVI_j - NDVI_k = 0 \\ -1 & \text{if } NDVI_j - NDVI_k < 0 \end{cases} \quad (37)$$

$NDVI_j$ ба $NDVI_k$ бол j ба k жилийн утга, энд $j > k$.

Энэхүү судалгаанд 20 жилийн 5-аас 9 сарын (2000-2020) МОДИС/Терра хиймэл дагуулын 5.6 км-ийн ялгах чадвартай газрын гадаргын ойлтын (MCD43A2) сарын мэдээг ашигласан.

Гадаргуугийн ойлт/альbedo

Гадаргуугийн ойлтыг доорх томъёог ашиглан тооцоолон бодсон.

$$Albedo_{sw} = 0.8 * Albedo_{b_{sw}} + 0.2 * Albedo_{w_{sw}} \quad (38)$$

$$Albedo_{vis} = 0.8 * Albedo_{b_{vis}} + 0.2 * Albedo_{w_{vis}} \quad (39)$$

$$Albedo_{nir} = 0.8 * Albedo_{b_{s_{nir}}} + 0.2 * Albedo_{w_{s_{nir}}} \quad (40)$$

$$LSA = \frac{Albedo_{sw} + Albedo_{vis} + Albedo_{nir}}{3} \quad (41)$$

$Albedo_{sw}$ - богино долгионт цацрагийн ойлт

$Albedo_{vis}$ - үзэгдэх гэрлийн цацрагийн ойлт

$Albedo_{nir}$ - хэт улаан туяаны цацрагийн ойлт

$Albedo_{b_{s_{sw}}}$ - хар дэвсгэр гадаргуугаас ойх богино долгионт цацрагийн ойлт (black-sky albedo shortwave)

$Albedo_{w_{s_{sw}}}$ - цагаан дэвсгэр гадаргуугаас ойх богино долгионт цацрагийн ойлт (white-sky albedo shortwave)

$Albedo_{b_{s_{vis}}}$ - хар дэвсгэр гадаргуугаас ойх үзэгдэх гэрлийн цацрагийн ойлт

$Albedo_{w_{s_{vis}}}$ - цагаан дэвсгэр гадаргуугаас ойх үзэгдэх гэрлийн цацрагийн ойлт

$Albedo_{b_{s_{nir}}}$ - хар дэвсгэр гадаргуугаас ойх үзэгдэх хэт улаан цацрагийн ойлт

$Albedo_{w_{s_{nir}}}$ - цагаан дэвсгэр гадаргуугаас ойх үзэгдэх хэт улаан цацрагийн ойлт

LSA - газрын гадаргуугаас ойх ойлт

2.4.2 Судалгааны үр дүн

2.4.2.1 Хур тунадас, температурын өөрчлөлт

Сүүлийн 32 жилийн хур тунадас, температурын өөрчлөлтийг байгалийн бүсээр багцлан улирал, ургалтын хугацаа, жилээр Хүснэгт 7-т үзүүлэв. Ургалтын хугацааг 5 дугаар сараас 9 дүгээр сар хүртэлх хугацаагаар авав. Хүснэгтээс харахад өвлийн улирлаас бусад улирлын сарын дундаж агаарын температур өссөн байгаа ялангуяа зуны улирлын агаарын дундаж температур жилд 0.09 °C –аар (2.9 °C / 32 жилд) өссөн байхад жилийн хур тунадас жилд 0.9 мм –ээр буурсан байна. Дундад өргөрөг дэх хээр, ойт хээрийн бүсэд (46 градусаас хойших) өвлийн температур жилд 0.07 and 0.10 °C – аар, хур тунадас нь 0.9 мм –ээр статистик хамааралгүй өссөн байна. Түүнчлэн намрын хур тунадас бүх бүсийн хувьд дунджаар 0.4 мм-ээр буурсан байна.

Хүснэгт 7. 1981-2012 оны байгалийн янз бүрийн бүслүүр дэх жил, улирлын хур тунадас, температурын өөрчлөлт

Байгалийн бүс	Улирал	Температур (C)			Хур тунадас (мм)		
		r ²	Slope	P value	r ²	Slope	P value
Хээр	Хавар	0.05	0.028	0.223	0.049	0.243	0.216
	Зун	<u>0.33</u>	0.076	0.0004	0.005	-0.352	0.702
	Намар	0.11	0.043	0.05	<u>0.282</u>	-0.596	0.001
	Өвөл	0.03	-0.066	0.339	0.060	0.055	0.171
	Ургалтын хугацаа	<u>0.36</u>	0.065	0.0002	0.021	-0.746	0.422
	Жил	0.13	0.030	0.043	0.016	-0.651	0.485
Цөлөрхөг хээр	Хавар	0.10	0.040	0.07	0.079	0.243	0.112
	Зун	<u>0.44</u>	0.080	0.00002	0.001	0.100	0.840
	Намар	0.19	0.062	0.010	0.083	-0.388	0.104
	Өвөл	0.00	0.013	0.830	0.000	0.004	0.903
	Ургалтын хугацаа	<u>0.49</u>	0.066	0.00001	0.000	-0.016	0.977
	Жил	<u>0.28</u>	0.047	0.002	0.0002	-0.0410	0.9415
Ойт хээр	Хавар	0.05	0.029	0.232	<u>0.127</u>	0.428	0.042

	Зун	0.47	0.082	0.00001	0.030	-0.853	0.333
	Намар	0.09	0.041	0.094	0.015	-0.165	0.491
	Өвөл	0.05	-0.101	0.233	0.037	0.061	0.286
	Ургалтын хугацаа	0.39	0.062	0.00011	0.019	-0.717	0.442
	Жил	0.09	0.027	0.098	0.010	-0.530	0.572

2.4.2.2 Ургамал бүрхэвчид үзүүлэх хур тунадас, температурын нөлөө

Энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд уур амьсгалын үндсэн үзүүлэлт болох хур тунадас, температур ургамал бүрхэвчид (NDVI) хэрхэн нөлөө үзүүлж буйг тодруулах зорилгоор тухайн 2 үзүүлэлт болон NDVI –ийн хоорондох хамаарлыг байгалийн бүсээр сар, улирал, ургалтын хугацаа, жилээр тооцоолон хамаарлын матрицыг Хүснэгт 8 үзүүлэв. 4 дүгээр сарын температур нь 4, 5, 7, 8 дугаар сарын NDVI-тэй эерэг хамааралтай ($r = 0.36 - 0.52$, $p < 0.05$) байна.

Хүснэгтээс харахад ойт хээр ба хээрийн бүсэд 6, 7 сарын хур тунадас ургамлын ургалтад голлон нөлөө эерэг нөлөө үзүүлэх хамааралтай гарсан байхад цөл, цөлөрхөг хээрийн бүсэд 7, 8 сарын температур эерэг нөлөөтэй нь ($r = 0.53 - 0.74$, $p < 0.01$) харагдаж байна. Харин аль ч бүсэд 7 дугаар сарын температур сөрөг нөлөө үзүүлдэг байгаа бөгөөд цөлөрхөг хээрийн бүсэд 8 дугаар сарын температур сөрөг нөлөөтэй нь харагдаж байна.

Хүснэгт 8. Хур тунадас, температур, болон NDVI-ийн хооронд хамаарлын коэффициент, байгалийн бүсээр

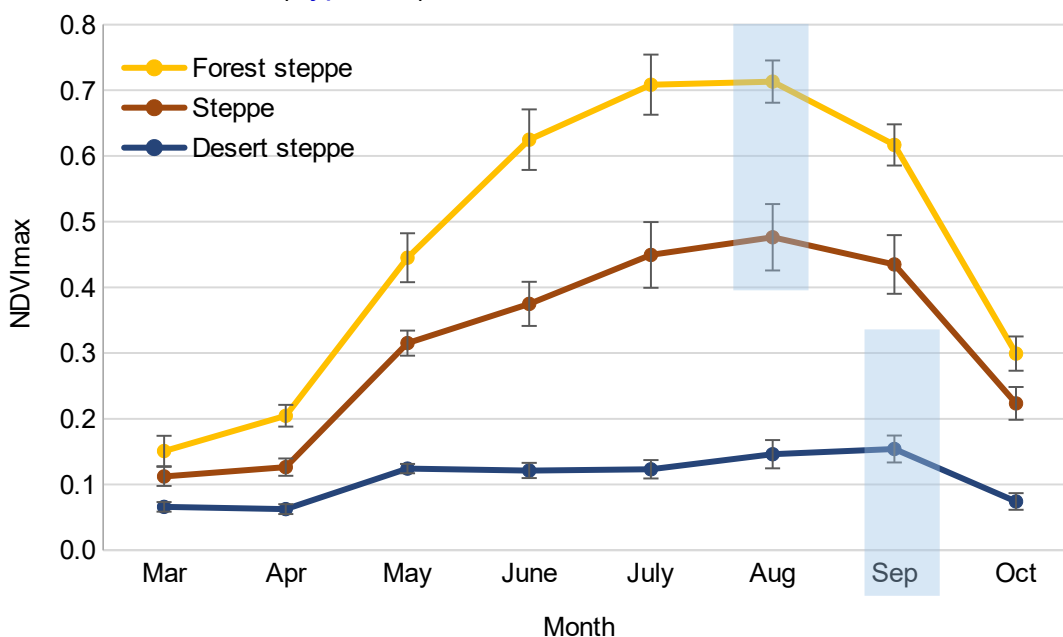
Natural zones	Parameters	Temperature (°C)						Precipitation (mm)						
		Apr	May	June	July	Aug	Sep	Apr	May	June	July	Aug	Se p	
Forest steppe (28 Met. stations)	NDVI _{max_Apr}	0.52*						0.03						
	NDVI _{max_May}	0.36*	0.47*					0.21	0.24					
	NDVI _{max_June}	-0.28	-0.10	0.11				0.33	0.29	0.25				
	NDVI _{max_July}	0.36*	-0.35	-0.01	0.38*			0.32	0.19	0.69*	0.16			
	NDVI _{max_Aug}	0.36*	-0.42*	-0.32	-0.36*	-0.11		0.06	-0.08	0.46*	0.56*	-0.03		

	NDVImax_Sep	-0.12	-0.25	-0.39 ⁺	-0.16	0.02	0.02	0.04	-0.17	0.106	0.49*	0.25	0.04
	NDVImax (GS)	0.37 ⁺	0.38 ⁺	-0.15	0.38*	-0.06	0.02	0.22	0.10	0.61*	0.34	-0.11	0.00
Steppe (17 Met. stations)	NDVImax_Apr	0.17						0.08					
	NDVImax_May	0.17	0.25					0.33	0.41 ⁺				
	NDVImax_June	-0.16	0.01	-0.07				0.16	0.44 ⁺	0.245			
	NDVImax_July	0.05	-0.30	-0.28	-0.35			-0.25	0.17	0.78*	0.56*		
	NDVImax_Aug	0.12	-0.06	-0.34	0.41 ⁺	-0.19		-0.20	-0.02	0.70*	0.75*	0.32	
	NDVImax_Sep	0.19	-0.13	-0.34	0.41 ⁺	-0.19	0.18	0.25	-0.03	0.47*	0.77*	0.47*	0.31
	NDVImax (GS)	0.14	-0.07	-0.32	0.38 ⁺	-0.15	0.20	0.23	-0.01	0.72*	0.72*	0.29	0.21
Desert Steppe (8 Met. stations)	NDVImax_Apr	-0.29						-0.20					
	NDVImax_May	0.37 ⁺	-0.08					-0.18	-0.23				
	NDVImax_June	-0.13	-0.10	-0.19				0.24	0.49*	0.04			
	NDVImax_July	-0.27	-0.20	-0.16	0.35 ⁺			0.13	0.35 ⁺	0.56*	0.41 ⁺		
	NDVImax_Aug	-0.19	-0.01	-0.19	-0.29	0.43 ⁺		0.20	0.30	0.25	0.74*	0.53*	
	NDVImax_Sep	-0.19	-0.01	-0.16	-0.17	0.39 ⁺	0.19	0.01	0.07	0.24	0.55*	0.68*	0.02

Significance level: + 0.05; * 0.01; ** 0.001

2.4.2.3 Ургамлын нормчилсон индекс (NDVI) –ийн сар, улирлын орон зайн өөрчлөлт

Монгол орны төлөөлөх гол 3 байгалийн бүс болох ойт хээр, хээр, цөлөрхөг хээрийн NDVI-ийн утгын олон жилийн дундаж утгын жилийн явцыг [Зураг 48](#)-д үзүүлэв. Зургаас харахад бүх бүсийн хувьд хамгийн бага утга нь 3 дугаар сард (ойт хээрт – 0.150, хээр – 0.112, цөлөрхөг хээр – 0.066) ажиглагдсан байхад хамгийн их утга нь хээр болон цөлөрхөг хээрийн бүсэд 8 дугаар сард ажиглагдсан байна. Харин цөлөрхөг хээрийн бүсэд хамгийн их утга 9 дүгээр сард (0.154) хүрч ажиглагддаг байна ([Зураг 48](#)).

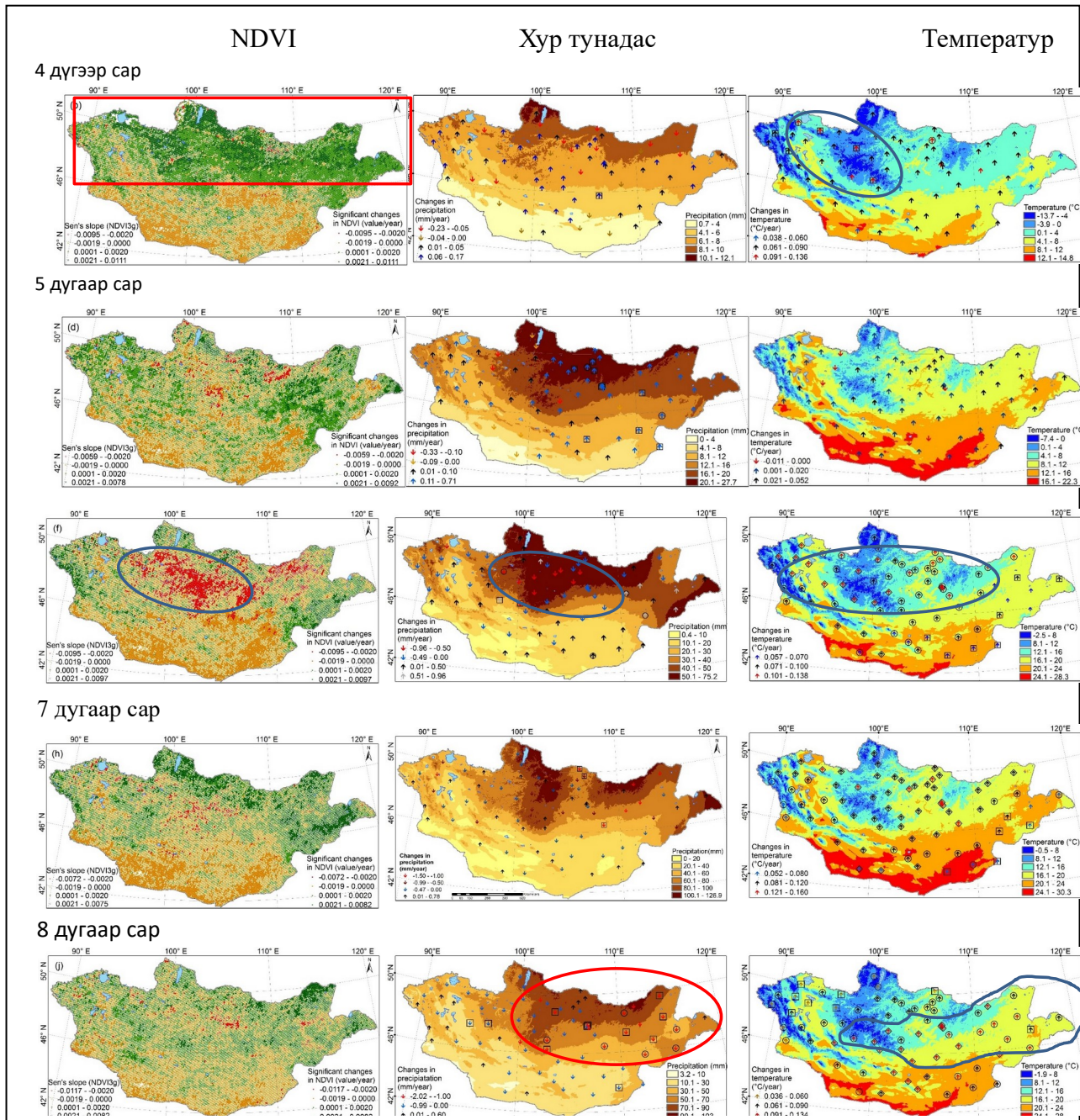


Зураг 48. Сарын NDVI-ийн утгын олон жилийн дунджийн явц

Түүнчлэн сүүлийн 32 жилд ургамал бүрхэвч сар, улирлаар хэрхэн өөрчлөгдөж буй өөрчлөлт, хандлагыг [Зураг 49](#) –д үзүүлэв. Зургаас харахад 4 дүгээр сард Монгол орны 46 градусын өргөргөөс хойших бүс нутагт ургамал бүрхэвч (NDVI) статистик үнэмшилтэйгээр дунджаар жилд 0.0001 – 0.011 –ээр өссөн өсөлт ажиглагдсан байна. Энэхүү өсөлт нь мөн энэ хугацааны хур тунадас, температурын өсөлттэй холбоотой байна (Хүснэгт 8). 4 дүгээр сарын агаарын дундаж температур 0.06 – 0.14 градусаар өссөн байгаа бөгөөд ялангуяа Хангайн уулархаг бүс нутгаар статистик үнэмшилтэйгээр дунджаар 0.11 градусаар өсөж дулаарсан нь ургамлын ургалтад таатай өлөөг үзүүлэн ногоон ургамал бүрхэвчийг нэмэгдүүлсэн байх талтай юм.

Түүнчлэн 6 дугаар сарын ургамал бүрхэвч (NDVI) нь Монгол орны төв хэсгээр хур тунадасны бууралт, температурын өсөлттэй холбоотойгоор нэлээд хүчтэй бууралт ажиглагдсан байна. Мөн говь, цөлийн бүс нутгаар ургамал бүрхэвчийн статистик үнэмшилтэй бууралт 6 дугаар сард ажиглагдсан байна. Харин 7 дугаар сард

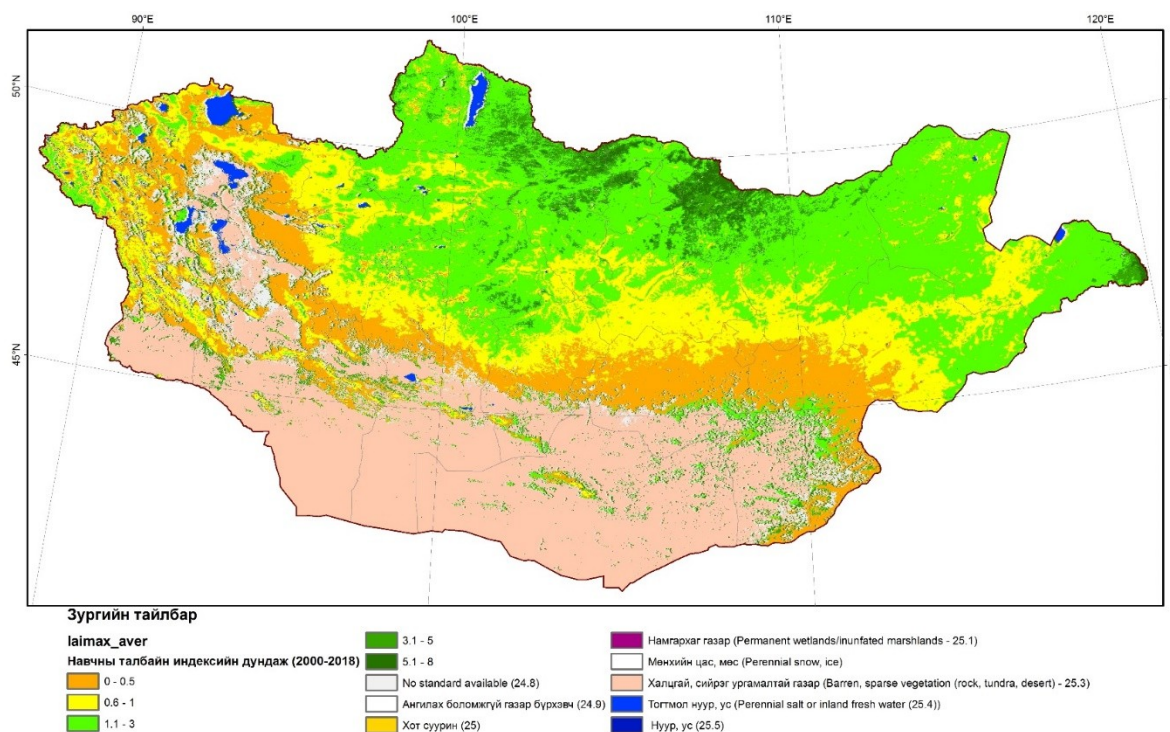
Монгол орны зүүн, төвийн хойд хэсгээр бага зэргийн өсөлт ажиглагдсан байна (Зураг 49)



Зураг 49. Ургалтын хугацааны NDVI, 70 цаг уурын станцын хур тунадас, температурын өөрчлөлт, хандлага. NDVI-ийн зураглалын хувьд тод улаан, ногоон, улбар шаргал өнгөнүүд нь статистик үнэмшилтэй өсөлт, бууралтыг илтгэж байгаа болно.

2.4.2.4 Навчны талбайн индекс (LAI) –ийн сар, улирлын орон зайн өөрчлөлт

Энэхүү судалгаанд ургамал нөмрөгийн өөрчлөлтийг авч үзэхээс илүүтэйгээр навчны талбайг тооцож үзэх илүү үр дүнтэй гэж үзсэн. Учир нь нэгж талбай дахь навчны талбай их байх тусам ургамлын өндөр их байна гэж тооцоолон таамаглалыг дэвшүүлсэн (Rui Mao, Chang-Hoi Ho et al., 2013). Энэ судалгаанд MODIS/LAI бүтээгдэхүүнийг ашигласан бөгөөд говь, цөлийн бүсэд энэ мэдээ нь тодорхойлогддоггүй.

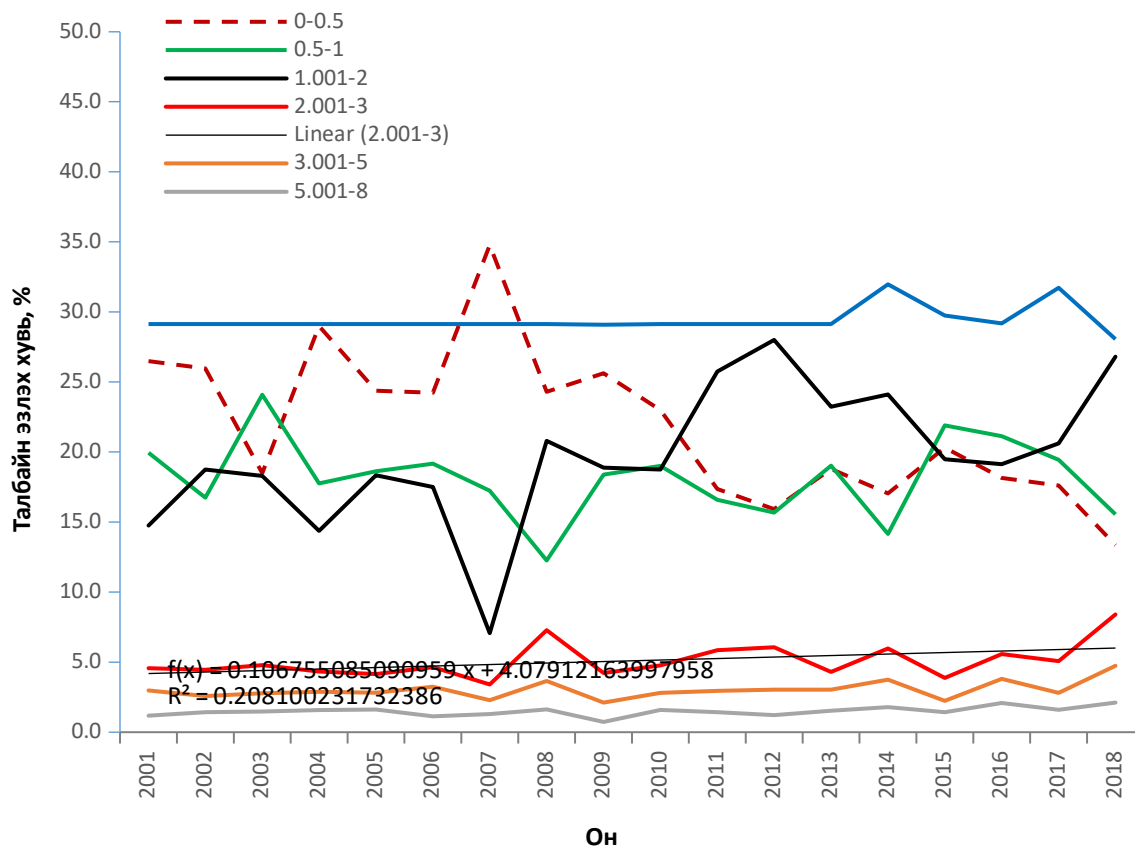


Зураг 50. Навчны талбайн индексийн 2000-2018 оны дунджийн орон зайн хуваарилалт

Навчны талбайн индексийн орон зайн хуваарилалт ерөнхийдөө ургамлын нормчлогдсон индексийн хуваарилалттай адил байдаг ч (Н. Мандах, 2013) дан ойн эзэлсэн талбайгаас бусад газарт харьцангуй бага утгатай байдаг байна (Зураг 50). Хээрийн бүс цөлөрхөг хээрийн бүсийн заагаар шилжилтийн хэсэгт навчны талбайн индексийн хамгийн бага 0-0.5 утгатай муж оршдог байна.

Зураг 51–д Монгол орны навчны талбайн индексийн жилийн хамгийн их утгын тодорхой заагуудын талбайн 2001-2018 өөрчлөлтийн явцыг үзүүлэв. Зургаас харахад 2004 болон 2007 оны навчны талбайн индексийн 0 - 0,5 утгатай байсан талбайн хэмжээ бусад жилүүдээс хамгийн их буюу нийт талбайн 29.1%, 34,8%-ийг, хамгийн бага утга нь 2012, 2018 онд 15.7, 13.4%-ийг эзэлж байсан байна. Энэ нь 2004, 2007 онууд нь гандуу, ургамлын ургалт муу байсныг, харин 2012, 2018 он ургамлын ургалт сайн жил байсныг илтгэж байна (Зураг 51). Энэхүү 0 – 0.5 утгатай байсан талбайн хэмжээ нь сүүлийн 10 жилд тасралтгүй буурч байгааг Зураг 51-с харж болно. Навчны талбайн индексийн утга нь 2 ба түүнээс их байх

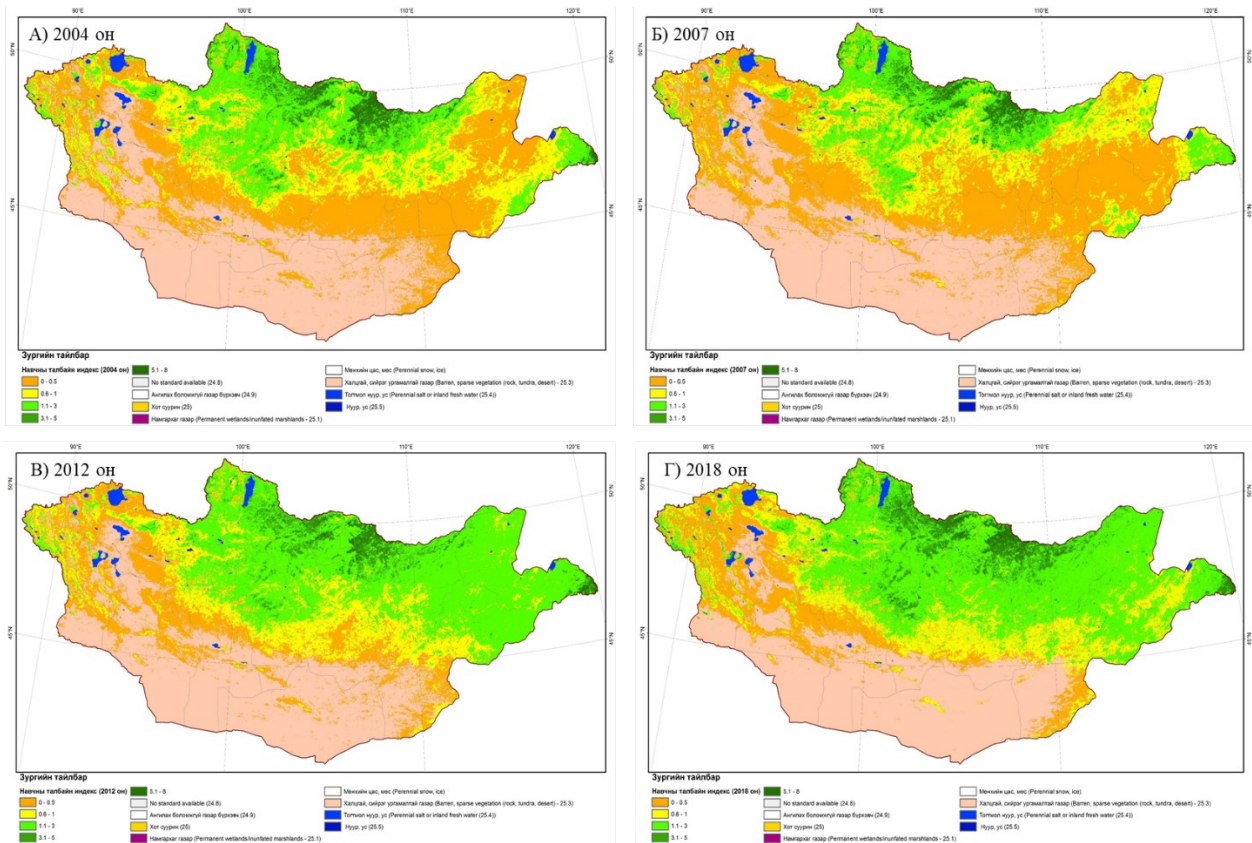
талбайн хэмжээ жилд дунджаар 0.19%-хувиар өссөн байна. Харин навчны талбайн индексийн утга нь 1,0-2,0 байх талбайн олон жилийн явцаас харахад хамгийн их утга нь 2012, 2018 онд, хамгийн бага утга 2004, 2007 онд байсан байна.



Зураг 51. Монгол орны навчны талбайн индексийн жилийн хамгийн их утгын тодорхой заагуудын талбайн олон жилийн өөрчлөлтийн явц

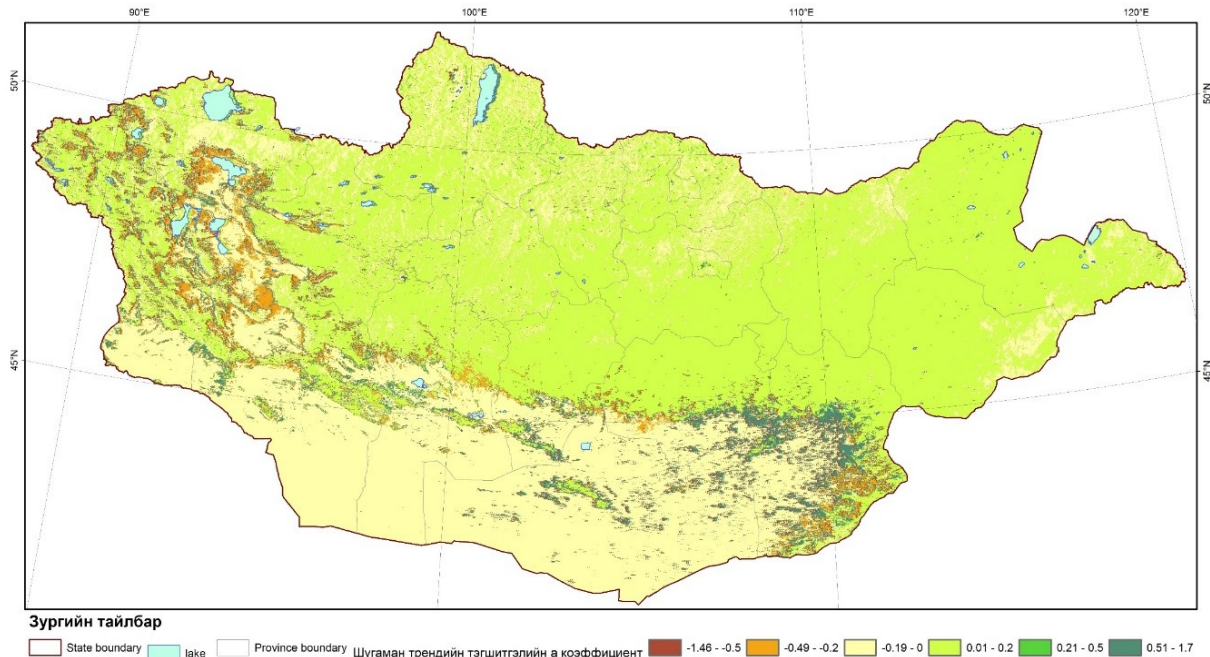
Халцгай, сийрэг ургамалтай талбайн хэмжээ сүүлийн жилүүдэд 3 орчим хувиар нэмэгдсэн байна (Зураг 51). 2004, 2007 онд нутгийн хээрийн бүс, Монгол орны зүүн хэсгээр ургамлын өндөр бага утгатай, ургалт муутай байсныг Зураг 51-с харж болно. Ургамлын ургалт сайн байсан 2012, 2018 онуудын навчны талбайн индексийн орон зайн тархалтыг Зураг 51-ээс харахад 2018 оныг бодоход 2012 он нь Монгол орны төв хэсгийн хээрийн болон цөлөрхөг хээрийн бүсийн зааг нутгаар ургамлын ургалт, өндөр (нягтшил) илүү муу байсан байна.

Ургамлын ургалт муу байсан 2004, 2007 онуудад навчны талбайн индексийн утга Монгол орны зүүн болон төвийн хэсгээр олон жилийн дундаж утгаас 2 дахин бага байсан бана.



Зураг 52. Навчны талбайн индексийн орон зайн тархалт А) 2004, Б) 2007, В) 2012, Г) 2018

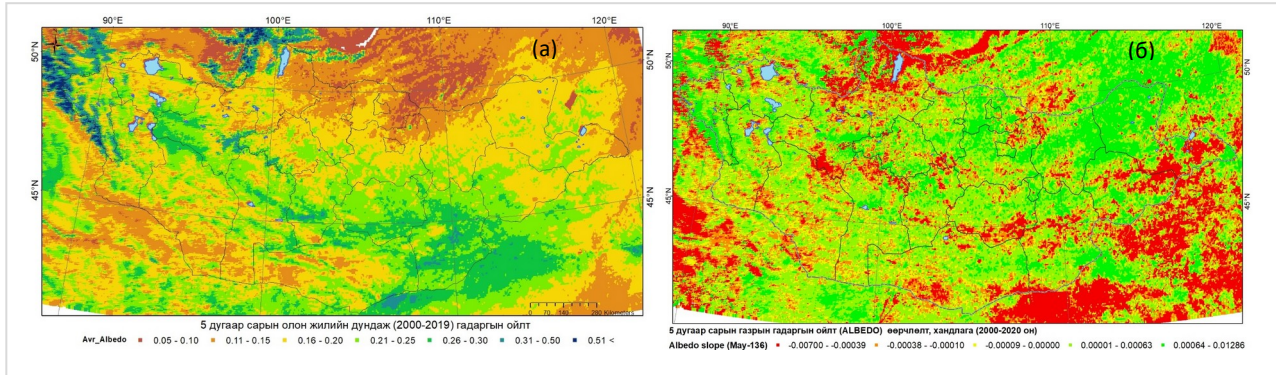
2000 – 2018 оны навчны талбайн индексийн хандлагыг шугаман тэгшитгэлийн “а” коэффициентоор үнэлж үзэхэд хээрийн бүс болон цөлөрхөг хээрийн бүсийн заагаар буюу сийрэг ургамалтай мужийн зааг орчмоор -0.2 – 1.4 хэмжээгээр жилд буурсан байна (Зураг 53).



Зураг 53. Навчны талбайн индексийн хандлага (Шугаман трендийн тэгшитгэлийн коэффициентээр)

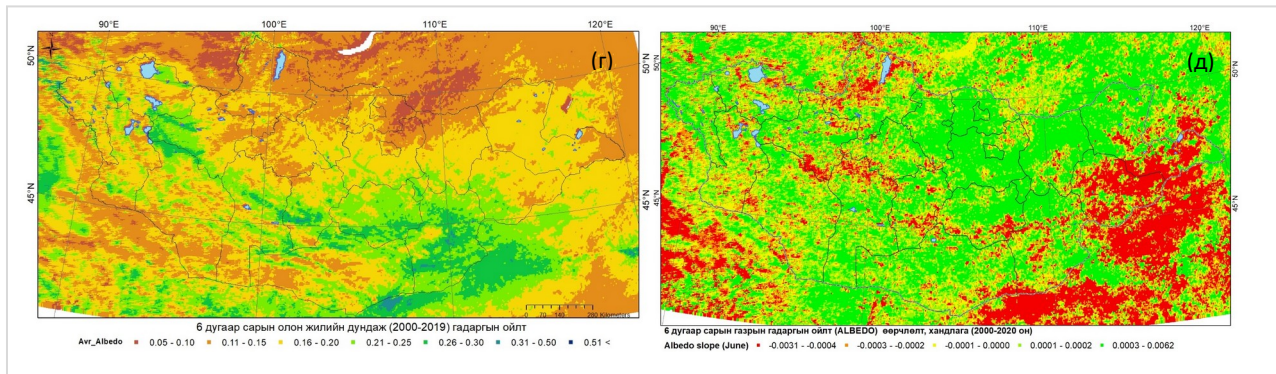
2.4.2.5 Газрын гадаргын ойлтын (LSA-land surface albedo) олон жилийн дундаж, өөрчлөлт

2000–2020 оны МОДИС/Терра хиймэл дагуулын мэдээг бид Монгол орны гадаргуугийн альбеда (LSA) -ийн зуны улиралд (5-р сараас 9-р сар хүртэл) гарсан өөрчлөлтөд дүн шинжилгээ хийсэн. Монгол орны хэмжээнд газрын гадаргаас ойх ойлт (LSA), түүний өөрчлөлтийн талаар хийсэн судалгаа нэлээд ховор байдаг. Иймээс бид сүүлийн 20 жилийн ургалтын хугацааны газрын гадаргаас ойх ойлтын олон жилийн дундаж болон түүний өөрчлөлт, хандлагын зураглалыг хийлээ (Зураг 54-58). Ургамлын ургалтын эхэн үе болох 5 дугаар сард газрын гадаргаас ойх ойлтын олон жилийн дундаж нь Хөвсгөлийн уулс болон Алтайн нуруу орчимд хамгийн их ойлттой (>0.51) байна. Энэхүү ойлт их байгаа нь уулархаг бүс нутагт тогтсон цасан бүрхүүл холбоотойгоор тайлбарлагдах юм. Харин Их нууруудын хотгор болон Өвөрхангай, Дундговь, Дорноговь аймгийн ихэнх нутгаар 0.21-0.50 хооронд буюу гадаргаас ойх ойлт бусад нутгаас их байгаа нь 5 дугаар сард ургамал бүрхэвч бага байдагтай холбоотой юм (Зураг 54а). Зураг 54б-д 5 дугаар сарын сүүлийн 20 жилийн Монгол орны газрын гадаргаас ойх ойлт буюу газар бүрхэвч хэрхэн өөрчлөгдөж буйг үнэлэн, өөрчлөлт, хандлагыг тооцоолон үзэхэд бууралт өсөлт нь нэлээд жигд бус тархалттай байгаа бөгөөд хамгийн их бууралт Дундговь аймгийн өмнөд хэсэг, Дорноговь аймгийн төв, Сүхбаатар аймгийн төв болон зүүн, Дорнод аймгийн өмнөд хэсэг, Завхан, Говь-Алтай аймгийн зааг бүс нутгаар ажиглагдсан байна. Энэхүү бууралт нь энэ нутагт хавар ургамал бүрхэвч, хөрсний гадаргын хөрсний чийгшлийн өсөлттэй холбоотой байж болох юм.

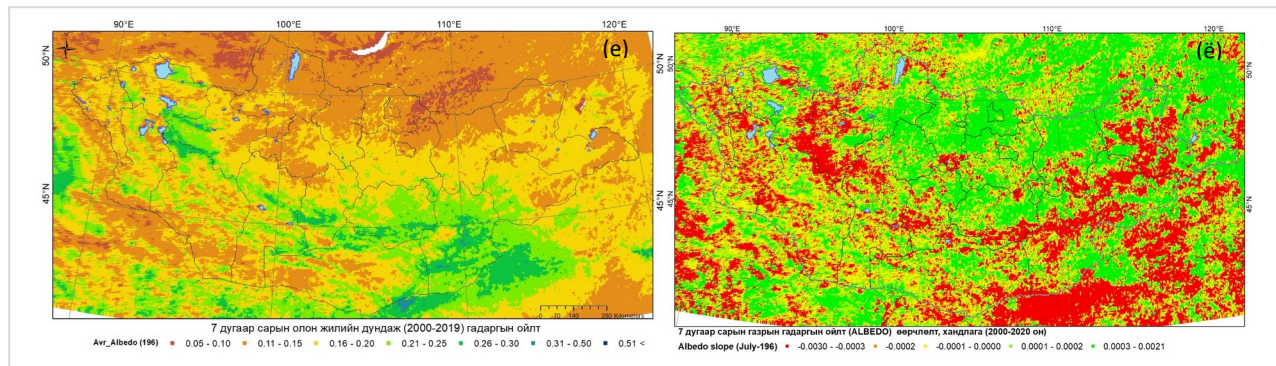


Зураг 54. (а) 5 дугаар сарын газрын гадаргын ойлтын олон жилийн дундаж (б) газрын гадаргын ойлтын өөрчлөлт, хандлага

Зураг 54г, д-д 6 дугаар сарын газрын гадаргаас ойх ойлтын олон жилийн дундаж, түүний өөрчлөлт, хандлагын зураглалыг Монгол орны хэмжээгээр үзүүлсэн. Зураг 55г,56е, 57ж, 58и -ээс харахад 6, 7, 8, 9 дүгээр сарын газрын гадаргаас ойх ойлтын олон жилийн дундаж утгын хамгийн их (0.21<) нь Их нууруудын хотгор болон Өвөрхангай, Дундговь, Дорноговь аймгийн ихэнх нутгаар ажиглагдсан байна. Энэ бүс нутагт ургамлын бүрхэвч багатай сийрэг байдаг говь, цөлөрхөг, хуурай хээрийн бүс нутаг хамрагдаж байна.



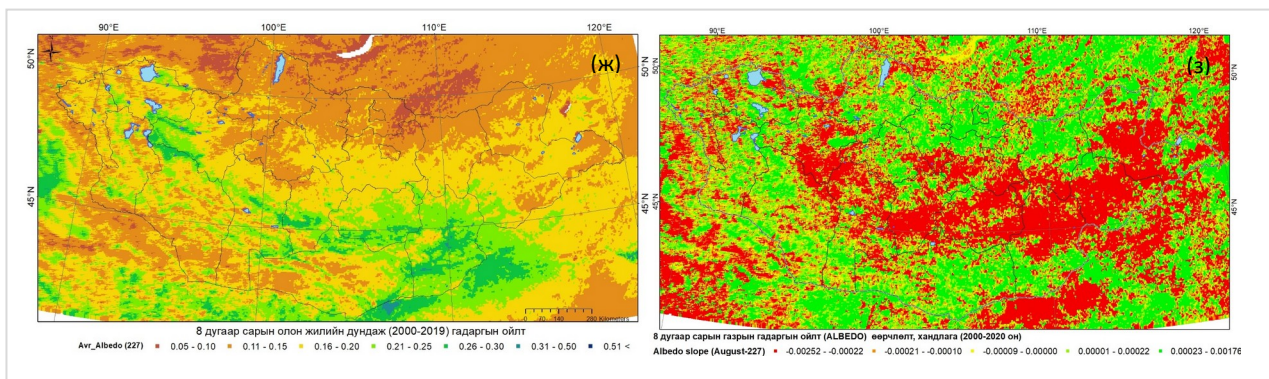
Зураг 55. (г) 6 дугаар сарын газрын гадаргын ойлтын олон жилийн дундаж, (д) газрын гадаргын ойлтын өөрчлөлт, хандлага



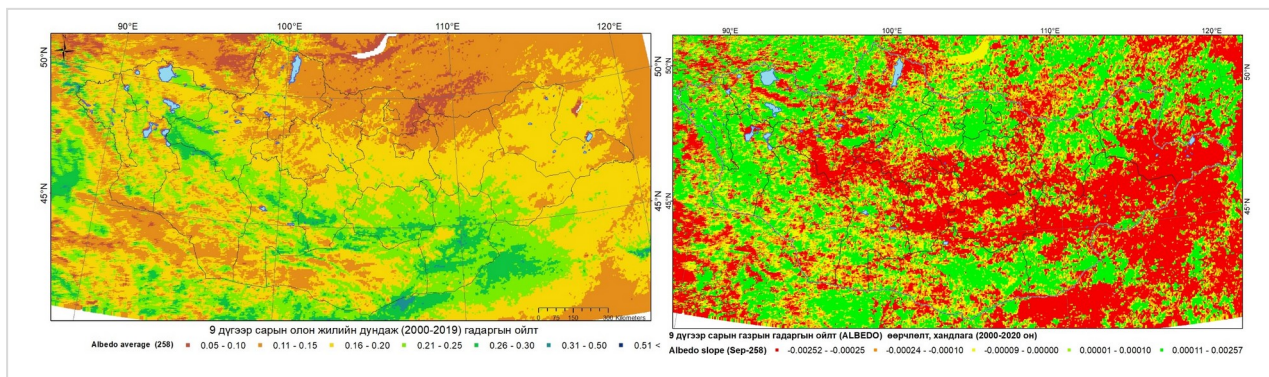
Зураг 56. (ө) 7 дугаар сарын газрын гадаргын ойлтын олон жилийн дундаж (ё) газрын гадаргын ойлтын өөрчлөлт, хандлага

8, 9 дүгээр сарын газрын гадаргын ойлтын өөрчлөлт, хандлагын зургаас (Зураг 57з, 57к) харахад хамгийн их бууралт Монгол орны төв хэсгээр ажиглагдсан байна. Энэ нь энэ бүс нутгаар сүүлийн жилүүдэд ургамлын ногоон масс бага зэрэг нэмэгдэж буйг илтгэн харуулж байна. 9 дүгээр сарын газрын гадаргын ойлтын бууралт нь уур амьсгалын өөрчлөлттэй холбоотойгоор ургамлын ургалтын хугацаа уртсаж буйтай холбоотой байж болох юм. 2000 оноос хойших гангийн давтагдлын ихсэж буйгаас хамаараад газрын дээрх биомассын бууралт Монгол орны зүүн хэсгээр ажиглагдсан байна (Cherlet, M., et al., 2018) гэж бүтээлдээ тодотгосон байна.

Дэлхийн дулаарал эрчимжихийн хэрээр жилийн дөрвөн улирлын үргэлжлэх хугацаа нилээд өөрчлөгдөж байгааг судлаачдад судалгаанд дурьдсан байдаг (Wang, J., et al., 2020, Park, B. J., et al., 2018, Yan Z., et al., 2011). Хойд хагас бөмбөрцгийн дундад өргөргийн зуны улирлын үргэлжлэх хугацаа дундажаар 10 жилд 4 хоногоор уртсаж, өвөл, намар, хавар улирлын үргэлжлэх хугацаа богиносож байна (Wang, J., et al., 2020). Энэхүү зуны улирлын үргэлжлэх хугацаа уртсаж буй нь Монгол орны хээр, болон цөлөрхөг хээрийн бүсийн намрын 9 дүгээр сарын ургамлын ургалтанд эерэг нөлөөлж газрын гадаргуугийн ойлтын буурч буй хандлагын нэг шалтгаан байж болох юм (Зураг 58к).



Зураг 57. (ж) 8 дугаар сарын газрын гадаргын ойлтын олон жилийн дундаж (з) газрын гадаргын ойлтын өөрчлөлт, хандлага



Зураг 58. (и) 9 дүгээр сарын газрын гадаргын ойлтын олон жилийн дундаж (к) газрын гадаргын ойлтын өөрчлөлт, хандлага

2.4.3 Дүгнэлт

- Монгол орны зуны болон ургалтын хугацааны (4 дүгээр сараас 9 дүгээр сар) агаарын дундаж температур сүүлийн 30 жилд 0.062 – 0.082 градусаар ($p < 0.001$) өссөн байна.
- Хур тунадасны хэмжээний хувьд өвөл, хаврын улирал болон цөлөрхөг хээрийн бүсийн зуны улиралд жилд дунджаар 0,004 – 0,243 мм-ээр өссөн байна. Мөн ойт хээрийн бүсийн хаврын хур тунадасны хэмжээ жилд дунджаар 0.42 мм –ээр ($p < 0.05$) өссөн хандлагатай байна. Харин бусад улиралд жилд дунджаар 0.04 – 0.75 мм-ээр буурсан байна.
- Ургамал бүрхэвчинд үзүүлэх хур тунадас, температурын нөлөөллийг үнэлэхэд ойт хээрийн бүсэд 4 болон 5 сарын агаарын температур ургамлын ургалтын эхэн үед (4, 5 сард) ($r = 0,47 - 0,52$ ($p < 0.05$)) эерэг нөлөө үзүүлдэг байна. Энэ нь ургамал эрт цухуйх, ургамлын ургалтын хугацааг уртсах нөхцөлийг бүрдүүлж байна.
- 2000-2018 оны навчны талбайн индексийн жил бүрийн хамгийн их утгын орон зайн тархалтын зургаас дүгнэн үзвэл 2004, 2007 онууд нь гандуу, ургамлын ургалт муу, харин 2012, 2018 он ургамлын ургалт сайн жил байсан байна. Энэхүү ургалтын байдал тухайн жилийн 6, 7 дугаар сарын хур тунадастай шууд холбоотой байна.
- Ургалтын хугацаанд Монгол орны олон жилийн дундаж газрын гадаргуугаас ойх ойлт 0.05-0.5 байдаг ба газрын гадаргуугаас ойх ойлтын хамгийн их нь Их нууруудын хөндий, Дундговь аймгийн өмнөд хэсэг Загийн Усны хөндий, Үхэр чулууны хөндий, Дорноговь аймгийн төв хэсэг Өөшийн говь, Долоодын говиор байдаг байна.
- Монгол орны 8-9 дүгээр сарын газрын гадаргын ойлтын олон жилийн өөрчлөлтөөс харахад хамгийн их бууралт Монгол орны төв хэсгээр буюу 45-

аас 47 дугаар өргөрөгт ажиглагдсан байна. Энэ нь сүүлийн жилүүдэд ургамлын ногоон масс энэ бүс нутгаар бага зэрэг нэмэгдэж буйг илтгэн харуулж байна.

2.5 Бүс нутгийн уур амьсгалын загвар болон шороо, тоосны тархалтын загварт газар бүрхэвчийн параметрийг өөрчилж тооцох

Монгол орны газар нутаг нь ойт хээр, хээр, цөлөрхөг хээр, цөл гэсэн байгалийн үндсэн дөрвөн бүсэд хуваагдах бөгөөд нутгийн баруун хойд болон төвийн хэсэг нь өндөр уулын бүс, зүүн хэсэг нь өргөн тал хээр, өмнөд хэсэг нь цөлөрхөг хээр/говь, цөлийн бүсэд орно. Цөлөрхөг хээр/говь, цөлийн бүс нутаг нь уур амьсгалын хувьд ихээхэн хуурай бөгөөд хур тунадасны ойролцоогоор 90.1 % нь ууршдаг байна (УАӨҮИ-2014). Монгол оронд шороон шуурга хаврын улиралд зонхилон ажиглагдах бөгөөд хөрсний чийг, өнгөрсөн намрын хур тунадасны хэмжээ, ургамлын төлөв байдлаас ихээхэн хамааралта. Дэлхийн дулааралтын нөлөөгөөр манай орны нутаг дэвсгэр дээр гадаргуугийн ууршилт нэмэгдэж, говь, цөлөрхөг хээрийн бүс нутагт хуурайшил ихэссэн, ургамал бүрхэвч багатай зэрэг нь шороон шуурга ажиглагдаж, газрын гадаргаас асар их тоос агаарт дэгдэх дэвсгэр гадаргын таатай нөхцөл болж байгаа юм. Манай оронд хүчтэй салхины үйлчлэлээр шороон шуурга үүсэх бөгөөд шороон шуурганы үед газрын гадаргаас агаар мандалд нарийн ширхэгт тоос, тоосонцор их хэмжээгээр дэгдэнэ. Агаар дахь аэрозол, хатуу эгэл хэсгүүд буюу нарийн ширхэгт тоос, тоосонцрын аэродинамик диаметр нь 10.0, 2.5, 1.0 микрометрээс бага бол харгалзан PM_{10} , $PM_{2.5}$, $PM_{1.0}$ товчлон тэмдэглэнэ (Jugder,2014). Бүс нутаг хамарсан хүчтэй шороон шуурганы үед аль хир хэмжээний нарийн ширхэгт тоос, тоосонцор агаарт хөөрч, хир өндөрт тархаж буйг тоон үзүүлэлтээр харуулсан судалгааны үр дүн манай орны хувьд цөөхөн юм.

Агаар дахь аэрозол, хатуу эгэл хэсгүүдийг шинж чанар, гарал үүслээр нь ялгаж өөр өөрөөр тодорхойлдог. Аэрозолийн хамгийн чухал шинж чанар бол агаар мандалд тогтох хугацаа юм. 0.01-10 мкм хэмжээтэй аэрозол агаар мандалд 4-7 хоног оршин тогтоно (Seinfeld et al, 2006). Агаар мандал дахь аэрозол, эгэл хэсгүүдийн 75%-ийг шороо тоос эзэлдэг байна (Kinne et al., 2006).

Агаар мандлын циклон, түүний фронтын системийн үйлчлэлээр газрын гадаргаас хөөрсөн тоос салхин доод талын улс орны газар нутаг, бүр далай тэнгис рүү зөөгддөг байна. Энэ талаар олон судалгаа хийгдсэн бөгөөд үүний зарим жишээг доор дурдав:

Соколовын судалгаагаар 0.1-0.25 мм-ийн хэмжээний жижиг хэсгүүд 4.5-6.7 м/с, 0.25-0.5 мм-ийн дунд ширхэгтэй элс 6.7-8.4 м/с, 0.5-1.0 мм-ийн том ширхэгтэй элс 9.8-11.4 м/с, 1.0-2.0 мм-ийн бүдүүн ширхэгтэй мөхлөгүүд 11.4-13.0 м/с-ийн хурдтай салхинд тус тус хийсэж зөөгддөг гэжээ (Баасан, 2003).

Зүүн хойд Азид тухайлбал Хятад, Монголын тоосны эх үүсвэр нутгаас Өмнөд Солонгост 1.35-10.0 мкм-ийн хэмжээтэй тоос, тоосонцор шилжин ирж буйг ажиглалт хэмжилтээр гарган дүгнэсэн байдаг (Chun et al., 2001).

1998 оны 4 дүгээр сарын 15-19-ний хооронд Монголын говь цөл, Хятадыг хамарсан хүчтэй шороон шуурга шуурч энэ өдрүүдэд, хүчтэй шороон шуурганы

хил Хятад улсын хойд, зүүн хэсгийг хамран шилжээд 4 дүгээр сарын 20-нд 2000 км сунасан тоосны бүс үүсэж Хятадын зүүн талын далайн эргийг бүрхсэн байна. Энэ шороон үүл нь 04 дүгээр сарын 23, 24-нд Номхон далайг гатлан шилжиж 27-нд Хойд Америкт хүрчээ (Husar et al., 2000).

1999 оны 4 дүгээр сарын 22-нд ажиглагдсан элсэн шуурга хойд Такламаканы цөлөөс эхлэн энэ цөлийн өмнөд захад орших Хотан хот руу шилжин ирсэн байна. Хотан хотын орчны хөрсний гадарга ба тоосны дээжээс харахад тоосны дундаж диаметр 63 ба 130 мкм, хамгийн бага нь 10 мкм диаметрийн хэмжээтэй тоос шилжин ирсэн байна (Nishikawa et al., 2000). Монголын өмнөд болон Хятадын хойд хэсгийн хуурай говь цөлийн бүс нутгаас боссон тоос барууны салхиар шилжин хол замыг туулна (Amarjargal, et al., 2015). Бүдүүн ширхэгтэй тоос (31-62 мкм голчтой) 320 км-т, дунд зэргийн ширхэгтэй тоос (16-31 мкм) 1600 км-т, нарийн ширхэгтэй тоос (<16 мкм) дэлхийн бөмбөрцгийг тойрон зөөгддөг байна (Goudie et al., 2006).

Сүүлийн 70 шахам жилийн дотор Монгол орны нутаг дэвсгэр дээрх жилийн дундаж температур 2.14°C дулаарсан. Мөн сүүлийн жилүүдэд хотжилт, малын өсөлт, газар тариалан эрхлэлт, ойн талбай багасах, уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөгөөр цөлжих зэргээс хамаарч гадарга бүрхэвчийн төрөл хурдацтай өөрчлөгдөж байна. Монгол орны нийт бэлчээрийн 70% ямар нэгэн хэмжээгээр цөлжилтөд өртсөн байна. Энэ ногоон ургамлын масс буурч байгаа явдал нь хаврын улиралд хүчтэй салхины нөлөөгөөр шороон шуурганы давтагдал ихсэж байна.

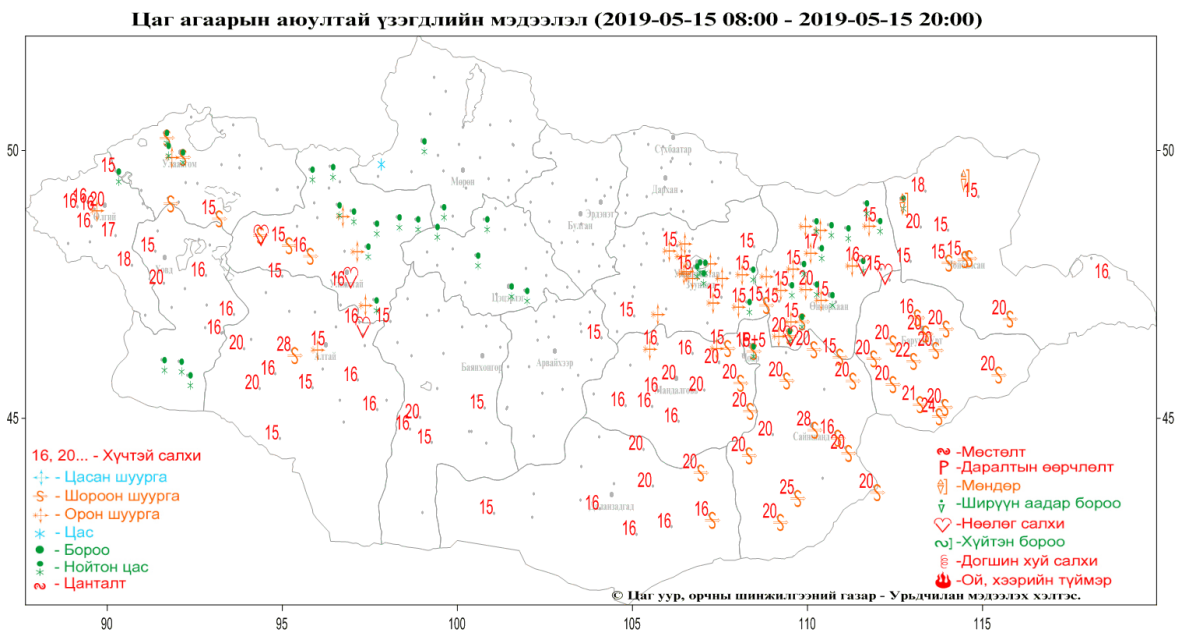
Монгол орны нийгэм эдийн засаг нь цаг агаар, уур амьсгал, байгалийн гамшиг зэрэг байгалийн хүчин зүйлээс ихээхэн хамааралтай учир түүний хувьсал өөрчлөлтийг цаг алдалгүй урьдчилан мэдээлэх нь нэн чухал юм. Цаг агаарын тоон загвар нь өндөр технологид суурилагдсан уур амьсгал, цаг агаарын төлөвийг цаг хугацаа орон зайн өндөр нарийвчлалтай тодорхойлдог бөгөөд дэлхийн ихэнх цаг уурын төвүүд өргөн ашиглаж байна. Шороон шуурганы үед дэгдэж буй тоосны хэмжээг бодит байдалд тооцоход төвөгтэй бөгөөд агаар мандлын тоон загварт үндэслэсэн шороон шуурганы загвараар тооцоолдог.

Энэхүү судалгааны ажлаар цаг агаарын болон шороон шуурганы хосолсон загварыг ашиглан Монгол оронд тохиолдсон онц хүчтэй шороон шуургыг загварчилж, газрын гадарга орчмын тоосны агууламж болон агаар мандалд дэгдэж буй нийт тоосны хэмжээ тооцоолж ажиглалтын мэдээтэй харьцуулах, шороо тоосны дэгдэлтэд ургамал бүрхэвчийн үзүүлэх нөлөөллийг судлах зорилтыг тавьсан.

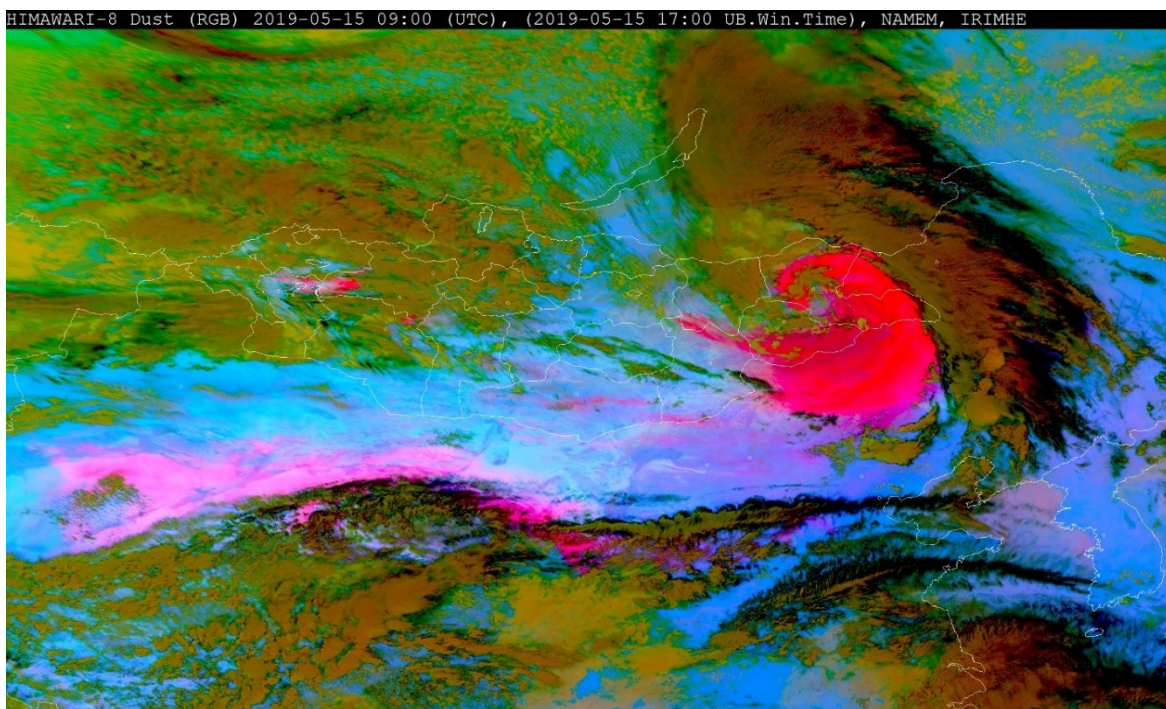
Загварын туршилт явуулсан хүчтэй шороон шуурганы талаарх товч мэдээлэл

Манай орны өмнө болон зүүн зүгийн нутгаар 2019 оны 5 сарын 14-16-ны хооронд онц хүчтэй шороон шуурга шуурч, говь талын нутгаар салхины хурд 18-20

м/с, зарим үед түр зуур 24-28 м/с хүртэл ширүүссэн. Ялангуяа 5 сарын 15-ны өдөр Дорноговийн Сайншанд, Сүхбаатарын Эрдэнэцагаанд салхины хурд түр зуур 28-30 м/с хүрсэн. Сүхбаатар аймгийн Баяндэлгэр, Халзан, Онгон, Уулбаян сумуудад алсын бараа 50м, Дорноговь аймгийн Дэлгэрэх, Хөвсгөл сумуудад онц аюултай түвшинд хүрч 20 м хүртэл алсын бараа муудсан.



Зураг 59. Цаг агаарын аюултай үзэгдлийн ажиглалтын зураг (2019-05-15 20:00 УБ)



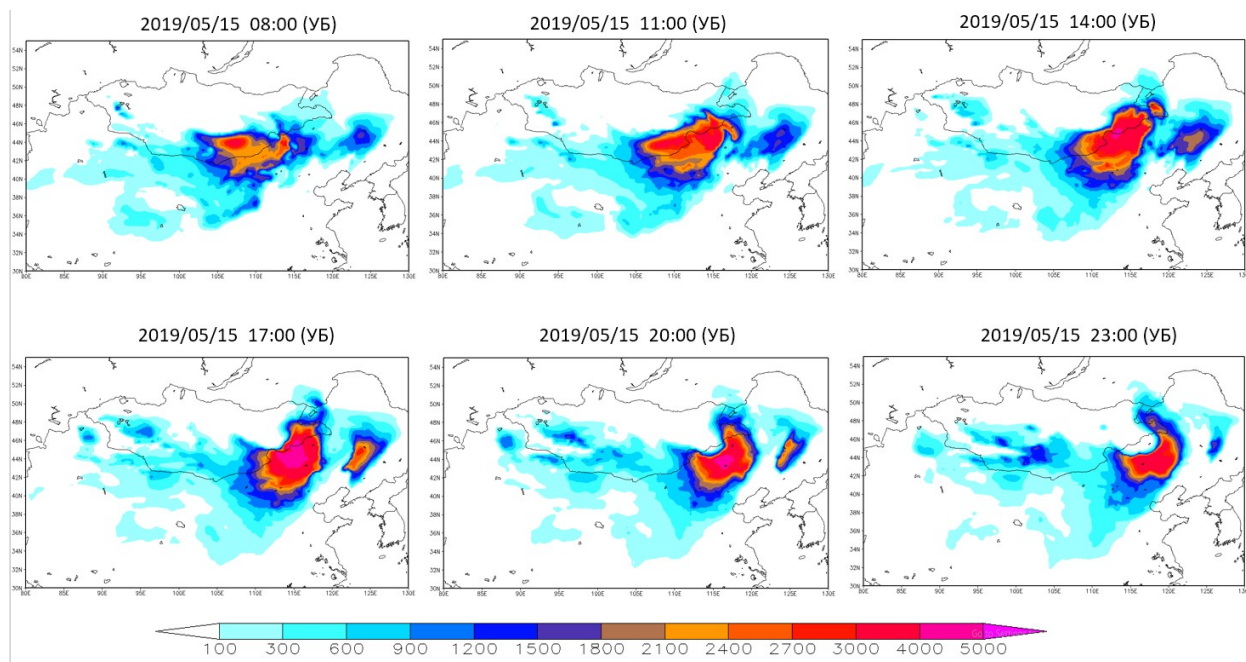
Зураг 60. HIMAWARI байран хиймэл дагуулын шороон шуурганы зураг /2019-05-15 17:00 УБ/

2.5.1 Судалгааны үр дүн

2.5.1.1 Газар бүрхэвчийн параметр болох НУБ-ыг бодит байдлаар тооцоолсон ADAM загварын үр дүн:

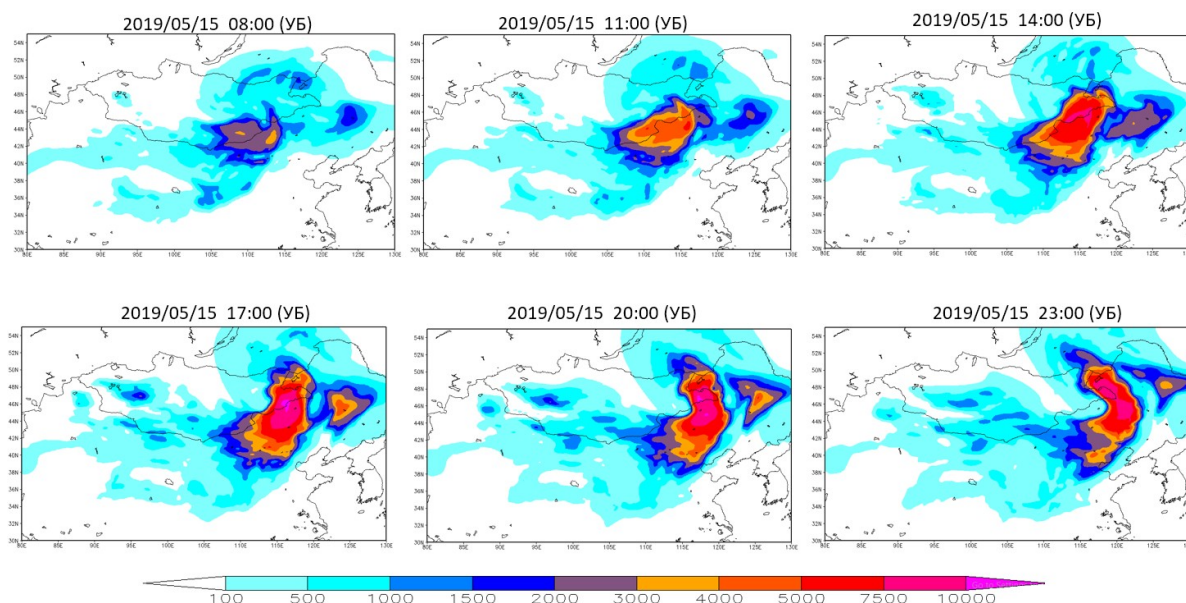
Зураг 61-д 2019 оны 5 сарын 15-ны 08, 11, 14, 17, 20 болон 23 цагт газрын гадарга орчмын PM_{10} -ын тоосны хэмжээ тооцсон болно.

Энэ хүчтэй шороон шуурга нь хурдан шилжилттэй гүнзгий циклоны нөлөөгөөр бий болсон. Энэхүү циклон нь Дорноговь аймгийн нутагт эрчимтэй гүнзгийрч хурдтайгаар нутгийн зүүн хэсэг рүү шилжсэн ба үдээс хойш 17 цагийн үед хүйтэн фронтын нөлөөгөөр циклоны ар талд маш их хэмжээний тоос агаар мандалд дэгдсэн юм. Зургаас харахад өглөөний 08 цагаас эхлэн Дорноговь аймгийн нутгаар шороон шуурга шуурч эхлэх үед газрын гадарга орчмын тоосны хэмжээ $2500-3000\text{мкг/м}^3$ байсан бол 11,14 цагийн циклон хурдтайгаар Сүхбаатар аймгийн нутаг руу шилжсэн. 17 цагийн үед салхины хурд ихсэж $25-30\text{ м/с}$ хүрсэн. Энэ үеэр PM_{10} -ын хэмжээ 5000 мкг/м^3 -аас их болсон бөгөөд Дорноговь аймгийн Дэлгэрэх, Хөвсгөл сумуудад алсын бараа 20м хүрсэн юм.



Зураг 61. 2019 оны 5 сарын 15-ний өдөр болсон онц хүчтэй шороон шуурганы газар орчмын PM_{10} -ийн хэмжээ ($\text{мкг}/\text{м}^3$)

Энэ үер агаар мандалд дэгдсэн нийт тоосны хэмжээг PM_{10} -ын хэмжээгээр зураг 62-д харуулав. Шороон шуурганы оргил үе болох 17 цагийн үед агаар мандалд дэгдсэн нийт тоосны хэмжээ нь $10'000\text{мг}/\text{м}^2$ хүрсэн. Энэ нь хурдан шилжилттэй гүнзгий циклоны ар талд бий болсон бөгөөд хаврын улиралд Монгол орны говийн нутгаар агаар болон хөрсний чийг маш бага болох үед хөрснөөс их хэмжээний шороо дэгдэх нөхцөл бүрддэг байна.



Зураг 62. 2019 оны 5 сарын 15-ний өдөр болсон онц хүчтэй шороон шуурганы үер агаар мандалд дэгдсэн тоосны PM_{10} -ийн хэмжээ (mg/m^3)

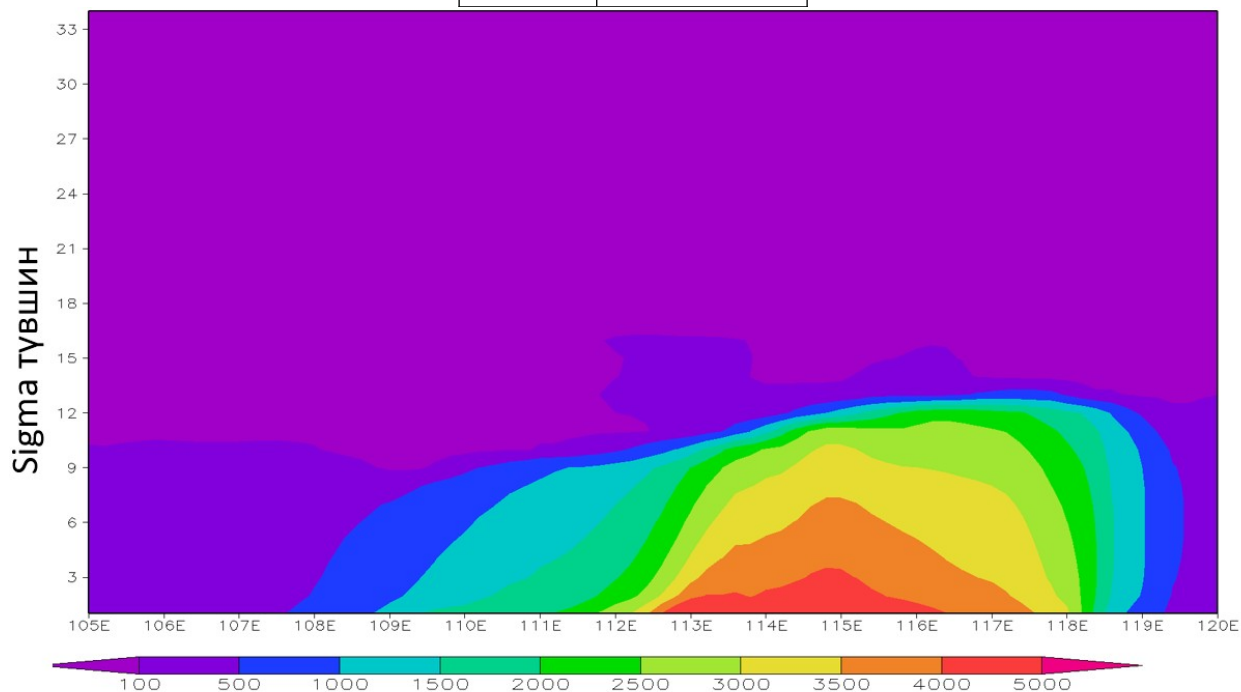
Хүчтэй шороон шуурганы хамсарсан газар нутаг нь өргөөшөө 500 орчим км, уртаашаа 800 км газар нутгийн хамарсан байна. Монгол орны нутгаар авч үзвэл 15-ны өдрийн 17 цагт Сүхбаатар аймгийн өмнө хэсгээр агаар мандалд дэгдсэн тоосны агууламж нь $11000 mg/m^3$ хүрсэн байна.

Зураг 63-д Агаар мандалд дэгдсэн тоос шорооны тархалтын өндрийг харуулахын тулд шороон шуурганы оргил үе болох 15-ны өдрийн 17 цагийн үеийн ADAM загварын үр дүнгээр өргөргийн 46° -аар босоо хөндлөн огтлол хийж үзүүлэв. Зургаас харахад тухайн үед агаарт дэгдсэн тоос нь газрын гадаргаас дээш 3км өндөр тархсан байна. Загвар нь Sigma түвшнээр газрын гадаргаас дээших өндрийг илэрхийлдэг. Хүснэгт 9-д sigma түвшнийг газрын гадаргын өндөртэй харьцуулсан утгыг харуулав.

Хүснэгт 9. Sigma түвшин болон газрын гадаргаас дээш өндөр

Sigma түвшин	Height (м)
1	23-29
2	82-100
3	165-195
4	265-325
5	400-480
6	560-680
7	760-920
8	1020-1220
9	1290-1590

10	1600-1950
11	1900-2350
12	2350-2900
13	1950-3650



Зураг 63. Агаар мандлын босоо чиглэл дэх тоосны агууламж /Sigma түвшнээр/, (мкг/м³), Өргөргийн 46°-аар хөндлөн огтлол хийсэн.

Тоосны агууламж нь газрын гадарга орчимд 4000-5000 мкг/м³ хүрсэн ба энэ нь Монгол улсын засгийн газраас тогтоосон PM₁₀-ийн хүлцэх хэмжээнээс 40-50 дахин их байна.

Хүснэгт 10-д хүчтэй шороон шуурга ажиглагдсан бүс нутагт агаар мандалд дэгдсэн нийт тоосны хэмжээг тооцоолж гаргасан.

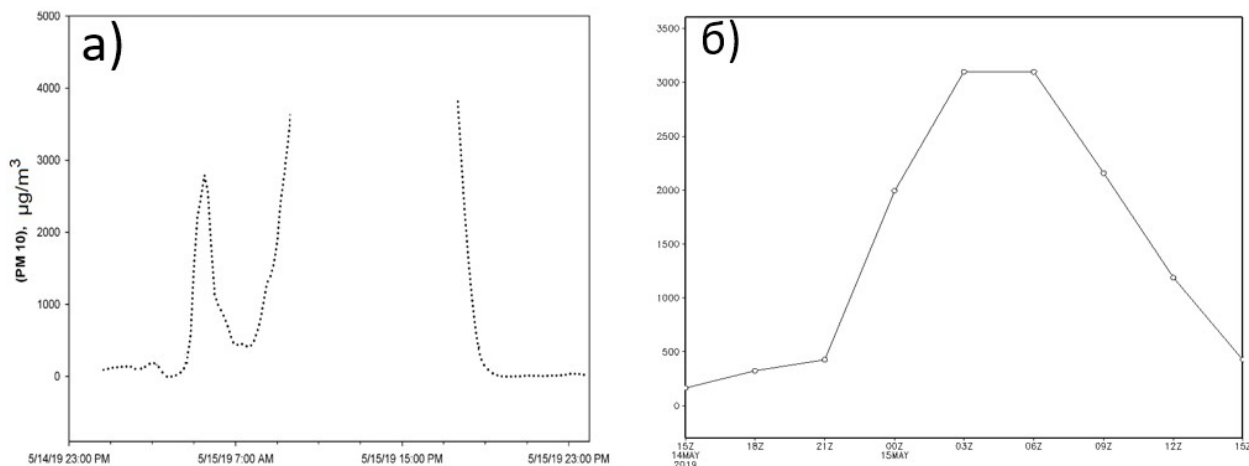
Хүснэгт 10. Агаар мандалд дэгдсэн нийт тоосны PM₁₀ хэмжээ /тонн/, (ЗУ 87°-121°, ХӨ 41°-53°)

Огноо	PM ₁₀ /тонн/	Уналт /тонн/
2019-05-14 11:00	54,159	8,561
2019-05-14 14:00	448,537	99,336
2019-05-14 17:00	923,650	175,802
2019-05-14 20:00	1,162,155	170,959

2019-05-14 23:00	1,224,496	126,112
2019-05-15 02:00	1,258,613	129,755
2019-05-15 05:00	1,338,720	181,794
2019-05-15 08:00	1,670,409	326,588
2019-05-15 11:00	2,438,391	596,862
2019-05-15 14:00	3,324,034	881,037
2019-05-15 17:00	3,789,038	972,858
2019-05-15 20:00	3,687,394	706,501
2019-05-15 23:00	2,996,749	397,546
2019-05-16 02:00	2,270,443	282,556
2019-05-16 05:00	1,985,307	226,138
2019-05-16 08:00	1,845,894	265,715
2019-05-16 11:00	2,027,939	458,368
2019-05-16 14:00	2,627,337	643,722
2019-05-16 17:00	3,086,006	720,202
2019-05-16 20:00	2,582,553	524,966
2019-05-16 23:00	1,845,306	324,779
2019-05-17 02:00	1,395,088	233,972
2019-05-17 05:00	1,145,117	152,771
2019-05-17 08:00	1,067,659	198,558

Хүснэгтээс харахад шороон шуурганы хамгийн эрчимтэй үед /15-ны өдрийн 17 цаг/ тухайн бүс нутагт агаар мандалд 3.789 сая тонн тоос шороо агаар мандалд дэгдэж тухайн үед 972 мянган тонн тоос шороо унасан байна.

ADAM загварын үр дүнг үнэлэхийн тулд Дорноговь аймгийн Эрдэнэ суманд суурилуулсан шороон шуурганы мониторингийн ажиглалтын мэдээтэй харьцуулсан.



Зураг 64. PM₁₀-ийн хугацааны явц (2019-05-14 23:00~2019-05-15 23:00), ажиглалт (а), ADAM загварын үр дүнг (б), Дорноговь аймаг, Эрдэнэ сум.

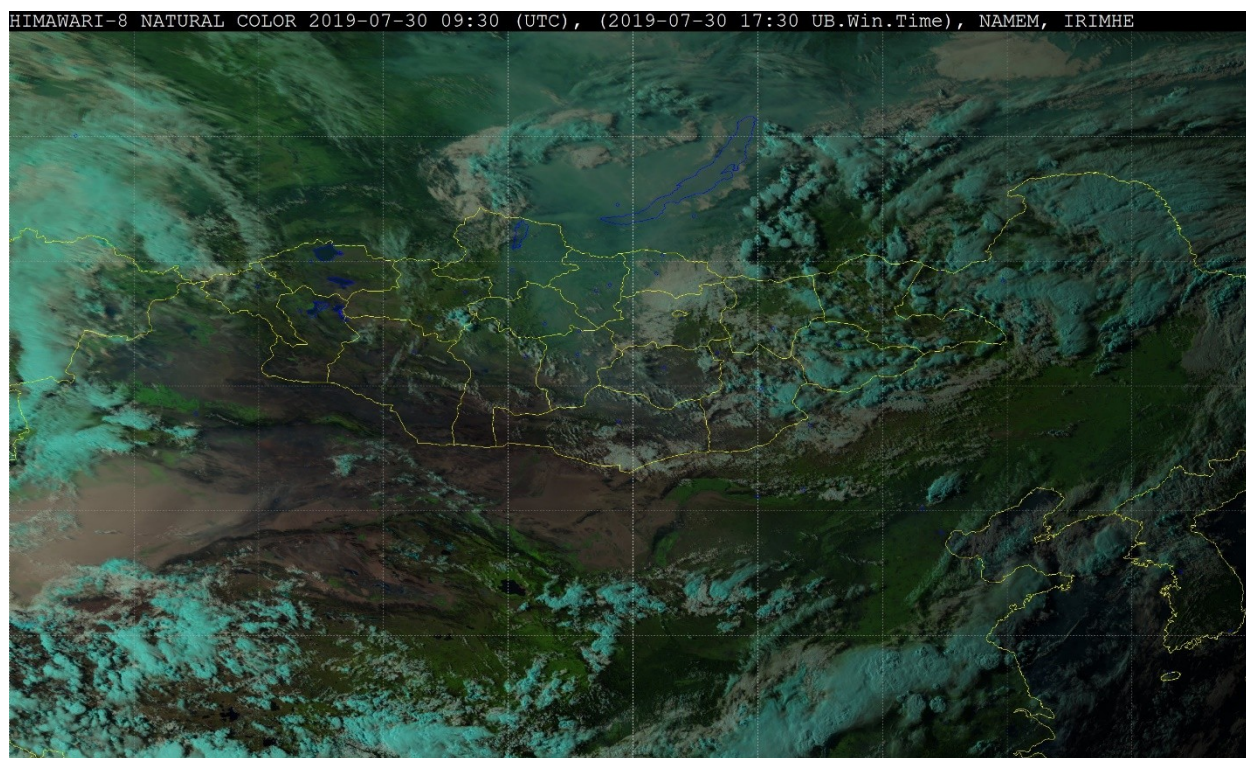
Эрдэнэ сумын ажиглалтын мэдээгээр 2019-05-15-ны 11 цагийн орчимд PM-ын хэмжээ 3500µм/м³ хүрсэн бөгөөд энэ үед хүчтэй шороон шуурганы улмаас төвийн бүсийн цахилгааныг хязгаарласан байна. Тухайн ажиглалтын станц нь нөөц батарейгүй шууд цахилгааны эх үүсвэрээр ажилладаг. Орой 18 цагийн орчимд төвийн бүсийн цахилгааны хязгаарлалтыг зогсоож хэмжилтийн станц ажиллаж эхэлсэн. Энэ үеийн хэмжилтээр PM-ын хэмжээ 3800µм/м³ орчим байсан байна. Цахилгааны доголдлоос хамаарч хамгийн их утга нь хэд байсан нь тодорхойгүй байгаа юм. ADAM загварын үр дүнгээр өдрийн 11-14 цагийн хооронд PM-ын хэмжээ 3100µм/м³ гэж тооцоолсон байна. Эндээс харахад ажиглалтын мэдээгээр хамгийн их хэмжээ нь 3800µм/м³-аас их хэмжээтэй байсан гэж үзэж болохоор байна. ADAM загварын үр дүнг ажиглалтын мэдээтэй харьцуулж үзэхэд PM₁₀-ын хугацааны явц, тоон утга сайн таарч байна гэж дүгнэж байна.

2.5.1.2 Шороон шуурганы ADAM загвараар түймрийн утааны шилжилтийг тооцоолох

2019 оны 7 дугаар сарын 30-ны өдөр Улаанбаатар хотын агаар их хэмжээний түймрийн утаагаар бүрхэгдсэн. Японы цаг уурын албаны HIMAWARI-8 байран хиймэл дагуулын мэдээний тусламжтайгаар түймрийн утааны голомт болон тархалтыг илрүүлсэн. Утаа Төв Сибирийн Байгал нуур орчмын газар нутагт гарсан түймрийн улмаас Монгол орны төвийн нутгийн ихэнх хэсгээр тархсан байв. Түймрийн улмаас агаарын бохирдол мэдэгдэхүйц хэмжээгээр нэмэгдсэн.

Түймрийн утаа нь агаар дах тоосонцрын хэмжээг нэмэгдүүлэх ба тоосонцрын загварыг ашиглавал түймрийн утаан тархалтыг тодорхойлох боломжтой юм. ADAM загвар нь 0.2-74μм хэмжээтэй тоосонцрын зөөгдөл, дэгдэлтийг тооцоолдог ба хэмжилтийн багажууд нь PM₁₀ буюу 10 μм хүртэл голчтой тоосонцрын хэмжээг илэрхийлдэг болно. Иймд ADAM загварын үр дүнгээс PM₁₀ тоосонцрын хэмжээг ялгаж авч тархалтыг тодорхойлов. ADAM загвар нь WRF загвараас агаарын мандлын мэдээллээ авч ашигладаг болно.

Туршилтыг 2019 оны 7 дугаар сарын 28~31-ны өдрүүдээр явуулсан бөгөөд Монгол орны төвийн нутагт төв Сибирийн нутаг дэвсгэрээс их хэмжээний түймрийн утаа зөөгдөн ирсэн цаг хугацааг давхцуулан авч газар орчмын PM₁₀-ын тоосны тархцыг загварчлав (Зураг 68).

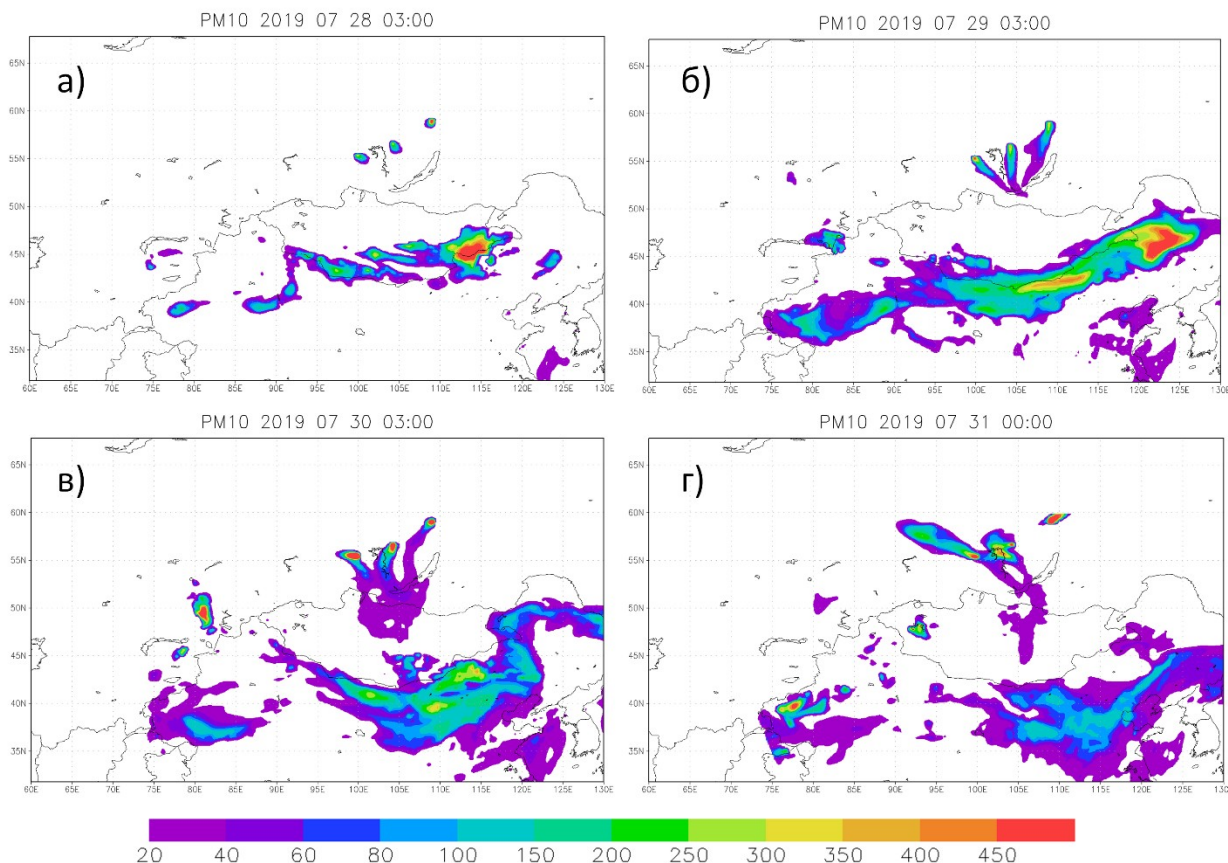


Зураг 65. HIMAWARI байран хиймэл дагуул дээрх түймрийн утааны тархцын зураг /2019-07-30 09:30 UTC/

Зураг 68-с харахад түймрийн утааны голомт Байгал нуурын хойд хэсгээс Монгол орны төвийн хэсэг хүртэл эрчимтэй тархаж байна. Энэхүү тархалт нь Монгол орны агаарын тээвэр болон ачаа тээврийн хэвийн ажиллагаанд саад учруулах боломжтой бөгөөд хүний эрүүл мэнд аюулгүй байдалд нөлөөлж болзошгүй нөхцөл үүссэн үед тоосонцрын тархцыг орон зай болон цаг хугацааны хувьд хэрхэн урьдчилан тооцоолох боломжийг тодорхойлоход туршилтын зорилго оршино.

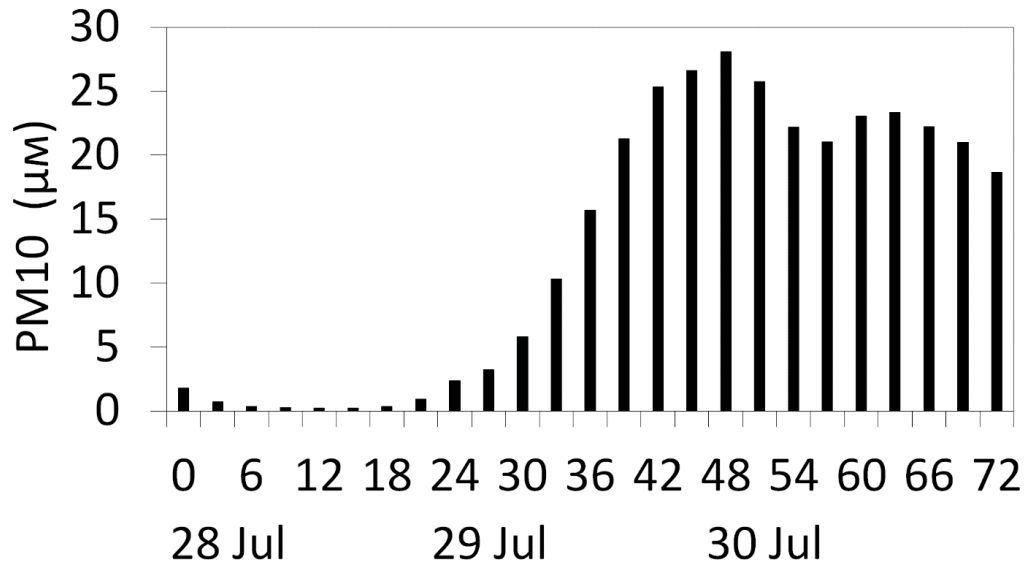
Бид түймрийн тархалтын зураглалыг гаргахын гол зорилго болгосон бөгөөд үүний тулд Байгал нуурын хойд хэсэгт гурван зохиомол түймрийн голомтыг эх үүсвэр болгож загварт оруулсан (Зураг 68a). Үүний дараагаар ADAM загвараа 72 цаг

ажиллуулж түймрийн утаа хэрхэн тархахыг PM_{10} -ийн тусламжтайгаар тодорхойлсон. Зургаас харахад PM_{10} -ийн тархалт 7 дугаар сарын 29-ний 03 цаг хүртэл түймрийн утаа Монгол орны хилийг даваагүй байсан байна (Зураг 68б.). Харин 7 дугаар сарын 30 болон 31-ний өглөөний байдлаар Монгол орны төвийн нутгийн хойд хэсгээр зонхилон тархсан байна (Зураг 66в болон 66г).



Зураг 66. ADAM загварын PM_{10} тоосонцрын гаралтын тухайн хугацааны үр дүн.

Төвийн нутгийн хойд хэсгээр тоосонцрын хэмжээ цаг хугацааны хувьд хэрхэн тархсаныг 3 дугаар зурагт үзүүлэв. Орон зайн дунджийг $3U102^{\circ}$ - 108° болон ХӨ 47° - 52° градусын хооронд тодорхойлов. Графикаас харахад 7 дугаар сарын 28-ны өдөр PM_{10} -ийн хэмжээ бага байсан ба 7 дугаар сарын 29-ны өглөөнөөс 7 дугаар сарын 31-ны өглөө хүртэл PM_{10} -ийн тоосонцрын хэмжээ Монгол орны төвийн нутгийн хойд хэсгээр өссөн байна (Зураг 69). PM_{10} -ын дундаж хэмжээ 7 дугаар 28 өдөр $0.6 \mu\text{m}^3$ байсан бол 7 дугаар сарын 29 болон 30-ны өдрүүдэд $13.8 \mu\text{m}^3$ болон $23.3 \mu\text{m}^3$ болон нэмэгдсэн байна. Энэ нь хиймэл дагуулын зургаас байгаль нуурын хойноос шилжин ирж буй утааны тархалттай цаг хугацааны хувьд тохирч байна (Зураг 66).



Зураг 67. ADAM загварын PM10 тоосонцрын орон зайн дундаж тархалт. Орон зайн дунджийг уртрагийн 102-108 болон өргөргийг 47-52 градусын хооронд авав.

Энэхүү туршилтад бодит түймрийн голомт болон бодит тоосонцрын мэдээг ашиглаагүй. Туршилтын зорилго нь ADAM загварт түймрийн голомтыг эх үүсвэрийг оруулснаар утааны тархалтыг орон зай болон цаг хугацааны хувьд загвар хэрхэн тооцоолж буйг харуулахыг зорьсон тул аливаа бодит ажиглалтын мэдээтэй харьцуулах боломжгүй юм.

2.5.2 Дүгнэлт

Энэхүү сэдэвт ажлаар WRF тоон загварын үр дүнгээр анхны нөхцөлөө болгон ажилладаг Азийн шар шороон шуурганы ADAM загварын үр дүнд анализ хийж, шороон шуурганы мониторингийн ажиглалтын мэдээтэй харьцуулж үнэлэлт хийсэн.

ADAM загварын үр дүнгээр хүчтэй шороон шуурганы үед газрын гадарга орчимд PM₁₀-ын хэмжээ 3000-5000µм/м³ хүрч байгаа нь хүлцэх хэмжээнээс 30-50 дахин их байдаг байна. Агаар мандалд дэгдсэн нийт PM₁₀-ын хэмжээг тооцож үзэхэд хамгийн ихдээ 11000мг/м² хүрдэг байна. Загварын үр дүнгээс агаар мандалд дэгдсэн нийт тоосны хэмжээ нь хамгийн оргил үедээ тодорхой бүс нутгаар (ЗУ105°-120°, ХӨ 41°-53°) тооцоолоход 3.8 сая тонн шороо тоос агаар мандалд дэгдэж, тухайн үед 973 мянган тонн тоос шороо унасан байна. Эдгээр загварын үр дүнг Дорноговь аймгийн Эрдэнэ сумын шороон шуурганы мониторингийн ажиглалтын мэдээтэй харьцуулахад шороон шуурганы явц, PM₁₀-ын тоон утгыг сайн дүрсэлж тооцоолсон.

2019 оны 7 дугаар сарын 28-аас 31-ны өдрүүдээр Сибир-т тохиолдсон их хэмжээний газар нутаг хамарсан түймрийн голомтыг PM₁₀-ын эх үүсвэр болгож ADAM загварт оруулж түймрийн утааны тархалтын явцыг тооцож туршилтыг

хийсэн. Энэхүү туршилтын үр дүнгээр загвар нь түймрийн тархалтыг сайн дүрсэлж үзүүлсэн нь хиймэл дагуулын зурагтай харьцуулж үр дүнгээс харагдаж байна.

Энэ судалгааны ажлаар шороон шуурганы ADAM загварыг ашиглан онц хүчтэй шороон шуургыг загварчилж үзүүлсэн. ADAM загвар нь онц аюултай үзэгдлийн үеийн температур, тоосны агууламжийг цаг хугацаа болон орон зайн хувьд сайн үр дүнг өгч байна. Мөн түймрийн болон агаар бохирдуулагч хийн эх үүсвэрийг АДАМ загварт оруулж тооцвол тухайн үзэгдлийн тархалтыг нарийвчлан гаргах боломжтой юм.

2.6 Агаар мандал дахь шороо тоосны босоо тархалт, түүнд үзүүлэх цаг агаарын хүчин зүйлсийн нөлөөллийг судлах

2.6.1 Оршил

Дэлхийн цаг уурын байгууллагын тодорхойлсноор шороон шуурга нь тухайн бүс нутагт тоос, шороо салхиар зөөгдөх үзэгдэл бөгөөд цаг уур, уур амьсгалын онцлогоос хамаарч харилцан адилгүй тохиолддог байгалийн үзэгдэл гэж тодорхойлсон байдаг. Энэхүү байгалийн үзэгдэл нь хэдхэн минут үргэлжлэх жижиг хэмжээтэй циклонлог хуйлралаас удаан хугацаагаар үргэлжлэх хүчтэй синоптикийн хэмжээний циклоны араас их даралтын орны түрэлтийн үр дүнд бий болдог.

Хүчтэй салхи болон түүнтэй холбоотой цаг агаарын аюултай үзэгдэл тухайлбал шороон шуурга нь хүний үйл ажиллагаа болон нийгэм эдийн засгийн салбаруудад сөрөг нөлөөтэй. Өндрийн фронтын бүсэн доор өндрийн хотос Монгол орны нутаг дээр байрлахтай холбоотойгоор газрын гадарга орчимд циклоны үйлчлэл идэвхтэй болохоос гадна түүний араас эсрэг циклон түрэх үед даралтын хэвтээ шатлал ихсэн хүчтэй салхи бий болох нөхцөлийг бүрдүүлдэг байна. (Л.Нацагдорж, 1978; Ж. Цогт, 1987; Jugder et al., 2004).

Хүчтэй салхи нь их хэмжээний элс, шороо, тоосыг халцгай газар, хуурай хөрснөөс агаар мандалд гаргаж, хэдэн зуугаас хэдэн мянган километрт зөөдөг. Газрын гадаргаас дээш хөөрсөн шороо тоосны хэсгүүд турбулент холилдол болон босоо чиглэл дэх конвектив хөдөлгөөнөөр тодорхой өндөрт гардаг. Агаарт дэгдсэн шороо тоос нь газрын гадаргад буцаж унахаасаа өмнө хэмжээ болон цаг уурын нөхцөлөөс шалтгаалан урт хугацааны туршид салхиар зөөгдөнө. Шороо тоосны гол эх үүсвэрүүд нь Төв Ази, Хятад, Хойд Америк, Төв Африк болон Австралийн цөлийн бүс нутгууд юм [ДЦУБ].

Агаарын хөдөлгөөнөөр дэгдсэн шороо, тоос үүссэн тухайн нутаг дэвсгэрээсээ тодорхой орон зайнд тархах болон нүүн шилждэг (Nishikawa et al., 2000; Goudie and Middleton, 2006; Цоохүү, 2007; Kim, et al., 2010), тухайлбал элсний салхиар хөөрөх өндрийг Б.Н. Сенкевич тооцоолсныг [хүснэгт 11](#)-т харууллаа.

Хүснэгт 11. Газрын гадаргаас дээш 1-10 см-ийн өндөрт элс дэгдэх өндөр (хувь)

Хөөрөх өндөр[см]	1 метр дэх салхины хурд[м/с]									
	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5
1	45.09	44.72	44.45	44.29	44.29	44.29	44.20	44.28	44.29	44.29
2	23.98	23.73	23.66	23.55	23.54	23.55	23.42	23.53	23.53	23.53
2	13.98	13.80	13.76	13.71	13.72	13.71	13.69	13.71	13.71	13.71
3	7.96	7.89	7.87	7.83	7.83	7.83	8.08	7.83	7.83	7.83
4	4.62	4.58	4.57	4.54	4.54	4.54	4.54	4.55	4.55	4.55
5	2.77	2.69	2.72	2.69	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
6	1.58	1.62	1.61	1.60	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61
7		0.91	0.89	0.90	0.89	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
8			0.47	0.48	0.47	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48
10				0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.33	0.35

Хүснэгт 14-с харахад 4 м/с-ээс дээш салхины хурдтай үед элсэн гадаргуугаас дээш 1-5 см-ийн өндөрт 90 хувийн элсэн урсгал бий болдог байна. Харин салхины хурд 10 м/с-ээс их болоход элсний массын нэлээд хэсэг нь 30-40 см-ийн өндөрт зөөгддөг гэдэг дээр судлаачид санал нийлдэг ажээ.

Шороон шуурга нь агаар мандлын орчил урсгалын систем, газрын гадарга орчмын цаг уурын хэмжигдэхүүнүүд ба газрын гадаргуугийн хөрсний шинж чанараас ихээхэн хамаардаг.

Салхины хурд тодорхой утгаас бага байхад хөрсний бөөмс тайван байдаг. Хөрснөөс нарийн ширхэгт тоосонцор, шороо болон тоос босоход салхины хурдны критик утгыг тооцоолох нь чухал байдгаас гадна хөрсний нөхцөлийг заавал давхар тооцоолох ёстой (Shoa, 2009; Kimura and Shinoda, 2010). Судлаач Л. Нацагдорж нар (2003) болон Ж. Жүгдэр нар (2004) салхи 6.0-6.5 м/-ээс их болоход шороо, тоос дэгддэг гэжээ. Ж.Жүгдэр нар (2014) Даланзадгад, Сайншанд, Эрдэнэ болон Замын-Үүд станцуудад салхины критик утгуудыг 7.2, 11.1, 6.6 болон 6.3 м/с байна гэж тус, тус тооцоолжээ. Мөн энэ үед хөрсний гадаргын байдлыг ургамалшлын индексийг тооцоолж 0.23 –с бага байхад шороо тоос босно гэж үзсэн байна.

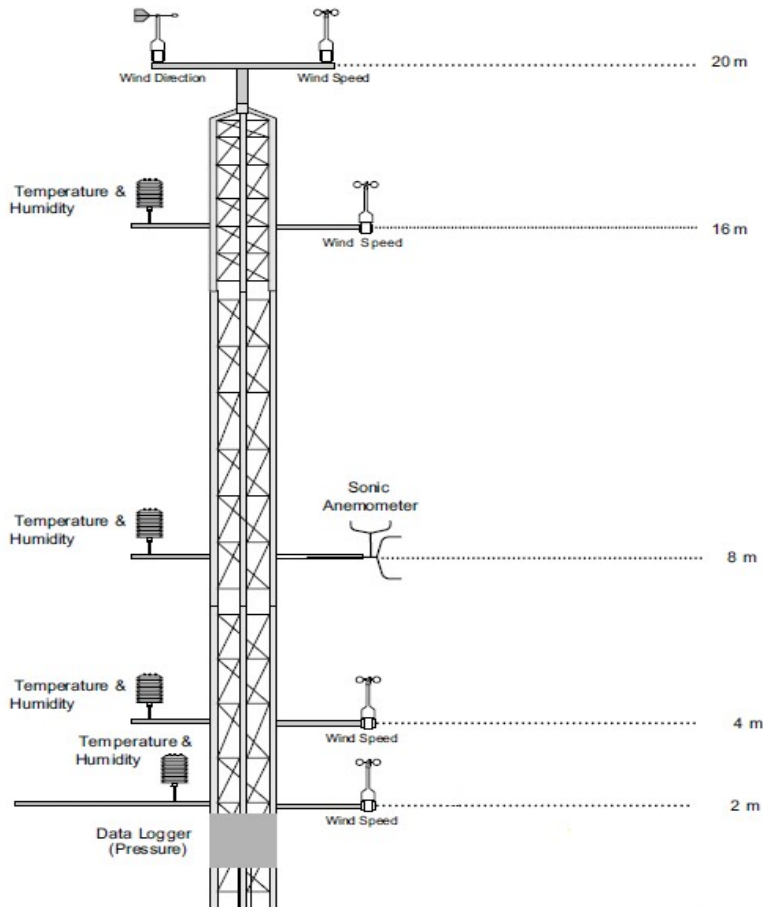
Дээрх судалгааны ажлуудаас харахад шороон шуурга болох ерөнхий синоптик нөхцөл болон салхины критик утгыг илүү сайн судалсан байна.

Энэ судалгааны ажлын гол зорилго нь шороон шуурга болох үед шороо, тоосны агаар мандал дахь босоо тархалтад цаг агаарын хүчин зүйлсийг тооцоолоход оршино. Энэхүү зорилгоо биелүүлэхдээ дараах зорилтуудыг тавьсан. Үүнд:

1. Үрэлтийн хурдыг ажиглалтын мэдээгээр тооцоолж тооцооны үр дүнтэй харьцуулан үнэлэх
2. Хязгаарын үе давхаргын өндөр тооцоолох

2.6.2 Ашигласан мэдээ

2019 оны 4 сарын 19-20, 5 сарын 14-16-д болсон хүчтэй шороон шуургыг сонгон авч судалсан болно. Эрдэнэ станцын газрын гадаргаас дээш 2, 4, 8, 16 метрийн өндөр дахь агаарын температур, салхи, чийгийн 2019 оны 4 сарын 19-20 болон 5-н сарын 14-өөс 16-ний хоорондох мэдээг ашиглаж салхины үрэлтийн хурдыг тооцоолов (зураг 68).



Зураг 68. Градиентын хэмжилтийн цамхгийн ерөнхий схем (Эх сурвалж: Soong-Ung Park et al., 2010)

2.6.3 Арга зүй

Үрэлтийн хурд

Монин-Обуховын төсөөтэйн онолд хязгаарын үе давхарга дахь салхины шилжлэг ба потенциал температурын градиент нь доорх тэгшитгэлээр илэрхийлэгддэг [Stull, 1988].

$$\frac{kz}{u_i} \frac{\partial U}{\partial z} = \psi_m(\xi) \quad (42)$$

$$\frac{kz}{\theta_i} \frac{\partial \Theta}{\partial z} = \psi_h(\xi) \quad (43)$$

Энд U (м/с) нь салхины хурд, Θ (К) нь потенциал температур, u_i (м/с) үрэлтийн хурд, θ_i (К) нь температурын хуваарь, $\xi \equiv z/L$ нь тогтворшлын параметр, $\psi_m(\xi)$ ба $\psi_h(\xi)$ нь салхи ба температурын профайлаас хамаарах функц, z нь газрын гадаргаас дээшхи өндөр, $L \equiv (T_0 u_i^2) / (kg \theta_i)$ хөвөлтийн хэмжээ. Энд T_0 (К) нь гадарга орчмын үе давхарга дахь төлөөлөх температур, k нь вон Карманы тогтмол ба g (м/с²) нь хүндийн хүчний хурдатгал.

Томьёо 1-т байх тэгшитгэлээс z_0 -ээс z түвшин хүртэл интеграл авбал дараах хэлбэртэй болно. Энд z_0 нь салхины хурд тэг байх түвшин буюу атираашлын өндөр.

$$\frac{U}{u_i} = \frac{1}{k} \left[\ln \frac{z}{z_0} - \psi_m(\xi, \xi_0) \right] \quad (44)$$

$$\frac{(\Theta - \Theta_s)}{\theta_i} = \frac{Pr_0}{k} \left[\ln \frac{z}{z_T} - \psi_h(\xi, \xi_T) \right] \quad (45)$$

Энд Θ_s нь гадаргын радиометр потенциал температур, $\xi_0 \equiv z_0/L$, $\xi_T \equiv z_T/L$. Томьёо 2а-д байх тэгшитгэлээр үрэлтийн хурдыг тооцоолж болно. z түвшин дэх салхины хурд, температурын утгууд нь хэмжилтийн мэдээнээс олдох бөгөөд тэдгээр бусад хувьсагчдийг балк Ричардсоны тоо (Ri_b) гэх нэмэлт хувьсагчийг оруулж ирэх замаар тооцоолж болдог.

$$Ri_b \equiv \frac{g(z - z_0)}{U^2} \frac{(\Theta - \Theta_s)}{T_0} \quad (46)$$

Томьёо 2-г томьёо 3-д оруулбал томьёо доорх хэлбэртэй болно:

$$\frac{Ri_b}{Pr_0} = (\xi - \xi_0) \zeta \zeta \quad (47)$$

Тогтворшлын параметрийн тэгшитгэлийн шийд

а) Тогтвортой стратификацтай үеийн тогтворшлын үзүүлэлтийн аналитик шийд

Дээр дурдсан ψ функцийн ерөнхий хэлбэр газрын гадарга орчмын агаар мандал тогтвортой стратификацитай байх үед:

$$\psi_m(\xi, \xi_0) = -\beta_m(\xi - \xi_0) \quad (48)$$

$$\psi_h(\xi, \xi_T) = -\beta_h(\xi - \xi_T) \quad (49)$$

Томьёо 5а болон б-г томьёо 4-д оруулахад квадрат тэгшитгэл гарах бөгөөд түүний шийдийг Янг нарын [Yang et al., 2001] олсноор энд ашиглав.

$$\xi = (-b - \sqrt{b^2 - 4ac})/2a \quad (50)$$

$$\text{Энд } a = \frac{Ri_b}{Pr_o} \beta_m^2 \left(1 - \frac{z_o}{z}\right)^2 - \beta_h \left(1 - \frac{z_o}{z}\right) \left(1 - \frac{z_h}{z}\right), \quad b = \left(2 \frac{Ri_b}{Pr_o} \beta_m \ln \frac{z}{z_o} - \ln \frac{z}{z_h}\right) \left(1 - \frac{z_o}{z}\right), \quad c = \frac{Ri_b}{Pr_o} \left(\ln \frac{z}{z_o}\right)^2,$$

$$Ri_b = \frac{gz \Delta \vartheta}{\vartheta U^2}$$

б) Тогтворгүй стратификацтай үеийн тогтворшлын үзүүлэлтийн аналитик шийд

Тогтворгүй стратификацтай үеийн ψ функц дараах хэлбэртэй байна.

$$\psi_m(\xi, \xi_o) = 2 \ln \left(\frac{1+x}{1+x_o} \right) + \ln \left(\frac{1+x^2}{1+x_o^2} \right) - 2 \tan^{-1} x + 2 \tan^{-1} x_o \quad (51)$$

$$\psi_h(\xi, \xi_h) = 2 \ln \left(\frac{1+y}{1+y_o} \right) \quad (52)$$

$$\text{Энд } x = (1 - \gamma_m \xi)^{1/4}, \quad x_o = (1 - \gamma_m \xi_o)^{1/4}, \quad y = (1 - \gamma_h \xi)^{1/2}, \quad y_o = (1 - \gamma_h \xi_o)^{1/2}.$$

Дээрх илэрхийллийг томъёо 4-д байх ерөнхий тэгшитгэлд оруулбал өндөр эрэмбийн шугаман бус тэгшитгэл олдох бөгөөд Янг нар дараах аналитик шийдийг олсон байна.

$$\xi = \left\{ \frac{Ri_b}{Pr_o} \frac{[\ln(z/z_o)]^2}{\ln(z/z_h)} \left(\frac{z}{z-z_o} \right) \right\} \div \left[1 - \frac{Ri_b}{Pr_o} \frac{\gamma_m^2}{8 \gamma_h} \frac{(1-z_o/z)}{(1-z_h/z)} p \right] \quad (53)$$

Энд $p \approx \sum c_{ijk} [\ln(-Ri_b/Pr_o)]^i [\ln[\ln(z/z_o)]]^j [\ln[\ln(z/z_h)]]^k$, i, j ба $k=0, 1, 2$. Мөн $i+j+k \leq 2$ хамаарна [Yang et al., 2001]. Янг нарын гаргасан дээрх шийд нь Лигийн [Lee, 1997] гаргасан аналитик шийдтэй ижил байна.

Хязгаарын үе давхаргын өндөр

Хязгаарын үе давхарга гэдэг нь турбулент солилцооны нөлөөнөөс шалтгаалан температур, чийг, салхины хурд зэрэг цаг уурын бусад хэмжигдэхүүний хоногийн явц тод илэрдэг агаар мандлын үе давхарга юм. Хязгаарын үе давхаргын өндөр нь 300-400 метрээс 1-2 километр хүртэл хэлбэлзэх бөгөөд газрын гадаргын атираашил, тогтворгүйшил, салхины хурд зэргээс хамаарна. Тухайлбал, атираашил ихтэй газар хязгаарын үе давхаргын өндөр их байдаг ба агаар мандлын тогтворгүйшил ихсэх тусам уг өндөр мөн ихэсдэг байна.

Агаар мандлын хязгаарын үе давхаргын өндрийг Сыраковын илэрхийлснээр [Syrakov, 2015] доор буулгавал:

$$h = C_R \frac{u_c}{f} \Phi \quad (54)$$

Энд $C_R=(8\pi_i^7/C_\epsilon)^{1/4}$ нь тэнцвэрийн коэффициент ($\pi_i\equiv\pi=3.14$, C_ϵ нь тэнцвэрийн коэффициент), u_i нь үрэлтийн хурд, f нь кориолисын параметр, $\Phi=\left(\frac{1}{P\tilde{\mu}+\sqrt{R+(P\tilde{\mu})^2}}\right)^{1/2}$ бөгөөд энд орсон $P=C_R^2/2\pi_i k^2$, $\tilde{\mu}=a_1\mu+a_2\mu_N$, $R=1+a_N\mu_N^3$. Энд $a_1=\frac{1-(1-\alpha)^{1+m}}{\alpha(1+m)}-\frac{(1-\alpha)^m}{1+n}-\frac{A}{1+n}$, $a_2=k^2 C_{WS}$, μ болон μ_N нь тус тус ХҮД-ын дотоод шинж болон чөлөөт урсгалын тогтворшлын параметрууд, $a_N=C_R^4 C_{WU}/\pi_i\equiv 2^{-5/2} \frac{C_R^4 C_W}{\pi_i} \left(\frac{A}{1+A}\right)^3$. A нь тогтворгүй хязгаарын үе давхаргад хамаарах коэффициент, $C_{WU}=2^{-5/2} \left(\frac{A}{1+A}\right)^3 C_W$ ба $C_{WS}=2$ нь тус тус тогтвортой болон тогтворгүй тогтворгүй хязгаарын үе давхарга дахь тэнцвэрийн коэффициентууд.

Тогтвортой стратификацтай үеийн хязгаарын үе давхаргын өндөр

Тогтвортой стратификацтай байх үеийн хязгаарын үе давхаргын өндрийг тооцоолоходоо $A=C_{WU}=0$, $\alpha=1$ гэдгийг харгалзан үзвэл томьёо 10 доорх хэлбэртэй болно.

$$h=C_R \frac{u_i}{f} \Phi, \Phi=\left(\frac{1}{P\tilde{\mu}+\sqrt{1+(P\tilde{\mu})^2}}\right)^{1/2} \quad (55)$$

Энд $\tilde{\mu}=a_1\mu+a_2\mu_N$, нь тогтворшлын параметрын бүрдэл хэсэг ($\tilde{\mu}\geq 0, \mu_N\geq 0$), $a_1=\frac{1}{(1+m)}$, ба $a_2=k^2 C_{WS}$.

Тогтворгүй стратификацтай үеийн хязгаарын үе давхаргын өндөр

Тогтворгүй хязгаарын үе давхаргын өндрийг $C_{WS}=0$, $\alpha=1$ гэж тооцоолох ба үүнээс ерөнхий томьёо 10-ийн шийдийг олбол доорх хэлбэртэй болно.

$$h=C_R \frac{u_i}{f} \Phi, \Phi=\left(\frac{1}{P a_1 \mu + \sqrt{1+(P a_1 \mu)^2 + a_N \mu_N^3}}\right)^{1/2} \quad (56)$$

Энд $a_N=2^{-5/2} \frac{C_R^4 C_W}{\pi_i} \left(\frac{A}{1+A}\right)^3$, $a_1=\frac{1}{(1+m)}-\frac{A}{1+n}$, $P=C_R^2/2\pi k^2$.

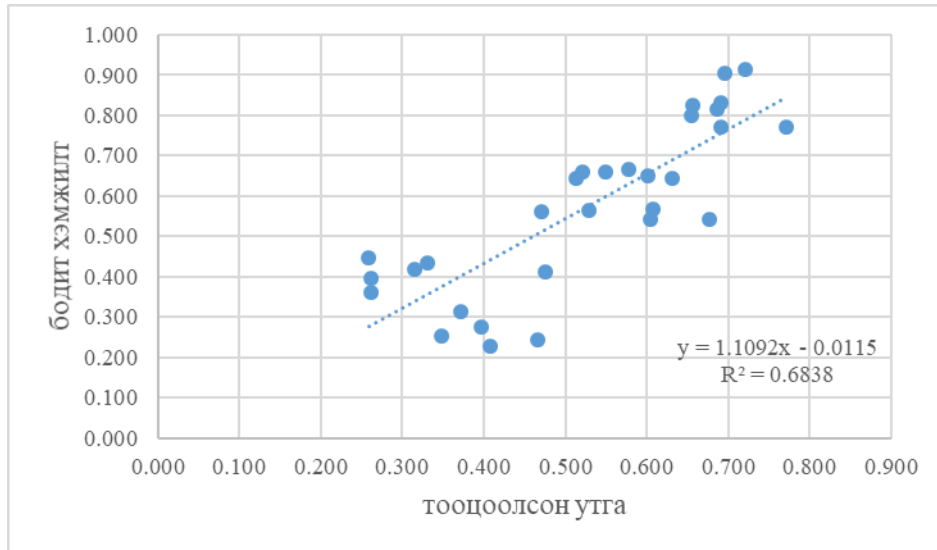
2.6.4 Үр дүн

Үрэлтийн хурд

Хязгаарын үе давхаргын өндрийг тооцоолоход үрэлтийн хурдыг зайлшгүй тооцоолох шаардлагатай байдаг. Дорноговь аймгийн Эрдэнэ сумын “Улаан-Уул” цаг уурын станцын градиентын цамхгийн 8 метрийн түвшин дэх салхины хурдны

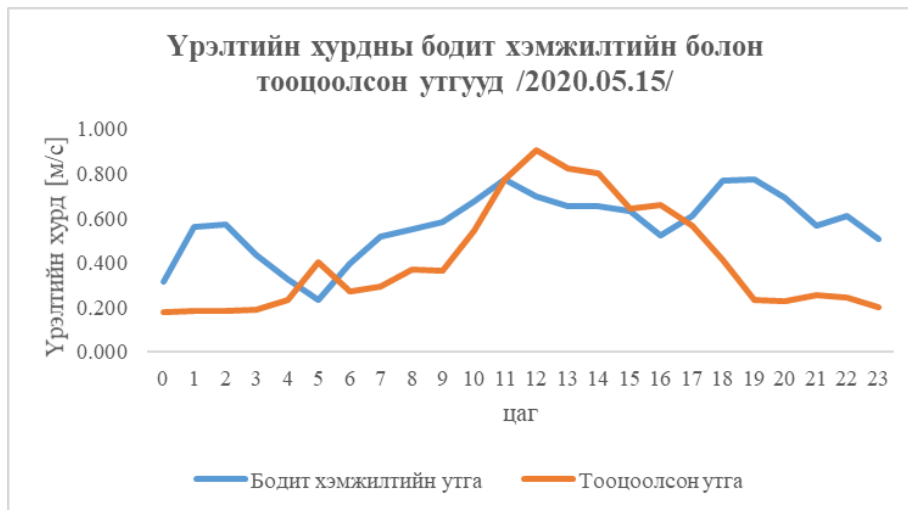
хэвтээ (u , v) болон босоо (w) тэнхлэгийн байгуулагчдыг тодорхойлох тусгай мэдрүүр (зураг 70: Sonic Anemometer)-ээр тодорхойлсон утгуудаар үрэлтийн хурд ($u_i = [(\overline{u w})^2 + (\overline{v w})^2]^{1/4}$)-ыг тооцоолж бодит хэмжилтийн утга гэж үзсэн [Sutton, 1953].

2019 оны 5 сарын 15-д тохиолдсон шороон шуургатай байх үеийн тооцоолсон үрэлтийн хурд болон ажиглагдсан утгуудаар байгуулсан скаттер диаграммыг зураг 71-т буулган харууллаа. Зураг 71-с харахад бодит ажиглагдсан үрэлтийн хурдны вариацийн 70 орчим хувь нь бидний тооцоолсон утгаар тайлбарлагдаж байгааг харж болно.



Зураг 69. u_i -ны бодит хэмжилт болон тооцоолсон утгаар байгуулсан скаттер диаграмм

2019 оны 5 сарын 15-д тохиолдсон шороон шуургатай байх үеийн цаг тутмын бодит хэмжилт болон тооцоолсон үрэлтийн хурдны хоногийн явцыг зураг 70-д буулган харуулав.

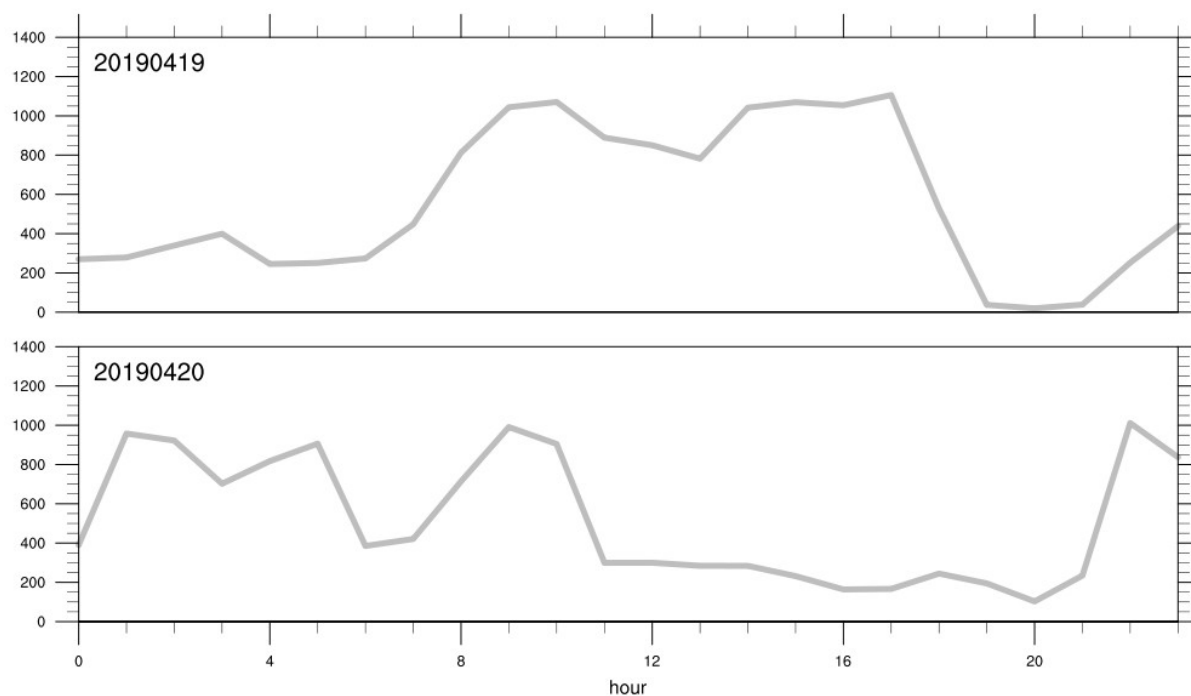


Зураг 70. 2019 оны 5 сарын 14 өдрийн u_i -ны хоногийн явц

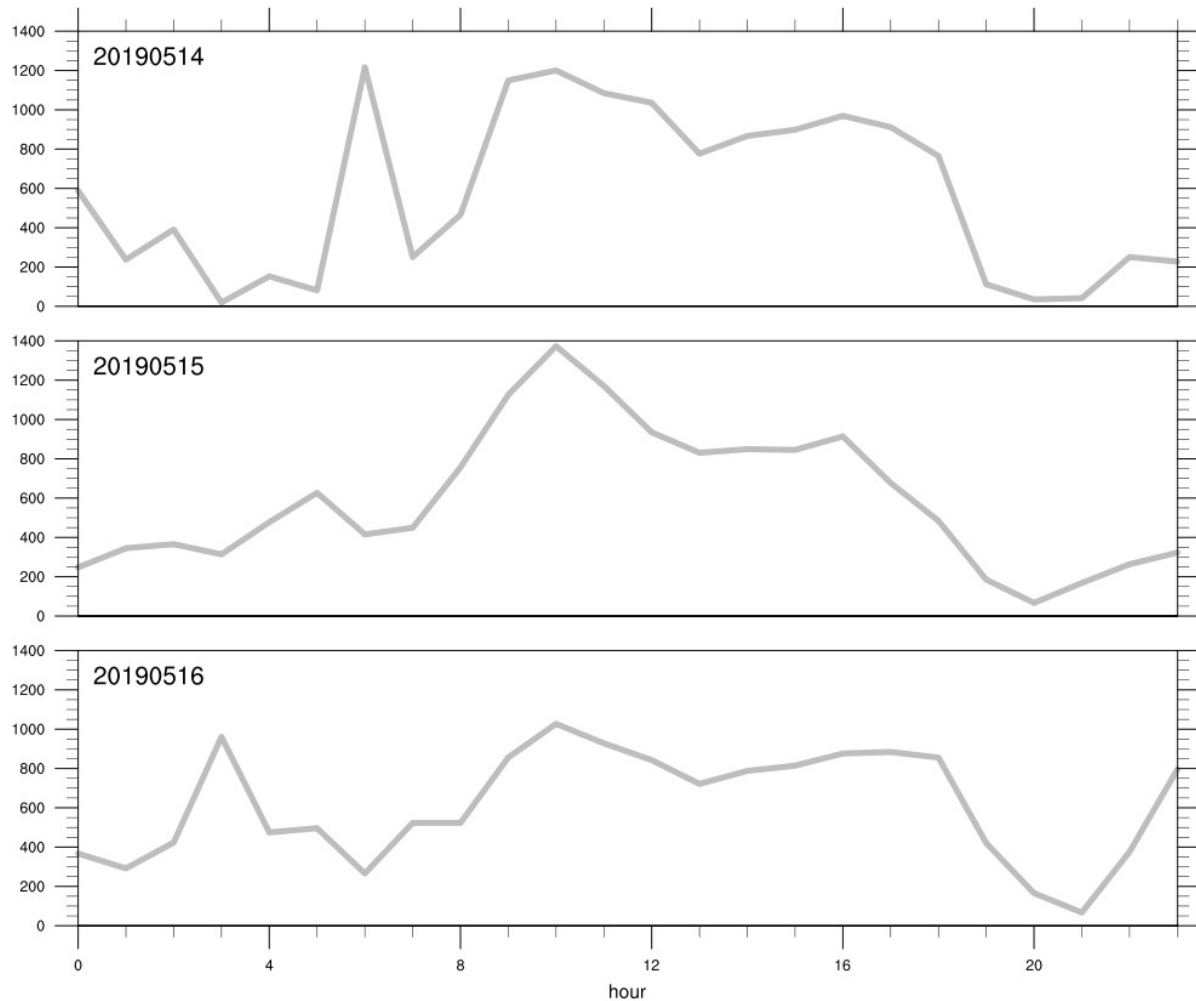
Мөн үрэлтийн хурдны алдааг үнэлэхэд 0.12 байсан бөгөөд эдгээр нь бидний тооцоолсон арга үрэлтийн хурдыг тооцоолох бүрэн боломжтойг тодорхой харуулж байна.

Хязгаарын үе давхаргын өндрийн тооцоолол

Үрэлтийн хурдыг тооцоолсноор хязгаарын үе давхаргын өндрийг агаар мандал тогтвортой болон тогтворгүй стратификацтай байх үеийн хязгаарын үе давхаргын өндрийг (ХҮД)-ыг томъёо 55 болон 56-г ашиглан тооцоолов. ХҮД-ын өндрийн хоногийн явцыг 2019 оны 4 сарын 19-20 болон 5 сарын 14-16 хооронд тохиолдсон шороон шуургатай байх үеүдэд Дорноговь аймгийн Эрдэнэ сумын Улаан-Уул цаг уурын станцын цамхгийн мэдээг ашиглан тооцоолж зураг 4 болон 5-д харууллаа.



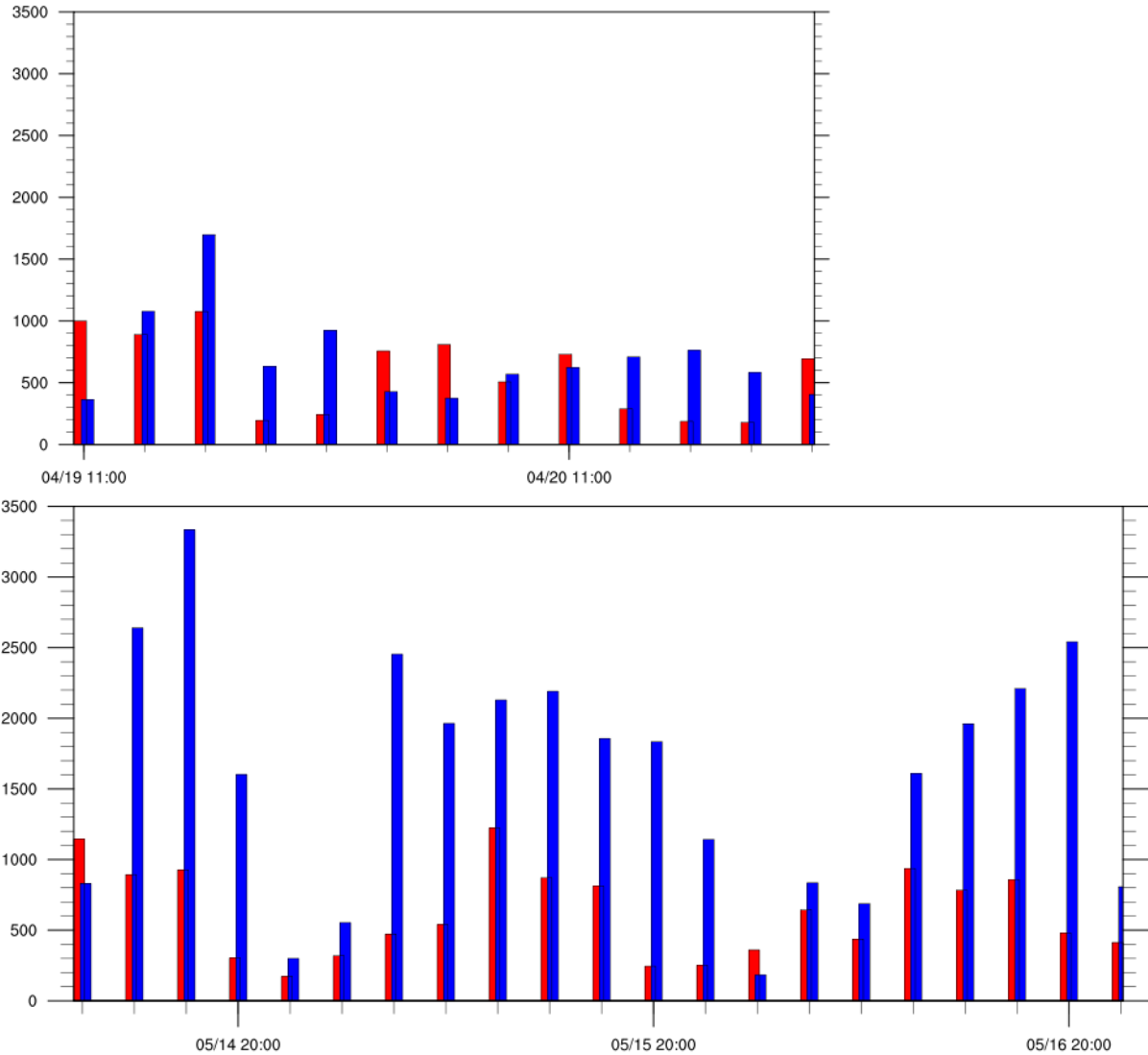
Зураг 71. 2019 оны 4 сарын 19-20 өдрүүдийн ХҮД хоногийн явц



Зураг 72. 2019 оны 5 сарын 14-16 өдрүүдийн ХҮД хоногийн явц

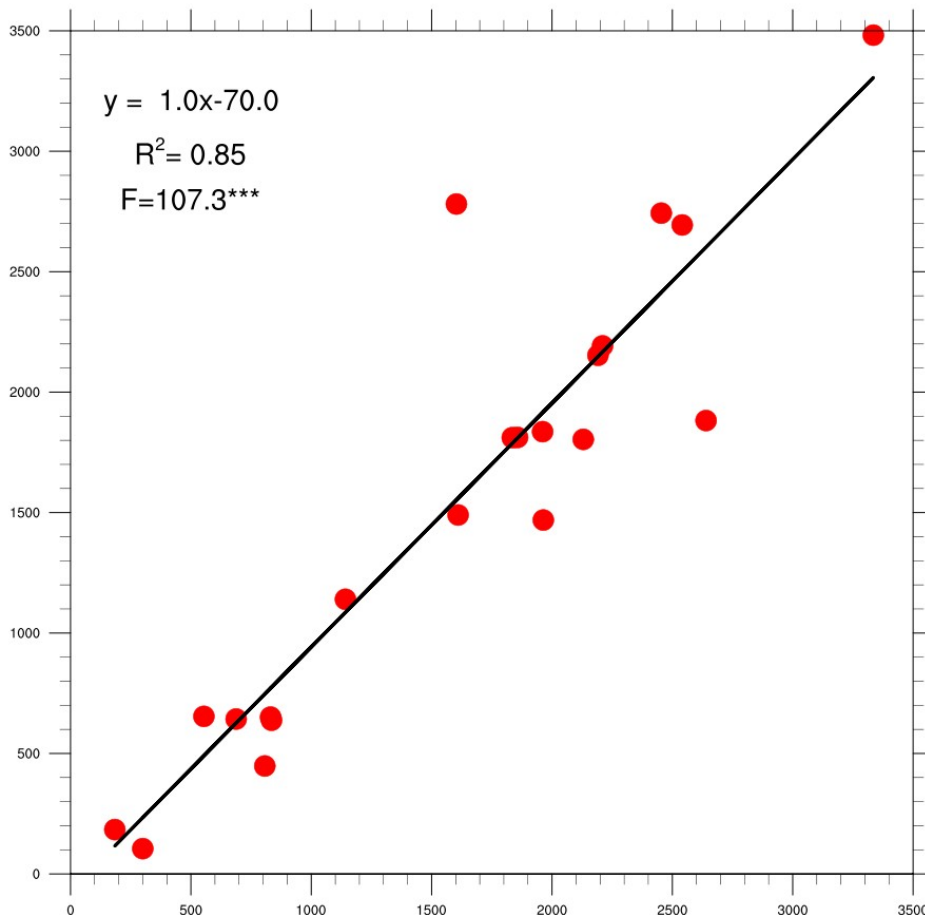
Зураг 72-с харахад 2019 оны 4 сарын 19-ний өдрийн 9-15 цаг, 20-ны өдрийн 1-7 цаг орчимд харьцангуй өндөр байсан байна. Харин 2019 оны 5 сарын 14-15-ний өдрүүдэд 9-16 цаг орчимд үе давхарга нь бусад үетэй харьцуулахад харьцангуй өндөр байжээ.

Томьёо 55 болон 56-ийг ашиглан тооцоолсон ХҮД-ийг “ADAM” загварын үр дүнтэй харьцуулан зураг 73-д буулган харууллаа. Зураг 73-аас харахад “ADAM” загвар болон тооцоолсон ХҮД-ийн хооронд тодорхой зөрүү байгаа боловч ерөнхий явцыг сайн илэрхийлж байгаагийн дээр хоорондох корреляцийн коэффициент нь 0.36 байв.



Зураг 73. Загварын үр дүн болон томьёо (55, 56)- р тооцоолсон ХҮД. (Улаан нь томьёогоор, цэнхэр нь загвар)

Мөн түүнчлэн ХҮД болон тоосны босоо тархалтын дээд өндрийн хоорондох скаттер диаграммыг зураг 74-д буулган харуулав. ХҮД-ийг тооцоолсноор “ $y=1.0x-70.0$ ” шугаман тэгшитгэлээр тоосны дээд хилийн вариарцын 85 хувийг илэрхийлж болох нь харагдаж байна.



Зураг 74. Тооцоолсон ХҮД болон тоосны босоо тархалтын өндрийн хоорондох скаттер диаграмм. (y тэнхлэг нь тоосны босоо тархалтын өндөр, x тэнхлэг нь ХҮД-ийн өндөр, R^2 детерминантын коэффициент, F-f статистикийн тоо, *-99 хувиас дээш статистик үнэмшил).**

2.6.5 Дүгнэлт

Тус судалгааны ажлаар зураг 70-д харуулсан цамхгийн мэдээг ашиглан тоосны босоо тархалтын дээд хилийг тооцоолох боломж байгаа нь тодорхой харагдаж байна. Ажлын үр дүнг товчлон буулгавал:

1. Ажиглагдсан үрэлтийн хурдны вариацийн 70 орчим хувь нь бидний тооцоолсон утгаар тайлбарлагдаж байна
2. “ADAM” загвар болон тооцоолсон ХҮД-ийн хооронд тодорхой зөрүү байгаа боловч ерөнхий явцыг сайн илэрхийлж байгаагийн дээр хоорондох корреляцийн коэффициент нь 0.36 байв.
3. Тоосны дээд хилийн өндрийн вариацийн 85 хувь нь ХҮД-өөр тооцоологдох боломжтой.

2.7 Шороон шуурганы ADAM загварын үр дүнг цаг агаарын зураг болон байран хиймэл дагуулын мэдээтэй давхцуулах технологи

Цаг агаарын аюултай үзэгдэл ажиглагдах нь ихэвчлэн циклон болон хүйтэн фронттой холбоотой байдаг учраас даралтын орны төвийн байрлал, хувьсал өөрчлөлт, шилжилтийн зүг, хурдыг зөв тодорхойлох нь цаг агаарын аюултай үзэгдлийг үнэн зөв урьдчилан мэдээлэхэд нэн чухал ач холбогдолтой.

Төв орон нутагт цаг агаарын урьдчилсан мэдээ гаргахад ашиглах зураг материал боловсруулах программыг сайжруулах, хөгжүүлэх, гар ажиллагааг багасгаж автоматжуулах нь цаг агаарын мэдээ гаргах гол үйл ажиллагаанд чухал байдаг.

Монголын Цаг уур орчны шинжилгээний газар (ЦУОШГ), Бүгд Найрамдах Солонгос Улсын /БНСУ/ Цаг Уурын Газрын хооронд цаг уурын салбарын хамтын ажиллагааны хүрээнд шороон шуурганы ADAM-HAZE загварыг Монголын цаг уурын албанд 2017 онд суурилуулсан. Энэхүү загвараар төв азийн бүс нутгаар 72 цагийн урьдчилалтай 27 км-ийн нарийвчлалтай шороон шуурганы урьдчилсан мэдээг тоосны агууламжийн хамт гаргаж байна.

Монголын цаг уурын албанд 2016 оноос Япон улсын HIMAWARI-8 цаг уурын байран хиймэл дагуулын мэдээг хүлээн авч ашиглаж байгаа бөгөөд энэхүү хиймэл дагуулын мэдээгээр Монгол орныг бүрэн хамарсан үүлний мэдээг 500-2км хүртэл нарийвчлалтай 10 минут тутам хүлээн авдаг.

HIMAWARI-8 цаг уурын хиймэл дагуул нь үзэгдэх гэрлийн 3 (VIS), ойрын нил туяаны 3 (NIR), нил улаан туяаны 10 (IR) сувагтай. Нам өргөрөг, дулаан агаар мандалд доод мандлын үүл болон шороон шуурганы өнгө ойролцоо байгаа учир хөдөлгөөнт зургаар тэдгээрийг ялган харж болно. Шороон шуурганы цаг хугацаа орон зайн тархалтыг өндөр нарийвчлалтай гаргаж ашиглаж байгаа нь урьдчилан мэдээлэх шуурхай үйлчилгээний ажилд өндөр ач холбогдолтойгоос гадна судалгааны ажилд өргөн ашигладаг. Тухайлбал бид цаашид шорооны эх үүсвэрийг тодорхойлж түүнийг шороон шуурганы загварт суурь мэдээ болгон оруулж өгснөөр загварын үр дүнг сайжруулах боломжтой.

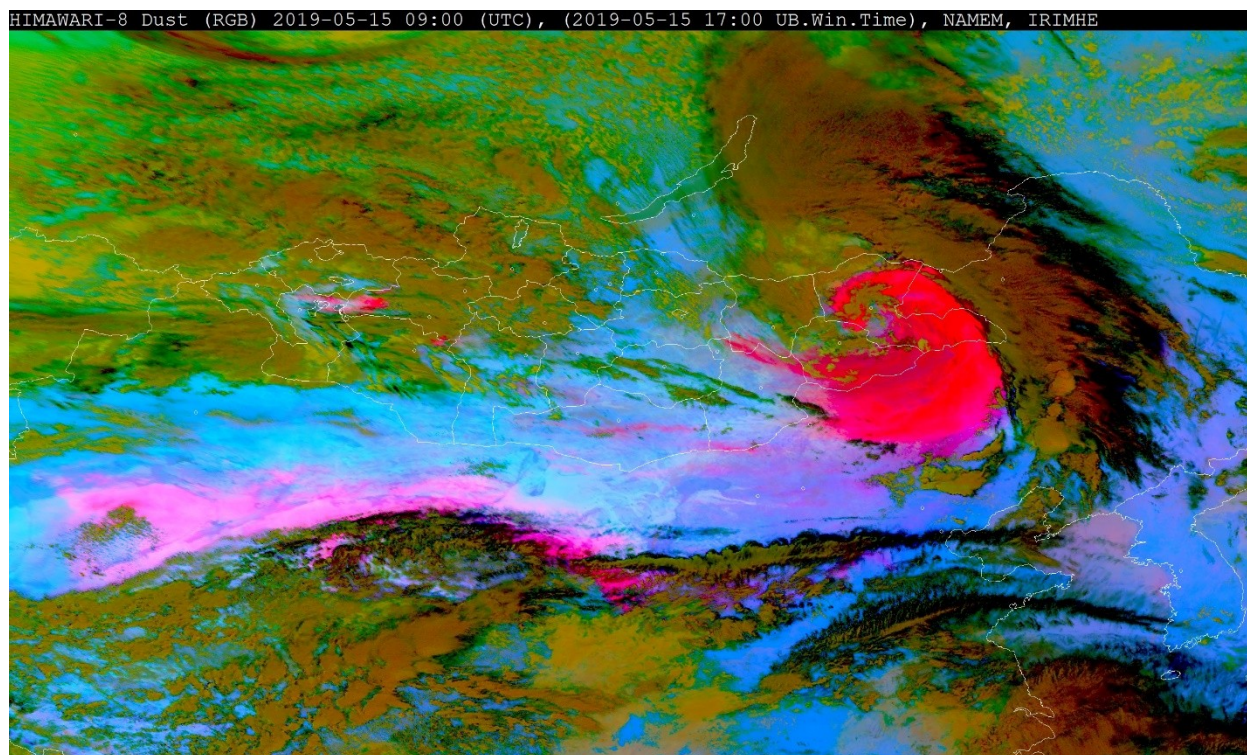
Монголын цаг уурын албанд тодорхой критери утга давсан цаг агаарын үзэгдлийг цаг тухайд ажиглаж дамжуулдаг ба үүнийг зураглал болгож олон нийтэд хүргэдэг. Энэ мэдээлэл цаг агаарын аюултай болон гамшигт үзэгдлийн эрч хүч, шилжилтийг цаг тухайд нь үнэлж төр засаг, ард иргэдэд мэдээлж байдаг.

Дээрх шороон шуурганы загварын үр дүн, хиймэл дагуулын шороон шуурганы зураг, цаг агаарын аюултай үзэгдлийн мэдээлэл зэргийг цаг агаар урьдчилан мэдээлэх шуурхай үйл ажиллагааны гол технологи болох цаг агаарын зургийн программ хангамжтай холбох явдал чухал юм. Цаг агаарын цаашдын төлөвийг тодорхойлоход өнгөрсөн хугацааны цаг агаарын түүх чухал байдаг билээ. Иймд энэхүү цаг агаарын зургийн сайжруулсан боловсруулалтад өмнөх хугацааны цаг агаарын зураг ашиглах, мөн дараачийн хугацааны цаг агаарын төлөвийг тоон загварын үр дүнгээр дүрслэн харуулахаар тохирсон болно. Нэг удаагийн цаг агаарын зургийн боловсруулалтад өнгөрсөн, одоо болон дараачийн 3 цагийн цаг агаарын төлөв байдлыг хамтад нь хадгалах боломжтой бөгөөд орон нутгийн хэрэглэгчид бүх төрлийн цаг агаарын ажиглалтын мэдээ, хиймэл дагуулын

мэдээ, шороон шуурганы урьдчилсан зураг, цаг агаарын аюултай үзэгдлийн зурагтай хамт дамжуулдаг болсон энэхүү технологийн давуу тал юм.

Hiawari-8 байран хиймэл дагуулын шороон шуурганы зураг

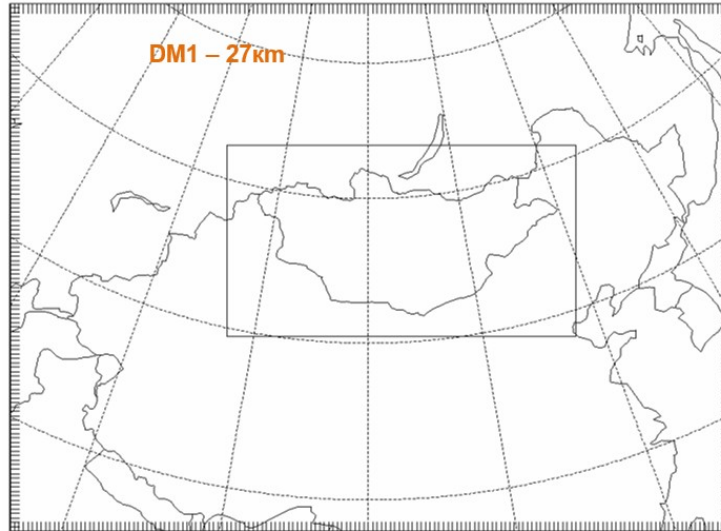
Хиймэл дагуулын сувгийн мэдээгээр улаан, ногоон болон цэнхэр (RGB) гэсэн гурван өнгө ашиглан өнгөний ялгарлаар үүлний төрлийг тодорхойлдог. HIMAWARI-8 хиймэл дагуулын мэдээ судалгааны аргазүйд дурдсан аргын дагуу боловсруулж шороон шуурганы зургийг тогтсон масштабаар тасалж цаг агаарын зургийн боловсруулалтад давхцуулна.



Зураг 75. HIMAWARI байран хиймэл дагуулын шороон шуурганы зураг /2019-05-15 17:00 УБ/

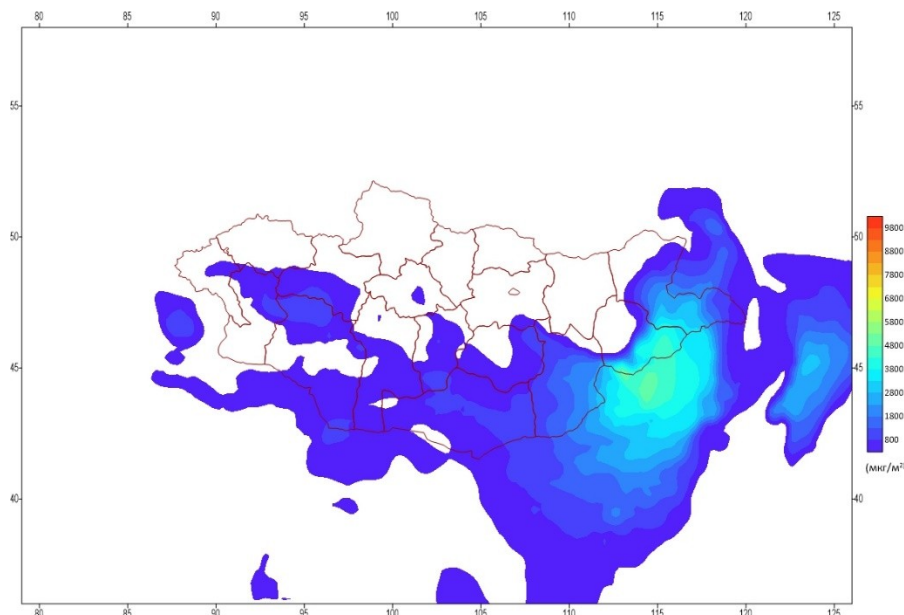
-Шороон шуурганы ADAM-HAZE загвар

Шуурхай үйл ажиллагаанд зориулж ADAM-HAZE загварын бүс нутгийн алхмыг 27км (DM1)-ээр сонгож бодолтыг явуулж байна (Зураг 76). Босоо чиглэлийн орон зайн хувьд газрын гадаргаас дээш 35 түвшинд тооцоог хийсэн бөгөөд, хамгийн дээд түвшнийг 100гПа-аар авсан.



Зураг 76. ADAM загварын бүс нутаг

2019 оны 5 сарын 14-ээс 5 сарын 16-ны хооронд өмнө болон зүүн зүгийн нутгаар онц хүчтэй шороон шуурга шуурч, говь талын нутгаар салхины хурд 18-20 м/с, зарим үед түр зуур 24-28 м/с хүртэл ширүүссэн. Ялангуяа 15-ны өдөр Дорноговийн Сайншанд, Сүхбаатарын Эрдэнэцагаанд салхины хурд түр зуур 28-30 м/с хүрсэн. Сүхбаатар аймгийн Баяндэлгэр, Халзан, Онгон, Уулбаян сумуудад алсын бараа 50м, Дорноговь аймгийн Дэлгэрэх, Хөвсгөл сумуудад онц аюултай түвшинд хүрч 20 м хүртэл алсын бараа муудсан. Энэ үеийн газрын гадарга орчмын болон агаар мандал дахь тоосны агууламжийг харуулав. ADAM загварын үр дүнгээр тоосны агууламж нь газрын гадарга орчимд Сүхбаатар аймгийн зүүн өмнөд хэсгээр 4000-5000 мкг/м² (Зураг 77) хүрсэн ба энэ нь Монгол улсын засгийн газраас тогтоосон PM₁₀-ийн хүлцэх хэмжээнээс 40-50 дахин их байна.



Зураг 77. 2016 оны 5 сарын 15-ний өдөр болсон онц хүчтэй шороон шуурганы үер газрын гадарга орчмын тоосны хэмжээ ($\mu\text{m}/\text{m}^3$).

-Бодит хугацааны аюул агаар мэдээг зураглах

Энэхүү программ хангамжийн үндсэн үүрэг нь тухайн хугацааны аюул агаар мэдээг Монгол орны нутаг дэвсгэрээр зураглал байдлаар хэрэглэгчид хүргэх явдал юм. Программ хангамж нь компьютерын системийн цагийн ашиглан 10 минут бүр аюултай үзэгдлийн мэдээллийн сангаас тухайн хугацаанаас 1 өдрийн өмнөх цаг агаарын аюултай үзэгдлийг түүвэрлэн зураглал хэлбэрээр гаргаж цахим хуудас ашиглан хэрэглэгчид хүргэдэг.

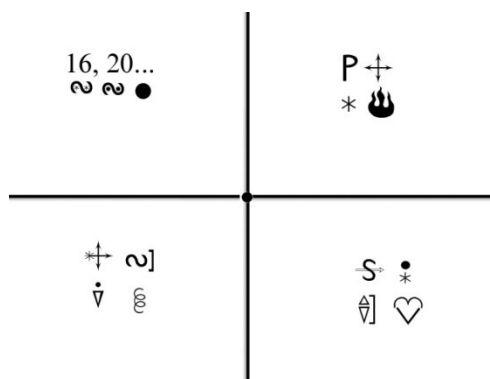
Цаг агаарын аюултай үзэгдлүүдээс Монгол оронд хамгийн их тохиолддог дараах үзэгдлүүдийг авч үзэгдэл бүрд ашигласан код, тэмдэглэгээ болон өнгийг [хүснэгт 12](#)-д үзүүлэв.

Хүснэгт 12. Цаг агаарын аюултай үзэгдлийн критери утга, үсгийн фондын тэмдэглэгээ

N	Үзэгдлийн нэр	Үзэгдлийн код	Үзэгдлийн тэмдэглэгээ	Үзэгдлийн өнгө
1	Хүчтэй салхи	1	16,20,24	Улаан
2	Цасан шуурга	2	a	Цайвар цэнхэр
3	Шороон шуурга	3	b	Улаан шаргал
4	Орон шуурга	4	c	Улаан шаргал
5	Цас	5	d	Цайвар цэнхэр
6	Бороо	6	e	Ногоон

7	Нойтон цас	7	f	Ногоон
8	Цанталт	8	g	Улаан
9	Мөстөлт	9	h	Улаан
10	Даралтын хандлага	10	i	Улаан
11	Мөндөр	12	j	Улаан шаргал
12	Нөөлөг салхи	13	k	Улаан
13	Хүйтэн бороо	15	l	Ногоон
14	Ширүүн аадар бороо	17	m	Ногоон
15	Догшин хуй салхи	18	n	Улаан
16	Ой, хээрийн түймэр	24	o	Улаан

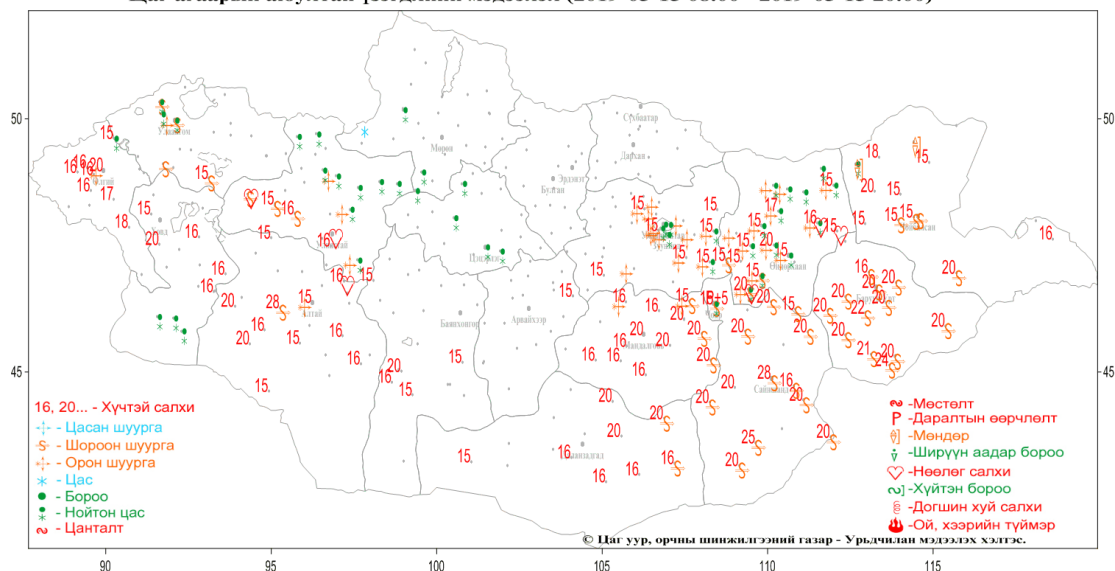
Станц дээр тухайн хугацаанд 2-оос дээш үзэгдэл ажиглагдвал үзэгдлийн давхарлан буулгахаас залсхийж нэг дор ажиглагдах магадлалтай үзэгдлүүдийн нэг байрлалд буулгахаар тооцсон болно. Энэхүү олон үзэгдэл нэг хугацаанд ажиглагдах үед буулгах үзэгдлийн байрлалыг дараах зургаас харж болно.



Зураг 78. Цаг агаарын аюул агаар мэдээний буулгалтын байрлал

Цаг агаарын аюултай үзэгдлийн зураглал нь дараах байдлаар харагдана.

Цаг агаарын аюултай үзэгдлийн мэдээлэл (2019-05-15 08:00 - 2019-05-15 20:00)



Зураг 79. Цаг агаарын аюул агаар үзэгдлийн буулгалтын зураг

-Цаг агаарын зургийн боловсруулалтын программ хангамж

Энэ программ хангамж нь 3 цаг тутамд цаг агаарын төлөв байдлыг Монгол орныг бүрэн хамарсан хэмжээгээр цаг агаарын элемент үзэгдлийг тусгай тэмдэгтээр буулгах, даралтын орныг дүрслэх, цаг агаарын урьдчилан мэдээ гаргахад ашиглагдана. Энэ ажлын хүрээнд шороон шуурганы ADAM-HAZE загварын үр дүн, HIMAWARI-8 байран хиймэл дагуулын шороон шуурганы зураг, цаг агаарын аюултай үзэгдлийн зураглалыг цаг агаарын зургийн боловсруулалтад давхцуулж цаг агаарын фронтын анализ хийхэд ашиглана. Цаг агаарын цаашдын төлөвийг тодорхойлоход өнгөрсөн хугацааны цаг агаарын түүх чухал байдаг билээ. Иймд энэхүү цаг агаарын зургийн сайжруулсан боловсруулалтад өмнөх хугацааны цаг агаарын зураг ашиглах, мөн дараачийн хугацааны цаг агаарын төлөвийг тоон загварын үр дүнгээр дүрслэн харуулахаар зорьсон болно. Цаг агаарын зургийн боловсруулалтад тоон загварын хамгийн ойрын хугацааны урьдчилалтай мэдээг ашиглаж байна. Үүний тулд өдөрт 4 удаа тоон загварыг 36 цагийн урьдчилалтай 27 км хэвтээ нарийвчлалтай ажиллуулж байгаа болно. Тоон загварын бодолт нь анхны нөхцөлийн хугацаанаас 4 цагийн дараа ашиглах боломжтой болдог. Жишээ нь 00 цагийн тоон загварын бодолт 12:00 цагт дуусах ба 14 цагийн цаг агаарын зурагт 00 цагаар бодсон 06 цаг, 17 цагийн цаг агаарын зурагт 09 цагийн урьдчилалтай тоон загварын үр дүнг ашиглах боломжтой юм. Харин 06 цагийн тоон загварын үр дүн 18 цаг дуусах тул 20 цагийн цаг агаарын зурагт 06 цагаар бодсон 06 цагийн урьдчилалтай тоон загварын үр дүнг ашиглах боломжтой юм.

Загварын үр дүнг 12 төрлийн элементийг цаг агаарын зурагт ашиглахаар сонгож авсан болно.

Element_name(1) = "slvl"-Далайн түвшинд шилжүүлсэн даралт

Element_name(2) = "t2m"-2м түвшний агаарын температур

Element_name(3) = "th2"-газрын гадаргын 2м түвшнээс 1000гПа түвшинд шилжүүлсэн потенциал температур

Element_name(4) = "rh2"-2м түвшний агаарын харьцангуй чийгшил

Element_name(5) = "u10"-10м түвшний салхины хэвтээ байгуулагч

Element_name(6) = "v10"-10м түвшний салхины босоо байгуулагч

Element_name(7) = "rain"- 3 цагийн тунадасны нийлбэр

Element_name(8) = "th1000_500"-500 болон 1000гПа түвшний геопотенциал зузаан

Element_name(9) = "h850"-850гПа түвшний геопотенциал өндөр

Element_name(10) = "t850"-850гПа түвшний агаарын температур

Element_name(11) = "ADAM_TSP_DUST"-агаарт дэгдсэн PM₁₀ тоосны нийт агууламж

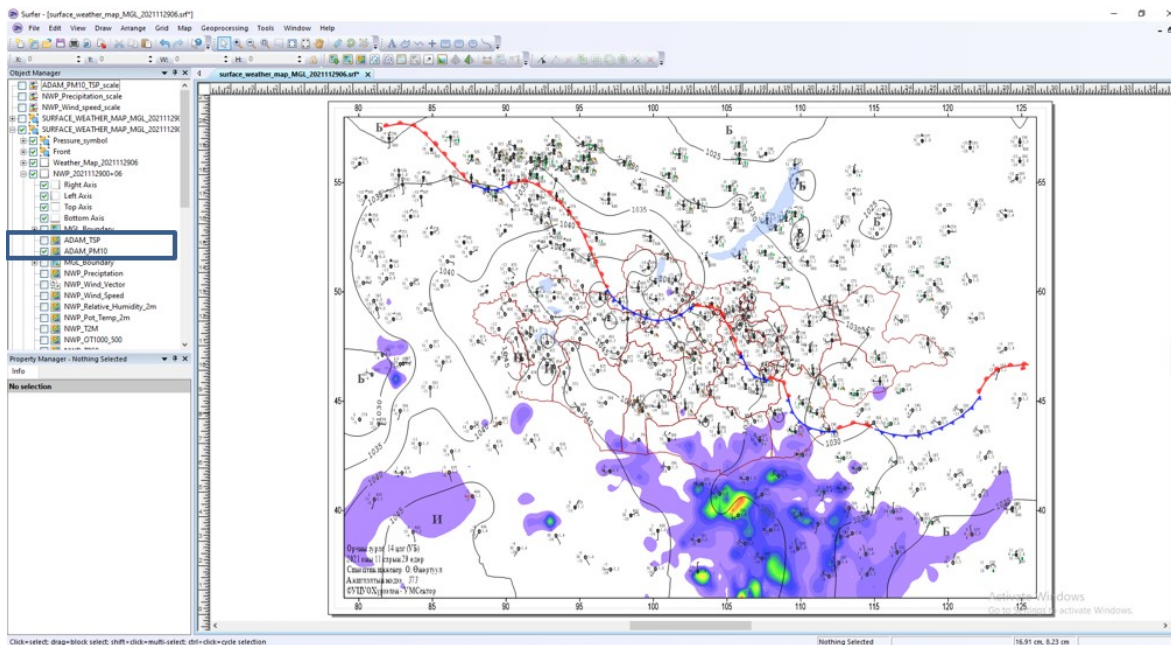
Element_name(12) = "ADAM_SURFACE_DUST"-газрын гадарга орчмын PM₁₀ тоосны агууламж

Тоон загварын боловсруулалтыг цаг агаарын зураг боловсруулах бүрд ажиллуулна. Учир нь ажиглалтын хугацаа бүрд загварын үр дүн нь адил байсан ч урьдчиллын хугацаа өөр байдаг билээ. Боловсруулалтын хугацаа нь 2-3 минут байх ба бодох явцад ажиллах хугацаа болон хувийг харуулах болно.

Одоогийн байдлаар 5 төрлийн үүлний 2 км нарийвчлалтай зургийг давхцуулж байна. Үүнд

- Нил улаан туяаны зураг /24 цаг/
- Усны уурын сувгийн зураг /24 цаг/
- Шороон шуурганы зураг /24 цаг/
- Байгалийн өнгөөр дүрсэлсэн зураг /өдөр/
- Конвектив үүлний зураг /өдөр/

Ажиглалтын болон тоон загварын мэдээг боловсруулж бэлэн болсны дараа цаг агаарын зургийн буулгалт болон элементийн орны зураглалыг хийнэ. Энд өнгөрсөн хугацааны цаг агаарын зургийн түүх, одоо хугацааны зураг, дараачийн хугацааны төлөв гэсэн байдлаар зураглал хийгдэнэ. Буулгалт болон зураглалын хийсний дараа программ нь түр зогсолт хийх бөгөөд энэ үед цаг агаарын фронтын анализ хийж дүрсэлнэ.



Зураг 80. Шуурхай ажиллагааны програмд давхцуулсан бүтээгдэхүүний төрлийн задаргаа

АНХААРАХ АРГАЗҮЙН ЗӨВЛӨМЖ

- Энэхүү технологийн программ хангамж нь Windows 10 болон Windows 7 үйлдлийн систем дээр ажиллах ба олон төрлийн давхцуулсан зураг дээр анализ тул дэлгэцийн хувьд 23” инч-ээс доошгүй ялгах чадвар нь 1920x1080 дээш байвал илүү тохиромжтой.
- Шороон шуурганы ADAM-HAZE загвар нь Супер компьютер дээр ажиллах бөгөөд үр дүн хурдан шуурхай дамжуулахын тулд Grads программ ашиглахаар програмчилсан.
- НИМАВАРИ-8 байран хиймэл дагуулын үүлийг зураг хэлбэрээр шууд давхцуулж газарзүйн координатыг тааруулахын тулд групп хийсэн тул энэ группээс салгасан тохиолдолд газарзүйн координатын систем нь тохирохгүй болно.
- Цаг агаарын аюултай үзэгдэл ажиглагдсан үед аюултай үзэгдлийн зураг зураг ба бусад үед NO EXTREME WEATHER INFORMATION гэсэн мэдээлэлтэй байна.
- “ЦАГ АГААРЫН ЗУРГИЙН БОЛОВСРУУЛАЛТЫН ШУУРХАЙ АЖИЛЛАГААНЫ ТЕХНОЛОГИ”-ийн үйл ажиллагаанд ямар нэгэн гэмтэл согог гарах бол программ зохиогч руу хандах хэрэгтэй. Учир нь энэ систем нь хоорондоо нарийн уялдаатай 3-4 технологийг нэгтгэсэн цогц систем юм.

Нэгдсэн дүгнэлт

Энэхүү төслийн судалгааны ажлаар гарсан үр дүнг ерөнхийд нь авч үзвэл:

- Сүүлийн 60 жилийн хугацаанд говийн бүс нутгаар жилийн дундаж агаарын температур 2.28°C -аар дулаарч, жилийн нийлбэр хур тунадасны хэмжээ хэлбэлзэлтэй ихтэй, тодорхой өссөн, буурсан хандлага илрээгүй.
- Монгол оронд ажиглагдсан шороон шуурганы давтагдал 1960-аас 1990 он хүртэл 3 дахин өссөн бөгөөд 2010-2014 онуудад буурсан, 2015-2018 онд өссөн хандлагатай байна.
- Монгол орны нутгаар 2000-2018 онуудад газар бүрхэвчийн параметр болох Ургамалжилтын нормчлогдсон ялгаврын индекс (NDVI), Навчны гадаргуугийн индекс (LAI), Газрын гадаргын ойлтын (Albedo) жил бүрийн хамгийн их утгаар авч орон зайн тархалтыг хийж үзэхэд 2004, 2007 оны зуны хугацаанд гандуу, ургамлын ургалт муу, харин 2012, 2018 он ургамлын ургалт сайн жил байсан байна.
- Говийн бүс нутаг дахь аймгийн төвүүдэд хүхэрлэг хий, азотын давхар ислийн агууламж нэмэгдэх хандлагатай ялангуяа өвлийн улиралд их байгаа боловч хүлцэх агууламжаасаа давсан тохиолдол ажиглагдаагүй байна. Говийн бүсэд хэт ягаан туяаны индекс 10-16 цагийн хооронд өндөр байна.
- Шороон шуурганы ADAM загварын үр дүнгээр хүчтэй шороон шуурганы үед газрын гадарга орчимд PM10-ын хэмжээ $3000-5000\mu\text{m}^3$ хүрч байгаа нь хүлцэх хэмжээнээс 30-50 дахин их байсан ба нийт 3.8 сая тонн шороо тоос агаар мандалд дэгдэн мөн тухайн үед 973 мянган тонн тоос шороо унасан гэсэн тооцооллыг гаргасан.
- Ажиглагдсан үрэлтийн хурдны вариацийн 70 орчим хувь нь бидний тооцоолсон утгаар тайлбарлагдаж байна. “ADAM-HAZE” загвар болон тооцоолсон ХҮД-ийн хооронд тодорхой зөрүү байгаа боловч ерөнхий явцыг сайн илэрхийлж байгаагийн дээр хоорондох корреляцын коэффициент нь 0.36 байв.
- Шороон шуурганы ADAM загварын PM10-ын хэмжээ болон Японы цаг уурын агентлагийн HIMAWARI байран дагуулын шороон шуурганы зургийг цаг агаарын зургийн боловсруулалтын программ хангамжид давхцуулах технологийг нэвтрүүлсэн.

Номзүй

- Aman A, Randriamanantena HP, Podaire A, Frouin R. 1992. Upscale Integration of Normalized Difference Vegetation Index: The Problem of Spatial Heterogeneity. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 30: 326-338, doi: 10.1109/36.134082.
- Amarjargal,D., Jugder,D., Erdenesukh,C.2015 Transition of windblown dust of Northeast Asian country. Journal of A.ENERGY, Volume 5, 2015. p141-143.
- Баасан,Т. 2003. Монгол орны элс. УБ.
- Баясгалан, М. 2005. Монгол дахь гангийн мониторинг. Докторын зэрэг горилсон судалгааны бүтээл. МУИС. УБ
- Baidya RS, Hurr GC, Weaver CP, Pacala SW. 2003. Impact of historical land cover change on the July climate of the United States. J. Geophys. Res 108: 4793, doi: 10.1029/2003JD003565.
- Berbet MLC, Costa MH. 2003. Climate Change after Tropical Deforestation: Seasonal Variability of Surface Albedo and Its Effects on Precipitation Change. J. Climate 16: 2099–2104, doi: [10.1175/1520-0442\(2003\)016<2099:CCATDS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016<2099:CCATDS>2.0.CO;2).
- Brubaker KL, Entekhabi A, Eagleson PS. 1993. Estimation of continental precipitation recycling. J. Climate, 6: 1077-1089, doi: 10.1175/1520-0442(1993)006<1077:EOCPR>2.0.CO;2
- Charney JG. 1975. Dynamics of deserts and drought in the Sahel. Q. J. Roy. Meteorol. Soc. 101: pp. 193–202, doi: 10.1002/qj.49710142802.
- Chen F, Dudhia J. 2001. Coupling an advanced land surface–hydrology model with the Penn State-NCAR MM5 Modeling System. Part I: Model implementation and sensitivity, Mon. Weather Rev 129: 569-585, doi: [10.1175/1520-0493\(2001\)129<0569:CAALSH>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2001)129<0569:CAALSH>2.0.CO;2).
- Chen F, Mitchell K, Schaake J, Xue Y, Pan H, Koren V, Duan Y, Ek M, Betts A. 1996. Modeling of land-surface evaporation by four schemes and comparison with FIFE observations. J. Geo-phys. Res 101: 7251-7268, doi: 10.1029/95JD02165.
- Cherlet, M., Hutchinson, C., Reynolds, J., Hill, J., Sommer, S., von Maltitz, G. (Eds.), World Atlas of Desertification, Publication Office of the European Union,

- Luxembourg, 2018. <http://wad.jrc.ec.europa.eu>
- Chepil, W.S., 1956: Transport of soil and snow by wind. Met. Monographs, Vol.6, p.123-1326
- Chun, Y.S., Kim, J.Y., Choi, J.C., Boo, K.O., Oh, S.N., Lee, M.H. 2001b. Characteristic number size distribution of aerosol during Asian dust period in Korea. Atmos Environ 35:2715-2721.
- Chuluun, T., Altanbagana, M and Tserenchunt, B. 2011. Land degradation and desertification in Mongolia. From Vulnerability to sustainability: Environment and Human Development. MHD Report 2011.
- Copeland JH, Pielke RA, Kittel TGF. 1996. Potential climatic impacts of vegetation change: A regional modeling study. J. Geophys. Res 101: 7409-7418, doi: 10.1029/95JD02676.
- Csiszar I, Gutman G. 1999. Mapping global land surface albedo from NOAA/AVHRR. J Geophys. Res 104: 6215-6228, doi: 10.1029/1998JD200090.
- de Foy, B., Varela, J. R., Molina, L. T., and Molina, M. J.: Rapid ventilation of the Mexico City basin and regional fate of the urban plume, Atmos. Chem. Phys., 6, 2321–2335, <https://doi.org/10.5194/acp-6-2321-2006>, 2006.
- Д. Аваадорж, С. Бадрах, О. Хадбаатар, 2003. Бэлчээрийн ургамалжилтын өөрчлөлт, экологийн доройтол, Монгол орны геоэкологийн асуудал.
- Д.Оюунчимэг. (2007). Хүлэмжийн хийн судалгаа. Амьдрах орчин, 39.
- Deng, F., Guo, X., Liu, H., Fang, X., Yang, M., Chen, W., 2007. Effects of dust storm PM_{2.5} on cell proliferation and cell cycle in human lung fibroblasts. Journal of Toxicology in Vitro 21 (2007), 632–638.
- Dietz EJ, Killeen TJ, 1981. **A nonparametric multivariate test for monotone trend with pharmaceutical application**, J. Am. Stat. Assoc., 76 (1981), pp. 169-174
- Dong J, Ni-Meister W, Houser PR. 2007. Impacts of vegetation and cold season processes on soil moisture and climate relationships over Eurasia. J. Geophys. Res 112: D09106, doi:10.1029/2006JD007774, doi: 10.1029/2006JD007774.
- Doughty CE, Scott RL, Christopher BF. 2012. Theoretical Impact of Changing Albedo on Precipitation at the Southernmost Boundary of the ITCZ in South America. Earth Interact 16: 1–14. doi:10.1175/2012EI422.1, doi: 10.1175/2012EI422.1.

- Dudhia J. 1989. Numerical study of convection observed during winter monsoon experiment using a mesoscale two-dimensional model. *J. Atmos. Sci* 46: 3077-3107, doi: 10.1175/1520-0469(1989)046<3077:NSOCOD>2.0.CO;2.
- Dulamsuren D, Jong PK, Jong AC, Woo-Seop L, 2015. Long-term trends in daily temperature extremes over Mongolia. *J. Weather and Climate Extremes*, 6: 26-33, doi.org/10.1016/j.wace.2014.11.003
- Emanuel KA, Coauthors. 1995. Report of the first prospectus development team of the U.S. Weather Research Program to NOAA and the NSF. *Bull. Amer. Meteor. Soc* 76: 1194-1208,
- Erdenetuya, M. 2004. Pasture productivity changes in Mongolia. *Map Asia* Conference paper. In Beijing, China.
- Ferrier B. 1994. A Double-Moment Multiple-Phase Four-Class Bulk Ice Scheme. Part I: Description. *J. Atmos. Science* 51: 249-280, doi: [10.1175/1520-0469\(1994\)051<0249:ADMMPF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1994)051<0249:ADMMPF>2.0.CO;2).
- First LAS/WMO International symposium on sand and dust storms (ISSDS), 1998: (Damascus, Syrian Arab Public, 2-7 November 1997). Programme on Weather Prediction Research (RWPR) report series project No. 10, WMO/TD-No.864.
- Gantuya G., Jugder D., 2019, Observations and transport modeling of dust storm events over Northeast Asia using HYSPLIT: a case study, *E3S Web of Conferences* 99, 02002 (2019) CADUC 2019
- Goudie AS, Middleton NJ., 2006: *Desert dust in the global system*. Springer Science and Business Media.
- Guo Z, and coauthors. 2006. GLACE: The Global Land-Atmosphere Coupling Experiment. 2. Analysis. *J. Hydrometeor* 7: 611-625, doi: 10.1175/JHM511.1.
- Gutman G, Ignatov A. 1998. Derivation of green vegetation fraction from NOAA/AVHRR for use in numerical weather prediction models. *Int. J. Remote Sensing* 19: 1533-1543, doi: 10.1080/014311698215333
- Goudie, A.S., Middleton, N.J., 2006. *Desert dust in the Global system*. Springer, printed in Germany, pp. 157–165. pp.287.
- Goudie,A.S., Middleton,N.J. 2006. *Desert dust in the Global system*. Springer, printed in Germany, pp.157,165.pp.287.

- Hahmann AN, Dickinson R. 1997. CCM2-BATS model over tropical South America: Application to tropical deforestation, *J. Clim* 10: 1944– 1964.
- Hirano, A., Komiyama, H. and Toriyama, K. 2006. Mongolian vegetation changes in the last two decades.
- Hoffman RN, Kalnay E. 1983. Lagged average forecasting, an alternative to Monte Carlo forecasting. *Tellus*, 35A: 100–118, doi: 10.1111/j.1600- Jugder,D.,
- Hong SY, Pan HL. 1996. Nonlocal boundary layer vertical diffusion in a medium-range forecast model. *Mon. Weather Rev* 124: 2322–2339, doi: 10.1175/1520-0493(1996)124<2322:NBLVDI>2.0.CO;2
- Husar R. B. et.al, 2001,*JGR-ATM*. 106 (D16): 18317-18330 AUG 27 2001
- Iwasaki H. 2006. Impact of Interannual Variability of Meteorological Parameters on Vegetation Activity over Mongolia. *Journal of the Meteorological Society of Japan* 84:745-762, doi: 10.2151/jmsj.84.745.
- Жамбаажамц Б. 1989. “Монгол орны уур амьсгал” ном, УБ.
- Жамсуева Г.С., А.С. Заяханов., В.В.Цыдыпов, А.А. Аюржанаев, Д.Азжая Д.Оюунчимэг, 2009: Монгол орны Говийн бүсэд Орос-Монголын хамтран хийсэн бага хольцтой хийн судалгааны үр дүнгээс УЦУХ-ийн бүтээл 30, х. 130-136,УБ
- Жүгдэр Д., 2009: Монгол орны шороон шуурганы тархалтын зураг (91), “Монгол орны үндэсний атлас”, х. 108, УБ хот
- Jacquemin B, Noilhan J, 1990: Sensitivity study and validation of a land surface parameterization using the HAPEX-MOBILHY data set. *Boundary-Layer Meteorology* 52: 93-134, doi: 10.1007/BF00123180.
- Jiang, X, Niu GY, Yang ZL. 2009. Impacts of vegetation and groundwater dynamics on warm season precipitation over the Central United States. *J. Geophys. Res* 114: D06109, doi: 10.1029/2008JD010756.
- John H.Sheinfeld, S. N. (1998). *Atmospheric chemistry and physics*. New York: John Willey & Sons,inc
- Jugder, D., Chung, Y.S., Batbold, A., 2004. Cyclogenesis over the territory of Mongolia during 1999–2002. *Journal of the Korean Meteorological Society* 40 (3), 293–303.

- Jugder, D., Shinoda, M., Kimura, R., Batbold, A. and Amarjargal, D. (2014),
 “Quantitative analysis on windblown dust concentrations of PM10 (PM2.5) during
 dust events in Mongolia”, *Aeolian Research*, 14, 3-13.
- Jugder, D., M. Shinoda, N. Sugimoto, I. Matsui, M. Nishikawa, S.U. Park, Y.S. Chun
 and M.S. Park, 2011, Spatial and temporal variations of dust concentrations in
 the Gobi Desert of Mongolia, *The International Journal of Global and Planetary
 Change*, 78 (2011), pages 14–22. ISSN:0921-8181.
- Jugder,D., N.Sugimoto, M. Shinoda, I.Matsui, M.Nishikawa, 2012: Dust, biomass
 burning smoke, and anthropogenic aerosol detected by polarization-sensitive
 Mie lidar measurements in Mongolia, *The International Journal of Atmospheric
 Environment*, Volume 54, July 2012, pages 231-241. ISSN:1352-2310.
- Jugder, D., M. Shinoda, R. Kimura, A.Batbold, D.Amarjargal, 2014: Relationships
 between dust concentration, wind speed and visibility with dust events in
 Mongolia, *Journal of the Aeolian Research*, (online)
- Jin Y, Schaaf CB, Gao F, Li X, Strahler AH, Lucht W, Liang S (2003a) Consistency of
 MODIS surface bidirectional reflectance distribution function and albedo
 retrievals: 1. Algorithm performance. *J Geophys Res* 108(D5):4158,
 DOI [10.1029/2002JD002803](https://doi.org/10.1029/2002JD002803)
- Jin Y, Schaaf CB, Woodcock CE, Gao F, Li X, Strahler AH, Lucht W, Liang S (2003b)
 Consistency of MODIS surface bidirectional reflectance distribution function and
 albedo retrievals: 2. Validation. *J Geophys Res* 108(D5):4159,
 DOI [10.1029/2002JD002804.002804](https://doi.org/10.1029/2002JD002804.002804)
- Justice CO, Townshend JRG, Vermote EF, Masuoka E, Wolfe RE, Saleous N, Roy DP,
 Morisette JT. 2002. An overview of MODIS land data processing and product
 status. *Remote Sens. Environ* 83: 3–15, doi: 10.1016/S0034-4257(02)00084-6.
- Kain JS. 2004. The Kain-Fritsch convective parameterization: An update. *J. Appl.
 Meteor* 43: 170-181, doi: 10.1175/1520-
 0450(2004)043<0170:TKCPAU>2.0.CO;2
- Kang HS, Hong S-Y. 2008a. Sensitivity of the simulated East Asian summer monsoon
 climatology to four convective parameterization schemes. *J. Geophys. Res* 113:
 D15119, doi: 10.1029/2007JD009692.

- Kidwell KB. 1997. Global Vegetation Index User's Guide. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Environmental Satellite Data and Information Services, National Climatic Data Center. Camp Springs: MD, USA.
- Kim, S.W., Yoon, S.C., Kim, J.Y., Kang, J.Y., Sugimoto, N., 2010. Asian dust event observed in Seoul, Korea, during 29–31 May 2008: analysis of transport and vertical distribution of dust particles from lidar and surface measurements. *Science of the Total Environment* 408, 1707–1718.
- Kim, S.W., Yoon, S.C., Kim, J.Y., Kang, J.Y., Sugimoto, N., 2010. Asian dust event observed in Seoul, Korea, during 29-31 May 2008: analysis of transport and vertical distribution of dust particles from lidar and surface measurements. *J. Sci. Total Environ.* 408, 1707-1718.
- Kinne, S., Schulz, B., Textor, C., et al. 2006. An AeroCom initial assessment-optical properties in aerosol component modules of global models. *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol. 6, no. 7, pp. 1815-1834.
- Koren V, Schaake J, Mitchell K, Duan Q-Y, Chen F, Baker JM. 1999. A parameterization of snowpack and frozen ground intended for NCEP weather and climate models. *Journal of Geophysical Research* 104: No. D16, 19, 569-19,585, August, doi: 10.1029/1999JD900232.
- Kumar P, Bhattacharya BK, Nigam R, Kishtawal CM, Pal PK. 2014, Impact of Kalpana-1 derived land surface albedo on short-range weather forecasting over the Indian subcontinent. *J. Geophys. Res. Atmos* 119: 2764-2780, doi: 10.1002/2013JD020534.
- Lee, J.T., Son, J.Y., Cho, Y.S., 2007. A comparison of mortality related to urban air particles between periods with Asian dust days and without Asian dust days in Seoul, Korea, 2000–2004. *Journal of Environmental Research* 105, 409–413.
- Li X., Maring H., Savoie D., Voss K., Prospero M., 1996: Domiance of mineral dust in aerosol light-scattering in the North Atlantic trade winds. *Nature* 380, p.416-419.
- Lin, M.-L., C.-M. Chu, J.-Y. Shih, Q.-B. Wang, C.-W. Chen, S. Wang, Y.-H. Tao, and Y.-T. Lee. 2006. Assessment and monitoring of desertification using satellite imagery of MODIS in East Asia. *Proc. of SPIE*.
- Liu YY, Evans JP, McCabe MF, de Jeu RAM, van Dijk AIJM, et al. 2013.

- Changing Climate and Overgrazing Are Decimating Mongolian Steppes. *PLoS ONE* 8(2): e57599.
- Lucht W, Schaaf CB, Strahler AH. 2000. An algorithm for the retrieval of albedo from space using semiempirical BRDF models. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens* 38: 977-998, doi: 10.1109/36.841980.
- MacKellar NC, Tadross MA, Hewitson BC., 2009. Effects of vegetation map change in MM5 simulations of Southern Africa's summer climate. *International Journal of Climatology* 29: 885–898, doi: 10.1002/joc.1754.
- Mahrt L, Ek M. 1984. The influence of atmospheric stability on potential evaporation. *J. Climate Appl. Meteor* 23: 222-234, doi: 10.1175/1520-0450(1984)023<0222:TIOASO>2.0.CO;2.
- Mahrt L, Pan HL. 1984. A two-layer model of soil hydrology. *Boundary Layer Meteorology* 29: 1-20, doi: 10.1007/BF00119116.
- Maki T., Susduki S., Kobayashi F., Kakikawa M., Yamada M., Higashi T., Hong Ch., Tobo Y., Hasegawa H., Ueda K., Iwasaki Y., 2008, Ecophysiological analysis of halobacteria in bioaerosol, 2008 Volume 13 Issue 4 Pages 309-313
- Maki, T., Y.Kurosaki, K.Onishi, K. C. Lee, S.B. Pointing, D.Jugder, N.Yamanaka, H.Hasegawa, M.Shinoda, 2017, Variations in the structure of airborne bacterial communities in Tsogt-Ovoo of Gobi desert area during dust events, *Air Quality, Atmosphere, and Health*, Published by Springer, 10, pages 249–260 (2017)
- Maki T.,Furumoto S., Asahi Y.,Lee K. C.,Watanabe K.,Aoki K.,Murakami M.,Tajiri T.,Hasegawa H.,Mashio A.,Iwasaka Y.,2018, Long-range-transported bioaerosols captured in snow cover on Mount Tateyama, Japan: impacts of Asian-dust events on airborne bacterial dynamics relating to ice-nucleation activitiesь *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 8155–8171, 2018
- Matsui T, Lakshmi V, Small EE. 2005. The effects of satellite-derived vegetation cover variability on simulated land–atmosphere interactions in the NAMS. *Journal of Climate*, 18(1): 21–40, doi: 10.1175/JCLI3254.1.
- Maynard K, Royer J-F. 2004. Sensitivity of a general circulation model to land surface parameters in African tropical deforestation experiments. *Climate Dynamics* 22: 555–572, doi: 10.1007/s00382-004-0398-9.

- McKee TB, Doesken NJ, Kleist J. 1993. The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, 17-22 January 1993, 179-184.
- Meehl GA. 1994a. Influence of the land surface in the Asian summer monsoon: External conditions versus internal feedbacks. *J. Climate* 7: 1033–1049, doi: 10.1175/1520-0442(1994)007<1033:IOTLSI>2.0.CO;2.
- Meng XH, Evans JP, McCabe MF. 2014. The influence of inter-annually varying albedo on regional climate and drought. *Clim Dyn* 42:787–803, doi: 10.1007/s00382-013-1790-0.
- Meng XH, Evans JP, McCabe MF. 2011. Numerical modelling and land-atmosphere feedback of drought in south-east Australia. *Proceedings of Symposium J-H02*, pp. 144 – 149.
- Meng, Z., Zhang, Q., 2006. Oxidative damage of dust storm fine particles instillation on lungs, hearts and livers of rats. *Journal of Environmental Toxicology and Pharmacology* 22, 277–282.
- Milambo F T., Jane M O., Francois A E. (2010), Analysis of temperature trends over Limpopo province, South Africa, *Journal of Geography and Geology*, Vol3, p13-21.
- Мижиддорж Р, Дуламсүрэн Д, 2017. Дендро-индикацийн аргаар нөхөн сэргээсэн монгол орны төвийн бүс нутгийн хур тунадасны 500 жилийн хэлбэлзлийн спектрал анализ, *Экологи-тогтвортой хөгжил*, №14, х107
- Modis collection 6 (6) LAI/FPAR product User's guide (2015)
https://lpdaac.usgs.gov/documents/2/mod15_user_guide.pdf
- Mlawer EJ, Taubman SJ, Brown PD, Iacono MJ, Clough SA. 1997. Radiative transfer for inhomogeneous atmospheres: RRTM, a validated correlated-K model for the longwave, *J. Geophys. Res* 102 (D14): 16663-16682, doi: 10.1029/97JD00237.
- Müller OV, Berbery EH, Alcaraz-Segura D, Ek MB. 2014. Regional model simulations of the 2008 drought in southern South America using a consistent set of land surface properties. *J. Climate*, 27: 6754–6778, doi: 10.1175/JCLI-D-13-00463.1
- Myneni RB, Hoffman S, Knyazikhin Y, Privette JL, Glassy J, Tian Y, Wang Y, Song X, Zhang Y, Smith GR, Lotsch A, Friedl M, Morisette JT, Votava P, Nemani RR,

- Running SW. 2002. Global products of vegetation leaf area and fraction absorbed PAR from year one of MODIS data. *Remote Sens. Environ.*, 83: 214-231.
- Hagemann, S., Chen, C., Haerter, J. O., Heinke, J., Gerten, D., and Piani, C. (2011). Impact of a statistical bias correction on the projected hydrological changes obtained from three gcms and two hydrology models. *J. Hydrometeorol.*, 12(4):556–578
- Nandintsetseg B, Shinoda M. 2014. Multi-Decadal Soil Moisture Trends in Mongolia and Their Relationships to Precipitation and Evapotranspiration. *Arid Land Research and Management* 28:3: 247-260. doi: 10.1080/15324982.2013.861882.
- Husar, R.B., Traff, D.M., Schichtel, B.A., Falke, S.R., Li, F., Jaffe, D., Gasso, S., Gill, T., Laulainen, N.S., Lu, F., Reheis, M.C., Chun, Y., Westphal, D., Holben, B.N., Gueymard, C., McKendry, I., Kuring, N., Feldman, G.C., McClain, C., Frouin, R.J., Merrill, J., DuBois, D., Vignola, F., Murayama, T., Nickovic, S., Wilson, W.E., Sassen, K., Sugimoto, N., Maim, W.C. 2000. Asian dust events Of April 1998. *J Geophys Res*, 106: 18,317-18,330.
- Natsagdorj, L., Jugder, D., Chung, Y.S., 2003. Analysis of dust storms observed in Mongolia during 1937–1999 March 2003 *Journal of the Atmospheric Environment* 37 (9–10), 1401–1411 Elsevier Science Ltd.
- Natsagdorj L. 2005. The precipitation change and its significant feature in growing seasons over Mongolia. *Mongolian geoscientist* 5: 157-177.
- Нацагдорж Л., Жүгдэр Д., Y.S.Chung, 2006: Монгол оронд ажиглагдсан шороон шуурганы судалгаа, Ус цаг уурын хүрээлэнгийн эрдэм шинжилгээний бүтээл, тусгай дугаар (2006), х.85-101
- Нацагдорж, Л., 1978. Монгол оронд хүчтэй салхи болох аэросиноптикийн нөхцөл. УЦУШИ-ийн ЭШБ., д:3, х:3-18.
- Нацагдорж, Л., Жүгдэр, Д. ба Chung, Y. S. (2006), “Монгол оронд ажиглагдсан шороон шуурганы судалгаа”, УЦУХ Эрдэм шинжилгээний бүтээл, Тусгай дугаар, 85-100.
- Н. Мандах, 2013. Монгол орны хөрс салхиар заагдах үйл явцыг үнэлсэн судалгааны үр дүнгээс, Шинжлэх ухааны академийн мэдээ, №2 (206), 61-70

- Natsagdorj L, Dagvadorj D. 2010. The adaptation to climate change in Mongolia. Ministry of Nature, Environment and Tourism of Mongolia (Mongolian). Jemr Printing, pp 26, Ulaanbaatar, Mongolia.
- Nicovic S., S.Dobricic, 1996: A model for long-range transport of desert dust. *Mon.Wea.Rev.* 124, p.2537-2544.
- Nishikawa, M., Mori, I., Morita, M., Hao, Q., Koyanagi, H., Haraguchi, K., 2000. Characteristics of sand storm dust sampled at an originating desert (case of the Taklamakan Desert). *Journal of Aerosol Science* 31, 755–756 Suppl. 1.
- Nishikawa,M., Mori,L., Morita,M., Hao,Q., Koyanagi,H., Haraguchi,K. 2000. Characteristics of sand storm dust simplified at an originating desert (case of the Taklamakan Desert). *Journal of Aerosol Science* 31,755-756 Suppl.1.
- Noda J., Tomizawa S., Hoshino B., Munkhjargal E., KawaiK., Kai K., 2019, Atmospheric dust as a possible survival factor for bioaerosols, *E3S Web of Conferences* 99, 04007 (2019), CADUC 2019
- Pan HL, Mahrt L. 1987. Interaction between soil hydrology and boundary-layer development. *Bound. Layer Meteorology* 38: 185-202, doi: 10.1007/BF00121563.
- Park, S.U., Jeong, J.I., 2008. Direct radiative forcing due to aerosols in Asia during March 2002. *Science of the Total Environment* 407, 394–404.
- Park, S.U., Park, M.S., Chun, Y.S., 2010. Asian dust events observed by a 20-m monitoring tower in Mongolia during 2009. *Atmospheric Environment* 44, p. 4964–4972.
- Park, B. J., Kim, Y. H., Min, S. K., & Lim, E. P. (2018). Anthropogenic and natural contributions to the lengthening of the summer season in the northern hemisphere. *Journal of Climate*, 31 (17), 6803-6819. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-17-0643>.
- Park, S.U., Chang, L.S., Lee, E.H., 2005. Direct radiative forcing due to aerosols in East Asian during a Hwangsa (Asian dust) event observed on 19–23 March 2002 in Korea. *Atmospheric Environment* 39, 2593–2606.

- Pielke Sr, R.A. 2001. Influence of the spatial distribution of vegetation and soils on the prediction of vegetation and soils on the prediction of cumulus convective rainfall. *Reviews of Geophysics* 39: 151–177, doi: 10.1029/1999RG000072.
- Pitman AJ, Pielke R, Avissar R, Claussem M, Gash J, Dolman H. 1999. The role of the land surface in weather and climate: does the land surface matter? *International Geosphere Biosphere Program Newsletter* 39: 4-11.
- Rui Mao, Chang-Hoi Ho et al. (2013). The influence of vegetation variation on Northeast Asian dust activity. *Asia-Pacific J. Atmos. Sci.*, 49(1) , 87-94.
- Уур амьсгалын өөрчлөлтийн үнэлгээний хоёрдугаар илтгэл-2014, БОАЖЯам, Монгол улс
- Sato T, Kimura F, Kitoh A. 2007. Projection of global warming onto regional precipitation over Mongolia using a regional climate model. *J. Hydrol* 333: 144-154, doi: 10.1016/j.jhydrol.2006.07.023.
- Sato T. 2009. Influences of subtropical jet and Tibetan Plateau on precipitation pattern in Asia: Insights from regional climate modeling. *Quat. Int* 194: 148-158, doi: 10.1016/j.quaint.2008.07.008.
- Schaaf CB, Gao F, Strahler AH. 2002. First operational BRDF, albedo nadir reflectance products from MODIS. *Remote Sens. Environ* 83: 135-148, doi: 10.1016/S0034-4257(02)00091-3.
- Sellers PJ, Tucker CJ, Collatz GJ, Los SO, Justice CO, Dazlich DA, Randall DA. 1996. A Revised Land Surface Parameterization (SiB2) for Atmospheric GCMS. Part II: The Generation of Global Fields of Terrestrial Biophysical Parameters from Satellite Data. *J. Climate* 9: 706–737, doi: 10.1175/1520-0442(1996)009<0706:ARLSPF>2.0.CO;2.
- Seinfeld, J.H., Pandis, S.N. 2006. *Atmospheric Chemistry and Physics. From Air Pollution to Climate Change.* Wiley New York.
- Shao, Y., E. Jung, L. Leilie Numerical prediction of northeast Asian dust storms using an integrated wind erosion modeling system *J. Geophys. Res.*, 107 (D24) (2002), p. 4814, [10.1029/2001JD001493](https://doi.org/10.1029/2001JD001493)
- Shao, Y., Dong, C.H., 2006. A review on Asian dust storm climate, modeling and monitoring. *Journal of the Global and Planetary Change* 52, 1–22.

- Shao, Y., 2009. Physics and modeling of wind erosion. Atmospheric and Oceanographic Sciences Library, vol. 23. Kluwer Academic Press, Dordrecht, The Netherlands, p. 393.
- Shinoda M, Nachinshonhor GU, Nemoto M. 2010. Impact of drought on vegetation dynamics of the Mongolian steppe: A field experiment. *Journal of Arid Environments* 74: 63–69, doi: 10.1016/j.jaridenv.2009.07.004.
- Shinoda,M., Kimura,R., Batbold,A., Amarjargal,D. 2014. Quantitative analysis on windblown dust concentrations of PM10 (PM2.5) during dust events in Mongolia. *Aerolian research* 14, 3-13. 0870.1983.tb00189.x.
- Skamarock WC, Coauthors. 2008. A description of the Advanced Research WRF Version 3, Tech. Note NCAR/TN-475 STR. 113 pp. Mesoscale and Microscale Meteorology Division, Natl. Cent. for Atmos. Res., Boulder, Colo.
- Solman S, Nuñez MN, Cabre MF. 2007. Regional climate change experiments over southern South America. I: present climate. *Clim Dyn* 30: 533-552, doi: 10.1007/s00382-007-0304-3.
- Stull, R. B. (1988), “An introduction to boundary layer meteorology”, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 535.
- Sridhar V, Elliott RL, Chen F. .2003. Scaling effects on modeled surface energy-balance components using the NOAA-OSU land surface model. *J. Hydrol* 280: 105–123, doi: 10.1016/S0022-1694(03)00220-8.
- Sutton, O. G. (1953), “Micrometeorology”, New York, McGraw Hill, 333.
- Syrakov, E. (2015), “General diagnostic equations and regime analysis for the height of the planetary boundary layer”, *Royal Meteorological Society*, 141, 2869-2879.
- Цоохүү, Х.,2007: Монгол Алтайн нурууны зүүн бэлийн хөрс салхиар зөөгдөх эрчим, УЦУШИ-ийн ЭШБ., д:28, х:99-109.
- Цогт, Ж., 1987. Баруун зүгийн нутгаар болсон онц хүчтэй салхи, шороон шуурганы аэросиноптикийн тохироо. Цаг агаарыг прогнозлох аргачилсан зөвлөмж, д:5, х:53-58.
- Takahashi HG, Yoshikane T, Hara M, Takata K, Yasunari T. 2010. High-resolution modelling of the potential impact of land-surface conditions on regional climate

- over Indochina associated with the diurnal precipitation cycle. *International Journal of Climatology* 30: 2004-2020, doi: 10.1002/joc.2119.
- Tian Y, Dickinson RE, Zhou L, Shaikh M. 2004. Impact of new land boundary conditions from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) data on the climatology of land surface variables. *J. Geophys. Res* 109: D20115, doi: 10.1029/2003JD004499.
- Tsedendamba P., D.Jugder, Baba K., Hagiwara K., Noda J., Kawai K., Sumiya G., McCarthy C., Kai K., Hoshino B., 2019, Northeast Asian Dust Transport: A Case Study of a Dust Storm Event from 28 March to 2 April 2012, *Atmosphere* 2019, 10, 69; doi:10.3390/atmos10020069
- Tsogt, J., Munkjargal, Ts., 2008. Report on a case study of weather disaster phenomenon observed in Mongolia on 26–27 May 2008. The project report on “Strengthening the Disaster Mitigation and Management System in Mongolia”, UNDP Project implemented at the National Emergency Management Agency. Printed by “Munkhiin Useg Group” Co.LTD, Ulaanbaatar.
- Tucker CJ, Pinzon JE, Brown ME, Slayback D, Pak EW, Mahoney R, Vermote E, Saleous NE. 2005. An Extended AVHRR 8-km NDVI data set compatible with MODIS and SPOT Vegetation NDVI Data. *Int. J. Remote Sens* 26(20), 4485–5598, doi: 10.1080/01431160500168686.
- Vince CKW, Mitchell K, Gayno G. 2006. Impact of green vegetation fraction on atmosphere/land-surface models. 18th Conference on Climate Variability and Change and 20th Conference on Hydrology.
- Wang, J., Guan, Y., Wu, L., Guan, X., Cai, W., Huang, J., et al. (2021). Changing lengths of the four seasons by global warming. *Geophysical Research Letters*, 48, e2020GL091753. <https://doi.org/10.1029/2020GL091753>
- Wang, X., Dong, Z., Zhang, J. and Liu, L. (2004), “Modern dust storms in China: an overview”, *J. Arid Environ.* 58, 559-574.
- Wei, A., Meng, Z., 2006. Evaluation of micronucleus induction of sand dust storm fine particles (PM_{2.5}) in human blood lymphocytes. *Journal of the Environmental Toxicology and Pharmacology* 22 (2006), 292–297.

- Xie P, Yatagai A, Chen M, Hayasaka T, Fukushima Y, Liu C, Yang S. 2007. A gauge-based analysis of daily precipitation over East Asia. *Journal of Hydrometeorology* 8: 607–627, doi: 10.1175/JHM583.1.
- Xue Y, Shukla J. 1993. The influence of land surface properties on Sahel climate, part I, Desertification. *J. Clim* 6: 2232-2245, doi: 10.1175/1520-0442(1993)006<2232:TIOISP>2.0.CO;2.
- Xue Y. 1996. The Impact of desertification in the Mongolian and the Inner Mongolian grassland on the regional climate. *J. Climate* 9: 2173-2189, doi: 10.1175/1520-0442(1996)009<2173:TIODIT>2.0.CO;2.
- Yan, Z., Xia, J., Qian, C., & Zhou, W. (2011). Changes in seasonal cycle and extremes in China during the period 1960-2008. *Advances in Atmospheric Sciences*, 28(2), 269-283. <https://doi.org/10.1007/s00376-010-0006-3>
- Yang, K., Nobuyuki, T., and Toshio, K. (2001), "Analytical Solution of Surface Layer Similarity Equations", *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 40 (9), 1647-1653.
- Zeng N, Yoon J. 2009. Expansion of the world's deserts due to vegetation albedo feedback under global warming. *Geophys. Res. Lett* 36: L17401, doi: 10.1029/2009GL039699.
- Zeng X, Dickinson RE, Walker A, Shaikh M, DeFries RS, Qi J. 2000. Derivation and Evaluation of Global 1-km Fractional Vegetation Cover Data for Land Modeling. *J. Appl. Meteor* 39: 826-839, doi: [10.1175/1520-0450\(2000\)039<0826:DAEOGK>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2000)039<0826:DAEOGK>2.0.CO;2).
- Zhamsueva G.S., Zayakhanov A.S., Tsydypov V.V, Ayurjanaev A.A, Azzaya D., Oyunchimeg D. 2010: Investigation of circulation of air mass and analysis of turbulence characteristics of atmosphere of east Gobi, Говийн бүсийн уур амьсгалын нөөц, түүний өөрчлөлт, х. 191-194 УБ
- Zhou, Chunxia, Teng Zhang, and Lei Zheng. "The characteristics of surface albedo change trends over the Antarctic sea ice region during recent decades." *Remote Sensing* 11.7 (2019): 821.
- Zhuosen Wang, Crystal B. Schaaf, Qingsong Sun, JiHyun Kim, Angela M. Erb, Feng Gao, Miguel O. Román, Yun Yang, Shelley Petroy, Jeffrey R. Taylor,

Jeffrey G. Masek, Jeffrey T. Morisette, Xiaoyang Zhang, Shirley A. Papuga, "Monitoring land surface albedo and vegetation dynamics using high spatial and temporal resolution synthetic time series from Landsat and the MODIS BRDF/NBAR/albedo product", International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Volume 59, 2017, Pages 104-117, ISSN 0303-2434, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.03.008>.

Хавсралт 1.

АГААР МАНДАЛ ДАХЬ ХҮЛЭМЖИЙН ХИЙ, ШОРОО, ТООСНЫ МЭДЭЭНД НАРИЙВЧИЛСАН БОЛОВСРУУЛАЛТ, АНАЛИЗ ХИЙХ АРГАЗҮЙ

Нэг. Оршил

Монгол орны агаарын дундаж температур сүүлийн 80 гаруй жилд 2.4°C-ээр дулаараад байна. Энэхүү дулаарлыг уур амьсгалын өөрчлөлт, хүний үйл ажиллагаанаас үүдэлтэйгээр агаар мандлын хүлэмжийн хий ихсэж байгаатай холбож тайлбарлаж болно. Манай орны хувьд аж үйлдвэржилттэй холбоотой агаар мандалд ялгаруулж байгаа хүлэмжийн хий нь харьцангуй бага боловч сүүлийн 30 жилийн хэмжилтээр агаар мандлын зөөгдлөөр харьцангуй ихсэж байгаа юм. Дорноговь аймгийн Эрдэнэ сумын Улаан-Уул өртөөнд 1992 оноос хүлэмжийн хийн хэмжилтийг хийж байгаа бөгөөд 1992-2018 оны мэдээгээр нүүрсхүчлийн хий /CO₂/ 15.4%, метан /CH₄/ 7.2%-иар өссөн бол, 6 фторт хүхрийн /SF₆/ агууламж 2.6 дахин өссөн байна.

Манай орны хаврын улиралд шороон шуурга ажиглагдах давтамж өндөр байдаг ба сүүлийн 40 жилийн ажиглалтын мэдээгээр шороон шуурганы үзэгдэл 2-3 дахин өссөн. Ус, цаг уурын салбарт Азийн шар шорооны мониторингийн 10 орчим станц байгуулсан бөгөөд эдгээр станц нь газрын гадарга орчимд дэгдэж буй тоосны агууламжийг хэмждэг.

Хүчтэй шороон шуурга нь цаг агаарын гаралтай аюултай үзэгдэлд ордог бөгөөд хүн амын эрүүл мэнд, газар тариалан, мал ахуйн салбарт сөргөөр нөлөөлж, нийгэм-эдийн засагт их хэмжээний хохирол учруулдаг. Мөн сүүлийн жилүүдэд байгалийн бэлчээр доройтсонтой холбогдон салхи шуурганы үед шороо тоос их хэмжээгээр дэгдэн хүчтэй шороон шуурганы эрч хүч, давтагдал улам бүр өссөөр байна. Иймд хүчтэй шороон шуурганы эрч хүч, хамрах газар нутаг, тоосны зөөгдлийг тоон загвараар тооцоолох, хиймэл дагуулын болон газрын ажиглалтын мэдээтэй харьцуулан анализ хийх, үнэлэлт дүгнэлт гаргаж байх шаардлага гарч байгаа тул эх мэдээг нэгтгэн, нарийвчилсан боловсруулалт, анализ хийж байх аргазүйг боловсруулав .

Хоёр. Зорилго

2.1 Монгол орны хүлэмжийн хийн хэмжилтийг тогтмол хийх нь уур амьсгалын өөрчлөлтийг тодорхойлох нэг хүчин зүйл боловч шороон шуурганы

улмаас зөөгдөж байгаа маш их хэмжээний шороо, тоосыг тусгайлан судлах, үнэлэх шаардлагатай. Одоогийн байдлаар хүчтэй шороон шуургатай үеийн цаг агаарын нөхцөл, газрын ажиглалтын мэдээ, хиймэл дагуулын мэдээ, тоон загвараар тоосны зөөгдлийг тооцоолсон үр дүн, хүлэмжийн хийн зэрэг мэдээллүүд нь тус тусдаа, өөр өөр хэлбэрээр бүрдэж, боловсруулалт хийгдэхгүй байгаа тул тэдгээрт нарийвчилсан боловсруулалт, дүн шинжилгээ хийж, нэгдсэн катологи үүсгэхэд энэхүү аргазүйн зорилго оршино.

Гурав. Зорилтууд

- 3.1 Хүлэмжийн хийн хэмжилтийн мэдээг сар бүр цуглуулж авах;
- 3.2 Хүчтэй шороон шуурга ажиглагдсан үеийн цаг агаарын болон аюултай үзэгдлийн ажиглалтын мэдээг бүрдүүлэх;
- 3.3 Хүчтэй шороон шуурга ажиглагдсан үеийн цаг агаарын газрын болон орчны зургийг бүрдүүлэх;
- 3.4 Хүчтэй шороон шуурга ажиглагдсан үеийн цаг уурын хиймэл дагуулын зургийг бүрдүүлэх;
- 3.5 Хүчтэй шороон шуурга ажиглагдсан үеийн Азийн шар шорооны мониторингийн хэмжилтийн мэдээг бүрдүүлэх;
- 3.6 Хүчтэй шороон шуурга ажиглагдсан үеийн шороон шуурганы тоон загварын үр дүнг бүрдүүлэх;

Дөрөв. Хүлээгдэж байгаа үр дүн

- 4.1. Аргазүйн хүрээнд дараах ажлуудыг хийж гүйцэтгэнэ. Үүнд:
 - 4.1.1 Дорноговь аймгийн Эрдэнэ сумын Улаан-Уул станцын хүлэмжийн хийн хэмжилтийн мэдээний үр дүнд боловсруулалт хийж, нүүрсхүчлийн хий /CO₂/, метан /CH₄/, 6 фторт хүхрийн /SF₆/ үзүүлэлтүүдийн сар болон жилийн хэмжээг тоон болон графикаар гаргах;
 - 4.1.2 Хүчтэй шороон шуурга ажиглагдсан үед “Ус, цаг уурын ажиглалтын болон аюултай үзэгдлийн мэдээ дамжуулах систем”-ээс станц, харуулын “АЮУЛ АГААР” мэдээг түүвэрлэх зураглал хийх;
 - 4.1.3 Хүчтэй шороон шуурга ажиглагдсан үед “Цаг агаарын зураг мэдээллийн боловсруулалтын систем”-ээс цаг агаарын зураг болон цаг уурын хиймэл дагуулын шороон шуурганы зургийг түүвэрлэн, цаг агаарын нөхцөл, эрч хүч, хамарсан бүс нутгийн талаар мэдээлэлд дүн шинжилгээ хийх;
 - 4.1.4 Хүчтэй шороон шуурга ажиглагдсан үед Азийн шар шорооны мониторингийн станцын мэдээнээс газрын гадарга орчмын тоосны тоон хэмжээг түүвэрлэн авах;
 - 4.1.5 Хүчтэй шороон шуурга ажиглагдсан үед шороон шуурганы загварын үр дүнгээр агаар мандалд дэгдэх болон газарт унах тоосны хэмжээг тооцоолох;

4.1.6 Хүчтэй шороон шуурганы тохилдол бүрт ажиглалтын мэдээ, тоон загварын үр дүн, хиймэл дагуулын зураг болон шар шорооны мониторингийн ажиглалтын мэдээг нэгтгэсэн катологи үүсгэх;

4.1.7 Хүчтэй шороон шуурга ажиглагдсан онцгой тохиолдлоор эрдэм шинжилгээний өгүүлэл бичиж, олон нийтийн хүртээл болгох;

4.1.8 Шороон шуурга, хүлэмжийн хийн мэдээг нэгтгэн боловсруулж, анализ хийсэн тайланг холбогдох хэлтэст хэлэлцүүлэх, улмаар Ус цаг уур, орчны судалгаа мэдээллийн хүрээлэнгийн Шинжлэх ухаан технологийн зөвлөлд жил бүр танилцуулах;



ЦАГ УУР, ОРЧНЫ ШИНЖИЛГЭЭНИЙ
ГАЗРЫН ДАРГЫН
ГУШААЛ

2023 оны 06 сарын 16 өдөр

Дугаар: А/49

Утга: Ибаатар 207

Технологи, арга зүй батлах тухай

Монгол улсын "Засгийн газрын агентлагийн эрх зүйн байдлын тухай" хуулийн 8 дугаар зүйлийн 8.4, "Ус цаг уур, орчны хяналт шинжилгээний тухай" хуулийн 6 дугаар зүйлийн 6.1.1, 6.1.7 дахь заалт, тус газрын Арга зүйн зөвлөлийн 2023 оны 01 дүгээр хуралдааны тэмдэглэлийг тус тус үндэслэн ТУШААХ нь:

1. "Шороон шуурганы загварын үр дүн болон байран хиймэл дагуулын зургийг цаг агаарын зурагтай давхцуулах технологи"-ийг 2023 оны 07 дугаар сарын 01-ний өдрөөс эхлэн Ус, цаг уур, орчны хяналт шинжилгээний улсын сүлжээнд нэвтрүүлсүгэй.

2. "Шороон шуурганы загварын үр дүн болон байран хиймэл дагуулын зургийг цаг агаарын зурагтай давхцуулах технологи"-ийг ажиллуулах гарын авлагыг 1 дүгээр, "Агаар мандал дахь хүлэмжийн хий, шороо, тоосны мэдээнд нарийвчилсан боловсруулалт, анализ хийх арга зүй"-г 2 дугаар хавсралтаар тус тус баталсугай.

3. Дээрх технологийн хэрэгжилтэд хяналт тавьж ажиллахыг тус газрын Урьдчилан мэдээлэх хэлтэс /Л.Оюунжаргал/-т, арга зүйн хэрэгжилтэд хяналт тавьж ажиллахыг Ус цаг уур, орчны судалгаа, мэдээллийн хүрээлэн /Г.Сарантуяа/-д тус тус үүрэг болгосугай.

ДАРГА

С.ЭНХТҮВШИН

Хавсралт 2. Хэвлэн нийтлүүлсэн өгүүллэг