



МОНГОЛ УЛСЫН ИХ СУРГУУЛЬ
ШИНЖЛЭХ УХААНЫ СУРГУУЛЬ
ГАЗАРЗҮЙН ТЭНХИМ

Газарзүйн асуудлууд сэтгүүл

Journal of Geographical Issues

Volume 22 (1)

ISSN: 2312-8534

2022

Улаанбаатар хот 2022

Шилийн Богд орчмын хээрийн түймрийн шаталтын зэрэглэлийг тооцоолох болон нөхөн сэргэх үйл явцын мониторинг судалгаа

A wildfire monitoring study for burn severity and recovery process using remote sensing techniques: A case study near Shiliin Bogd mountain, Eastern Mongolia

©Г.Бямбахуу^{1*}, В.Батцэнгэл¹, Ч.Наранцэцэг¹, Б.Нямдаваа², О.Мэндбаяр¹, Б.Сайнбуян¹,
В.Батбаяр¹, Фолин Вү³
G.Byambakhuu^{1*}, V.Battsengel¹, Ch.Narantsetseg¹, B.Nyamdavaa², O.Mendbayar¹,
B.Sainbuyan¹, V.Batbayar¹ and Falin Wu³

¹ Газарзүйн мэдээллийн систем, зайнаас тандан судлалын судалгааны лаборатори, Газарзүйн тэнхим, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль, Монгол Улс

² Хөрс судлалын сургалт, судалгааны лаборатори, Газарзүйн тэнхим, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль, Монгол Улс

³ 'SNARS' судалгааны лаборатори, Техник-Оптоэлектроник Инженерийн Сургууль, Бэйханг Их Сургууль, Бээжин хот, БНХАУ

¹ Research Laboratory of Geo-Informatics (GEO-iLAB), Department of Geography, School of Arts and Sciences, National University of Mongolia, Mongolia

² Training and Research Laboratory of Soil, Department of Geography, School of Arts and Sciences, National University of Mongolia, Mongolia

³ 'SNARS' Research Laboratory, School of Instrumentation and Optoelectronics Engineering, Beihang University, Beijing, China

*Харилцагч зохиогч: byambakhuu@num.edu.mn

*Corresponding author: byambakhuu@num.edu.mn

Хүлээн авсан: 2021.11.02

Засварласан: 2021.02.16

Зөвшөөрөгдсөн: 2022.02.18

Хураангуй

Дэлхий уур амьсгалын өөрчлөлтийн шууд болон дам үр дагаврын нөлөөллөөр олон төрлийн байгалийн гамшигт үзэгдлүүд нэмэгдэж, тэдгээрийг судлах зорилгоор орчин үеийн судалгааны арга техникийг өргөн ашиглах боллоо. Үүний нэг тод илрэл нь зайнаас тандан судлалын арга бөгөөд түүний зураглалын технологийн тусламжтайгаар байгаль орчны өөрчлөлтийг хянах, урьдчилан таамаглах, үнэлэх, илрүүлэх боломжууд нэмэгдэж, судалгаа шинжилгээний хувьд ач холбогдол өндөртэй болж байгаа юм. Энэхүү судалгааны үндсэн зорилго нь 'Sentinel-2' хиймэл дагуулын зураглалын технологийн ашиглан түймрийн гамшигт үзэгдлийг хянах, түймэрт өртсөн талбайг тодорхойлох, шатсан талбарын зэрэглэлийг ангилах, байгалийн нөхөн сэргэлтийн үйл явцыг тодорхойлох явдал юм. Судалгааны нутаг дэвсгэрийг Монгол орны зүүн хэсэг, тал хээрийн бүсэд орших Шилийн Богд уул орчим дахь түймэр гарсан газар нутгийг сонгон авсан болно. Судалгааны аргазүйн хувьд нормчилсон шаталтын харьцаа буюу 'NBR' индексийг ашиглан түймэрт өртсөн талбарын талбай, шатсан талбарын зэрэглэлийг шатаагүй, бага, бага-дунд, их-дунд, өндөр гэсэн 5-н зэрэглэлд зураглан, нөхөн сэргэлтийн явцыг урсгалын нормчилсон индекс буюу 'NDVI' үзүүлэлт, хээрийн ажиглалтын үйл явцаар тодорхойлсон болно. Судалгааны үр дүнд сансрын зургаас түймэрт шатсан талбайг ялган зураглаж, нийт шатсан талбайн хэмжээг 1164.27 км² гэж тооцоолсон. Үүний 65 хувь буюу 757.34 км² талбай сул, 34.7 хувь буюу 404.57 км² талбай бага-дунд, үлдсэн 0.3 хувь буюу 2.36 км² талбай өндөр-дунд шаталтын зэрэглэлийн ангилалд багтаж байгааг тодорхойлсон. Энэ судалгааны ажил нь онцгой байдлын газрын албан хаагчид, судлаачид, байгаль орчны мэргэжилтнүүдэд түймэр гарсан газар нутгийн шаталтын зэргийг тодорхойлох, нөхөн сэргэлтийн байдлыг илрүүлэх, гамшигийн зэргийг үнэлэх, дүн шинжилгээ хийх зэрэг ажлуудад аргазүйн хувьд дэмжлэг болохуйц ач холбогдолтой юм.

Түлхүүр үгс: Түймрийн гамшиг, Түймрийн аюулт үзэгдэл, түймрийн нөхөн сэргээлт, Sentinel-2, Шилийн Богд уул, Зүүн Монгол

©Зохиогчийн оруулсан хувь нэмэр: **Г.Бямбахуу:** Судалгааны ажлын нэгтгэл, бичвэр, боловсруулалт; **В.Батцэнгэл:** Судалгааны ажлын нэгтгэл, бичвэр; **Ч.Наранцэцэг:** Сансрын зургийн боловсруулалт; **Б.Нямдаваа:** Хээрийн судалгаа; **О.Мэндбаяр:** Судалгааны судлагдасан байдал боловсруулалт; **Б.Сайнбуян, В.Батбаяр:** Сансрын зургийн боловсруулалт; **Фолин Вү:** Англи хувилбарын хянан магадалгаа.

Abstract

Due to the increase in global climate change and related natural disasters, satellite observation and mapping technology have made it possible to monitor, predict, evaluate, and detect the environment, which is a clear indication of the importance of remote sensing. The main purpose of this study is to monitor the occurrence of fire disasters as a result of Sentinel-2 satellite imaging technology, to determine the burned area with its classification and the recovery process. The study area was sampled in the southeastern part of Mongolia, near the Shiliin Bogd mountain at the natural steppe zone. In terms of research methodology, the normalized burn ratio (NBR) index was used to map the area of the fire site and the classification of the burned area into 5 categories: unburned, low, low-medium, high-medium, and high, which are process-defined work. As a result of the estimation, the burned area was mapped from the satellite images and the total burned area was 1164.27 km², of which 757.34 km² (65 percent) was weak, 404.57 km² (34.7 percent) was low-medium and the remaining 2.36 km² (0.3 percent) was high-medium. Finally, we believe that this research is important for emergency workers, researchers, and environmental specialists.

Keywords: *Wildfire, Burn severity, Wildfire recovery, Sentinel-2, Shiliin Bogd mountain, Eastern Mongolia*

Оршил

Ой, хээрийн түймэр нь байгалийг ихээр сүйтгэж, экологийн доройтлыг бий болгох ба үүнээс үүдэлтэй нийгэм, эдийн засагт сөрөг нөлөө үзүүлсээр иржээ. Гарч буй ой, хээрийн түймрийн 90 гаруй хувь нь аж ахуйн болон хувийн хэрэгцээний зориулалтаар ойд мод бэлтгэх, газар тариалан эрхлэх зэрэг газар ашиглалтын үйл ажиллагаатай холбоотой хүний үйл ажиллагаанаас үүдэлтэй байдаг (Roy, 2003). Сүүлийн жилүүдэд хөдөө аж ахуйн болон үйлдвэрлэлийн зориулалтаар ашиглах газар ашиглалтын хэмжээ нэмэгдэж, газрын элэгдэл, эвдрэл, хөрсөн бүрхэвчийн доройтол, хуурайшил зэрэг үйл явц нь ой, хээрийн түймрийн хэмжээ, давтамжийг ойртуулж, түүнтэй холбоотой байгаль орчинд үзүүлэх сөрөг нөлөө нэмэгдсээр байна. Төрийн байгууллагууд түймрийн орон зайн шинжилгээний мэдээлэл дутмагаас шалтгаалж түймрийн хохирлыг ихэвчлэн дутуу мэдээлэх, үнэлэх дутагдалтай талууд бий. Зарим улс орнуудын түймрийн талаар явуулсан судалгааны дүнд шинжилгээ хийж, хээрийн судалгааны бодит зарим үр дүнтэй харьцуулан үзсэнээр үүнийг нотлох боломжтой. Одоогоор ой, хээрийн түймрийн хэмжээ, түймэрт өртсөн нийт талбайн чанарын талаар орон зай, статистик мэдээлэл байхгүйгээс тухайн газарт учирсан сүйрэл, хохирлын хэмжээг нарийн тооцоолох боломжгүй байна. Зайнаас тандан судлалын орчин үеийн дэвшилтэд технологи нь ой, хээрийн экосистемийн хариу урвалын динамикийн талаар нарийн ойлголтыг өгч, зарим хязгаарлах хүчин зүйлсийг зардал багатай, цаг алдалгүй ашиглах боломжийг олгодог. Үүний үр дүнд глобал, бүс нутаг, орон нутгийн хэмжээнд байгалийн гамшигт үзэгдэл болох түймрийг илрүүлэх, хянах, хохирлыг үнэлэх, урьдчилан таамаглах чадамж эрс сайжирсан.

Түймрийн удирдлага-судалгаа нь цогц системийн хүрээнд шийдвэр гаргах, хүний болон байгалийн нөөц, хүрээлэн буй орчны хоорондын хамаарлыг математик загварчлал дээр суурилан дүн шинжилгээ хийх, түймрийн гамшигын үед авах арга хэмжээг тодорхойлж буй аргачлал юм (Minas et al., 2012). Эдгээр судалгааны боловсруулалтын явцад хамгийн түгээмэл ашигладаг арга зүй бол зайнаас тандан судлалын арга техникүүд байдаг. Зайнаас тандан судлалын технологи нь газрын гадарга дээрх түймрийн цар хүрээ, нөлөөллийг судлах хамгийн тохиромжтой платформ юм (Arnett et al., 2015). Зайнаас тандан судлалын зарим хэрэглээ цаг хугацааны урт интервалын хувьд тодорхой өгөгдөл мэдээллийг харуулахгүй боловч, тодорхой цаг хугацаан дах боловсруулалт (мэдээлэл хүлээн авснаас хойш 30-180 минутын дараа гарах үр дүн) нь судалгааны хамгийн боломжит шийдлийг санал болгодог. Орон зайн хувьд нисэх онгоц ба нисэх төхөөрөмжүүдээр мониторинг хийж байгаатай төстэй байдлаар ой, хээрийн түймрийг илрүүлэх, идэвхжлийг хянах, сансрын зургийн тодруулга хийх зэрэгт тухайн цаг хугацааны бодит нөхцөл байдлыг илрүүлэх давуу талтай (Bhme et al., 2015).

Нормчилсон шаталтын харьцаа (Normalized Burn Ratio – NBR)-ны индекс нь түймрийн судалгааны чухал арга техникийн нэг ба нэг талаас нь авч үзвэл түймрийн орон зайн тархалтын хувьд онцгой чухал ач холбогдолтой зураглалын судалгааг хийдэг. Энэ судалгааны явцад ‘NBR’-ийг ашигласан хэд хэдэн судалгааг онцолж үзлээ. Үүнд: San-Miguel (2016) нарын ойн түймрийн дараах өртөлтийг урьдчилан тооцоолсон судалгаа, Cai & Wang (2020) нарын зүүн өмнөд Хятадын нутагт хийгдсэн түймрийн шаталтын зэрэглэлд дельта нормчилсон шаталтын харьцаа (delta Normalized Burn Ratio-dNBR)-ны индексийн тооцоо нь ‘NBR’ индексээс илүү ач холбогдолтой юу? сэдэвт судалгаа, Cardil (2019) нарын ‘RdNBR’-ийн боловсруулалтаар түймэр болон шаталтын зэрэглэлийг үнэлэх судалгаа, Parks (2014) нарын уялдаат шаталтын харьцаа (Relative Burn Ration- RBR) нь шаталтын зэрэглэл тогтоох чанарын шинэ хэмжигдэхүүн зэрэг судалгаануудыг дурдаж болох юм. Бид энэ судалгаанд эдгээр судалгааны арга зүйн хувьд авч

ашиглах, түймрийн зураглалын боловсруулалтад зарим нэг шинэчлэл хийж сайжруулах, бусад арга зүйн нэгдмэл зарчимд тулгуурлан тодорхой тодруулга хийж ажиллахыг зорив.

Монголд хийгдэж байсан түймрийн судалгаануудыг авч үзвэл Munkhjargal (2020) нарын “Хэнтийн нурууны цэвдгийн алдралыг түймэртэй холбон судалсан судалгаа”, Rihan (2021) нарын “Монголын тэгш өндөрлөгийн уур амьсгалын өөрчлөлт, түймэртэй холбон судалсан судалгаа”, Nasanbat (2020) нарын “Монгол орны хойд хэсгийн тусгай хамгаалалттай газруудын түймрийн эрсдлийн судалгаа”, Hessel (2012) нарын “Төв Монгол дахь модны цагаригт тулгуурласан түймрийн түүхэн хандлагын судалгаа”, Корр (2017) нарын “Хойд Монголын түймрийн нөлөөллийн судалгаа”-ууд хийгджээ. Түүнчлэн Монголын болон Олон Улсын мэргэжлийн байгууллагуудтай хамтран хийсэн ажлууд энэ чиглэлийн судалгаанд тодорхой хувь нэмэр оруулсныг дурдах нь зүйтэй. Энэ судалгаагаар ‘Sentinel-2’ хиймэл дагуулын зургийн боловсруулалтын үр дүнд тулгуурлан түймрийн үзэгдлийн хянах, шатсан талбайн хэмжээг тодорхойлох, шаталтын зэрэглэлийг ангилах, нөхөн сэргэлтийн үйл явцыг үнэлэхийг зорив.

Судалгааны талбай

Монгол орны зүүн хэсэгт орших Сүхбаатар аймгийн Баруун-Урт хотоос зүүн урагш 200 гаруй км, Дарьганга сумын төвөөс зүүн урагш 60 орчим км, Монгол-Хятадын хилээс 30 орчим км зайтай оршино. Шилийн Богд уул (1778 м) орчимд д.т.д 1300-1500 орчим метрийн өндөрлөг гадарга зонхилдог. Газарзүйн хээрийн бүсэд хамаарна. Гадаргын хувьд талархаг, нам уулс, толгод зонхилох бөгөөд гадаргын налуу харьцангуй багатай 1-25 граудсын хооронд хэлбэлзэнэ. Монгол болон БНХАУ хоёр улсын хил орчмын бүс нутаг учир түймрийн үүсэл, оронзайн тархалтыг тооцоолох, урьдчилан сэргийлэх шаардлага тулгардаг гол бүс нутгийн нэг хэсэг юм.

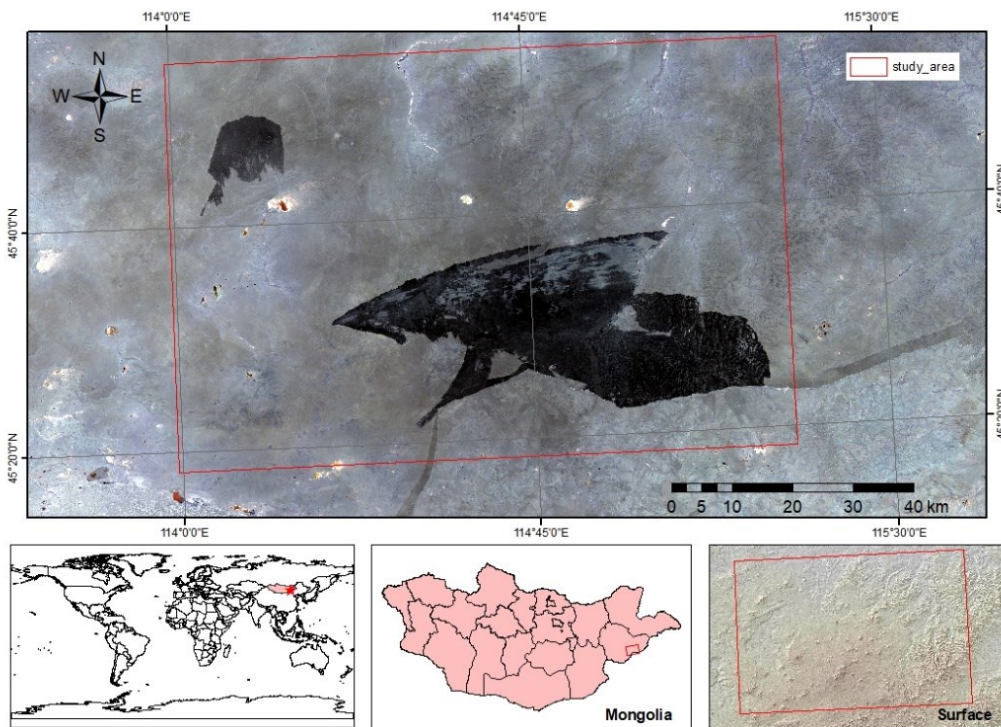
Энэ бүс нутагт 2021 оны IV сарын 19-ны өдөр хээрийн түймэр гарсан учир судалгааны талбай болгон сонгон авсан. Энэхүү түймэрт өртсөн нутгийн сонгон авсан газар нутгийн талбай нь 6879.67 км² бөгөөд ХӨ 48°18′ - 48°54′, ЗУ 113°59′ - 115°17′ хооронд оршино (Зураг 1-2).

Жилийн дундаж температур нь 1.5-1.7°C, хамгийн бага температурын утга I сард -32.5°C хүрч байсан. Зуны улиралд VII сарын дундаж температур 21.8°C, өвлийн улиралд I сарын дундаж температур -21.3°C хүрдэг. Жилийн нийт хур тунадасны хэмжээ дунджаар 200.6 мм, VI-IX сарын хооронд нийт хур тунадасны 70 буюу түүнээс дээш хувь нь ордог.



Зураг 1. Шилийн Богд орчмын ургамалжилтын төлөв байдал, Гэрэл зургийг В.Батцэнгэл, 2022

Байгалийн зүй тогтлын хувьд авч үзвэл Монголын тал хээрийн хэв шинжид голлон тархах крыловын хялгана зонхилно. Ургамал ургах онцлог нь өвс хэт өндөр ургах ба жилийн дөрвөн улирлын туршид хатсан борог өвс 1-5 см зузаан давхаргыг үүсгэж цаг хугацааны явцад түймэр гарах эрсдлийг нэмэгдүүлдэг. Хүний үйл ажиллагаа, хатсан борог өвсний давхаргад аянга буух нь түймэр гарах гол шалтгаанууд болдог. Энэ бүс нутагт түймэр хурдацтай тархах дараагийн шалтгаан нь талархаг гадаргад салхины хурд 3 м/с буюу түүнээс дээш салхитай өдрийн тоо жилийн 160-180 хоног байдагтай холбон тайлбарлах боломжтой юм (Зураг 3).



Зураг 2. Судалгааны талбайн 2021 оны IV сарын 20-ны өдрийн ‘Sentinel-2’ хиймэл дагуулын зураг

Судалгааны материал

Хиймэл дагуулын өгөгдөл: ‘Sentinel-2’ хиймэл дагуул нь 2015 оноос хойш дэлхийг тойрон тасралтгүй ажиглаж, олон тооны хугацааны цуврал зургуудийг цуглуулж өгөгдлийн сан бүрдүүлсэн. Эдгээр цуврал зургуудад сансрын зургийн мэдээнд өндөр нарийвчлалтай, олон спектрийн дүрслэл бүхий 10 м-ийн дөрвөн суваг, 20 м-ийн зургаан суваг, 60 м-ийн орон зайн нарийвчлалтай гурван суваг нийтдээ 13 сувгийн мэдээг ашиглав. Түүнээс гадна оптик төхөөрөмжийг ашигладгаараа давуу талтай юм (Хүснэгт 1).

Хүснэгт 1. Судалгаанд ашигласан ‘Sentinel-2’ хиймэл дагуулын зургийн үзүүлэлтүүд

Сувгийн дугаар	Сувгийн нэр	Орон зайн нягтрал (м)	Төв долгионы урт (нм)	Дамжуулах зурвасын өргөн (нм)
1	Coastal aerosol	60	443	20
2	Blue	10	494	65
3	Green	10	560	35
4	Red	10	665	30
5	Vegetation red edge	20	704	15
6	Vegetation red edge	20	740	15
7	Vegetation red edge	20	781	20
8	NIR 1	10	834	115
8	Narrow NIR or NIR 2	20	864	20
9	Water vapour	60	944	20
10	SWIR – Cirrus	60	1375	30
11	SWIR 1	20	1612	90
12	SWIR 2	20	2194	180

Эх сурвалж: ESA, 2015

Энэ судалгаанд Европын Сансрын Агентлагийн ‘Copernicus’ нээлттэй мэдээллийн сангаас ‘Sentinel-2’ хиймэл дагуулын 2021 оны IV сараас IX сар хүртэлх нийтдээ 20-оос доош хувийн үүлэн бүрхэцтэй 8 зургийг татан авч ашигласан (Хүснэгт 2).

Хүснэгт 2. Шинжилгээнд ашигласан ‘Sentinel-2’ хиймэл дагуулын мэдээнүүдийн огноо

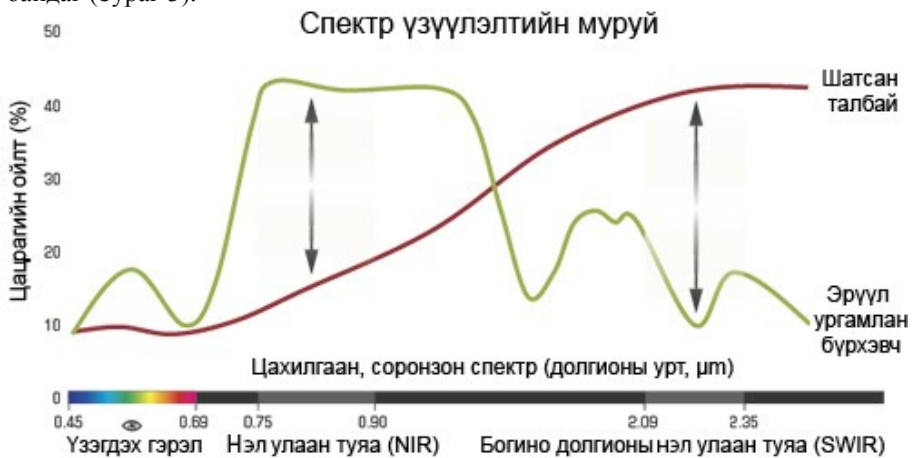
№	Он, сар, өдөр
1	2021 оны IV сарын 5
2	2021 оны IV сарын 20
3	2021 оны V сарын 5
4	2021 оны V сарын 15
5	2021 оны VII сарын 19
6	2021 оны VIII сарын 18
7	2021 оны IX сарын 17
8	2021 оны IX сарын 27

‘Landsat’ хиймэл дагуулын цаг хугацааны цуврал зургууд нь үүлэн бүрхцийн нөхцлөөс шалтгаалан сонгосон судалгааны талбайд тодорхой бэрхшээлүүдийг үүсгэж байдаг. Харин ‘Sentinel-2’ хиймэл дагуулын хувьд хугацааны өгөгдлийн тоо ‘Landsat’ хиймэл дагуулын зургийн тооноос илүү боломжит өгөгдөлтэй байсан тул сонгосон.

Хээрийн түймрийн мониторинг, хяналтын динамик шинжилгээний арга зүй

Газрын гадаргын ерөнхий шинж байдлаас хамаарч дэлхийгээс агаар мандалд цацруулах долгионууд ялгаатай шинж чанартай байдаг. Эдгээр спектрийн ялгаатай илэрхийлэл газрын бүрхэцийн олон янз төрлийг илрүүлэх, түүн дээр явагдаж буй үйл явцыг судлах боломжийг бидэнд олгодог. Оптикийн тандан судлалаар ой, хээрийн түймрийг судлахдаа хиймэл дагуул дээр байрлах өндөр нарийвчлал бүхий үзэгдэх, нэл улаан туяаны мэдрэгчүүдийг ашигладаг.

Ойрын нэл улаан, дундын нэл улаан туяаны болон дулааны спектрийн үзүүлэлтүүдийг ашиглан ургамлын төлөв байдлын өөрчлөлтийг ялган харах боломжтой байдаг. Эдгээрийг ихэвчлэн байгаль хамгааллын удирдлага, гамшигт үзэгдлийн үйл ажиллагааг хянах, дэмжих зорилгоор түймэрт өртсөн газар нутаг, шаталтын зэрэглэлийг үнэн зөв үнэлэхэд ашигладаг. Ногоон, гамшигт өртөөгүй ургамал нь ойрын нэл улаан туяаны (Near Infrared - NIR) мужид илүү харагдах бөгөөд энэ нь цахилгаан-соронзон спектрийн үзэгдэх гэрлийн хэсэгт улаан гэрлийг шингээдэг. Үүний зэрэгцээ галд өртсөн газрууд нь үзэгдэх, богино долгионы нэл улаан туяаны (Shortwave Infrared – SWIR) мужид илүү их энерги зарцуулдаг бол ‘NIR’ бүсэд эрчим хүчийг шингээж байдаг (Зураг 3).



Зураг 3. Спектр үзүүлэлтийн муруй (Carpenter, 2018)

Байгалийн ургамлын төрөл зүйлүүд нэл улаан туяанд илүү их энерги ойлгодог боловч богино долгионы нэл улаан туяанд сул байдаг тул спектрийн шинж чанар нь шатсан талбайг илрүүлэхэд тустай. Шаталтын нормчилсон харьцаа ‘NBR’ нь түймрийн дараа спектрийн шинж чанар мэдэгдэхүйц өөрчлөгдсөн хэсгүүдийг ялгах замаар шаталтын зэргийг хэмжихэд ашигладаг индекс юм. Үүнийг зайнаас тандах хиймэл дагуулаас авсан ‘NIR’, ‘SWIR’ долгионуудын уртын сувагт энергийн эрчмийг ашиглан тооцдог. ‘NBR’-ийн тооцоолол нь ‘NIR’ буюу улаан долгионы сувгаас ирж буй гэрлийн эрчмийг үндэслэдэг ургамлын нормчилсон ялгаат индекс (Normalized Difference Vegetation index – NDVI)-тэй төстэй юм. ‘NBR’ нь ‘NIR’, ‘SWIR’ сувгуудын хоорондын харьцааг ашигладаг. ‘NBR’-ийн өндөр утга нь эрүүл ургамлан бүрхэцтэй талбайг илэрхийлдэг бол бага утга нь нүцгэн газар болон саяхан шатсан газрыг илтгэнэ. Ойролцоогоор

тэг утгууд нь гал түймрийн үйл явдалд өртөөгүй хэсгийг илэрхийлнэ. ‘NBR’ нь дараах томъёо (1)-ээр тооцоолно.

$$NBR = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)} \quad (I)$$

Шаталтын зэрэг нь түймрийн үйл явцын байгаль орчинд үзүүлэх нөлөөллийн түвшнийг илэрхийлэх нэр томъёо юм. Энэ нь сансрын зургаас авсан түймрийн өмнөх, дараах ‘NBR’-ийн ялгаагаар тодорхойлогдоно (Boucher et al., 2017). Саяхан шатсан газрын талбайг тодорхойлох, тэдгээрийг шатсан хөрс, бусад ургамалгүй газраас ялгахын тулд түймрийн өмнөх ба дараах ‘NBR’ хоорондын ялгааг ‘dNBR’ индексээр тодорхойлж гаргадаг. Өндөр ‘dNBR’-ийн утга бүхий хэсгүүд илүү их гэмтэлтэй юм уу эсвэл шаталтын зэрэгтэй тохирч байдаг. Үүнийг эсрэгээр авч үзвэл бага ‘dNBR’ утгууд нь түймрийн үзэгдэлд өртөөгүй газар, эсвэл ой хээрийн түймрийн ослын дараа ургамлын төрөл зүйл дахин сэргэсэн бүс нутгийг илэрхийлдэг.

$$dNBR = NBR_{pre-fire} - NBR_{post-fire} \quad (II)$$

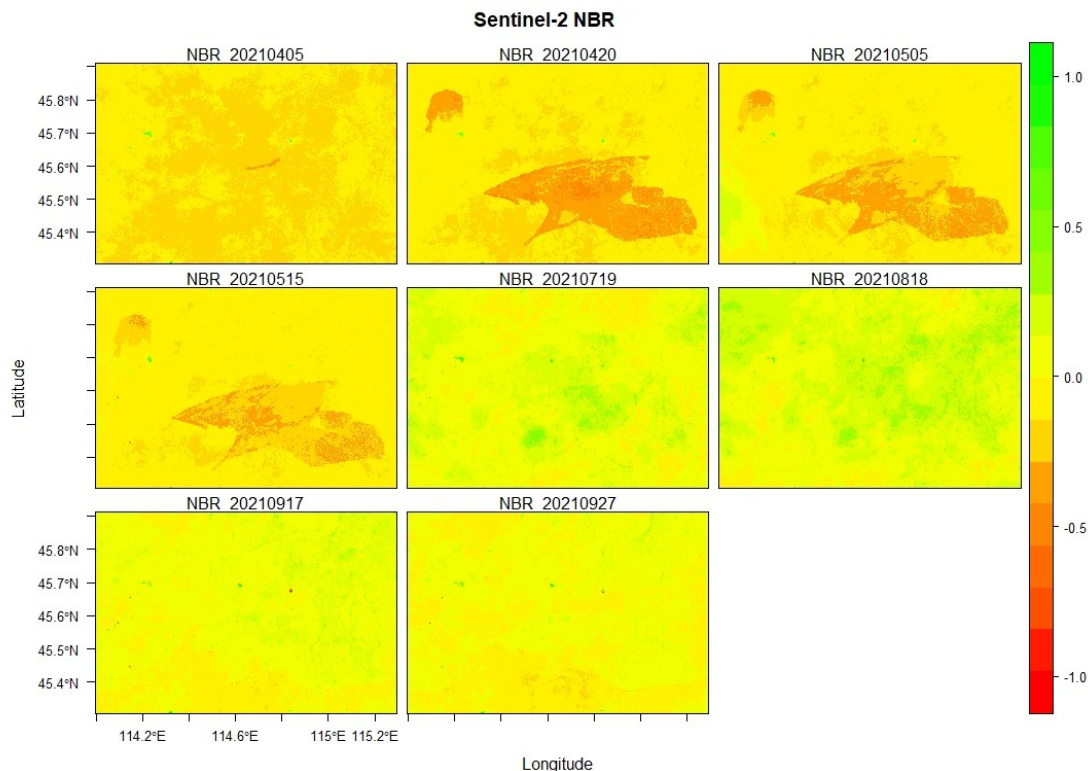
Түймрийг хянахын тулд нэг газарт, өөрөөр хэлбэл тухайн газрын хиймэл дагуулын 2 зургийг авч ашиглах шаардлагатай. Түймрийн хугацааны хувьд хамгийн ойрхон авсан зургийг гол зураг, сүүлд авсан зургийг дагалдах зураг гэж нэрлэдэг. Гол зураг болон дараагийн дагалдах зургийн ‘NBR’-ийг тооцоолох замаар галын нөлөөллийг шинжлэх боломжтой. Гол ‘NBR’ зураг, дагалдах ‘NBR’ зураг хоорондын зөрүү ‘dNBR’-н дээр үндэслэн гал түймрийн нийт шатсан талбайг тодорхойлж, түймэрт хүчтэй өртсөн газруудыг тодорхойлж болно.

Судалгааны үр дүн

Энэхүү судалгаагаар дэвшүүлсэн зорилгодоо хүрэхийн тулд дараах зорилтот үр дүнгүүдээр шинжилгээ хийн тооцоолсон. Үүнд: Нэгдүгээрт – нормчилсон шаталтын харьцааны индексийг, Хоёрдугаарт – шатсан талбайг тооцоолж, Гуравдугаарт – шаталтын зэрэглэлийн ангиллыг хийж нөхөн сэргэлтийн үйл явцад шинжилгээ хийв. Эдгээр үр дүнгүүдээ хэсэгчилсэн байдлаар доорх үр дүнгийн хэсэгт танилцуулав.

Нормчилсон шаталтын харьцаа ‘NBR’-ны тооцоо

Судалгаанд сонгон авсан талбайд нийтдээ гурван хэсэг газар тухайн жилд түймрийн тохиолдол бүртгэгдсэн байв. Тэдгээр түймрийн зураглалыг хавраас намар хүртэлх хугацаанд ‘NBR’ индексийн үзүүлэлтийг ‘Sentinel-2’ хиймэл дагуулын зургийн сувгуудыг ашиглан томъёо (1)-ээр тооцоолж үр дүнг (Зураг 1) харуулав.



Зураг 1. Нормчилсон шаталтын индексийн орон зай, цаг хугацааны өөрчлөлт

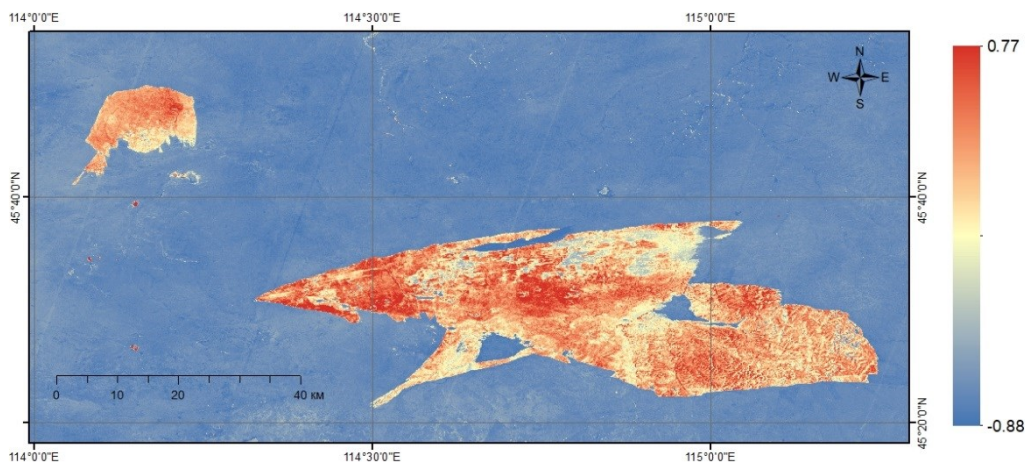
Боловруулсан растер зурагт пикселийн утга улаан өнгөний ялгарал илүү тод байдлаар илэрхийлэгдэж байгаа нь түймрийн шаталтын түвшин өндөр байгааг харуулдаг. Харин ногоон өнгөний утга нэмэгдэх тусам ургамал хэвийн ургах нөхцөл рүү шилжиж байгааг харуулж байна.

Шатсан талбайг тодорхойлох тооцоо

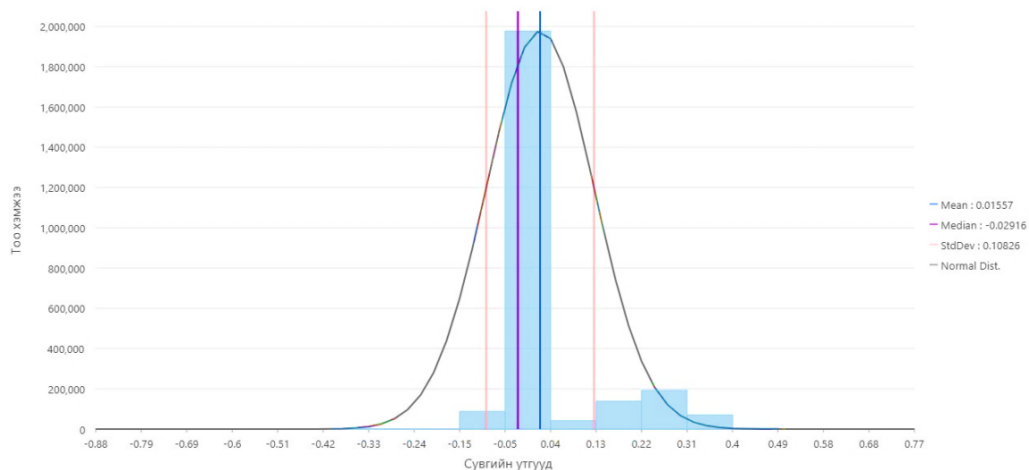
Шатсан талбайг тодорхойлохын тулд түймрийн өмнөх (IV-V сарын) болон дараах үеийн хугацааны хоёр 'NBR' сувагтай байх ёстой байдаг. Хамгийн сүүлд шатсан талбайг тодорхойлохын тулд түймрийн дараах 'NBR'-ийг түймрийн өмнөх 'NBR'-аас харьцааны тооцоогоор 'dNBR'-ийг тооцоолж болно. Гэсэн хэдий ч 'dNBR' нь өөрчлөлтийн үнэмлэхүй хэмжүүр тул энэ нь түймрийн өмнөх ургамлын бүрхэвч багатай газруудад бэрхшээлтэй асуудал үүсгэж болзошгүй. Иймэрхүү бэрхшээлээс зайлсхийхийн тулд харьцангуй шаталтын харьцааг 'RBR' ашигладаг. Үүнийг дараах томъёо (3)-оор тооцно.

$$RBR = \frac{(dNBR)}{(NBR_{pre-fire} + 1.001)} \quad (III)$$

Тэгшитгэлийн алдаатай тооцооллоос сэргийлэхийн тулд түймэр гарахаас өмнөх 'NBR'-д тохируулга хийх замаар 'RBR'-ийг тооцно (Parks *et al.*, 2014). 'RBR'-ийг тооцоолсны дараа 'BandMaths' хэрэглүүрийг ашиглан зөвхөн тогтоосон босго хэмжээнээс дээш 'RBR' утгыг агуулсан пикселүүдийн утгаар шинэ өнгөний шатлал үүсгэн саяхан шатсан талбайг тодорхойлох боломжтой. Газарзүйн мэдээллийн систем (ГМС)-ийн программ хангамжийг ашиглан 'RBR' сувгийн графикийг байгуулж, шаталтын талбайн үнэлгээнд ашигладаг хэмжүүр болох 'RBR' утгын өөрчлөлтөөр шатсан талбайг тооцоолж болно. Энд 'Python' программыг ашиглан 'RBR' утгуудын зураглалыг (Зураг 2) тохирох өнгөт шатлалт зураг болгон 'RBR' утгуудын хязгаарт суурилсан хэмжээсээр харуулах боломжтой юм. Гистограмм (Зураг 3) нь 'RBR' утгуудын дийлэнх байгаа мужийг үнэлэх хурдан арга юм. Манай өгөгдлийн багцын хувьд 'RBR' утгууд нь ихэвчлэн сөрөг утгын мужид хэлбэлзэж байгаа тул өөрчлөлтийг илрүүлэх зураглалыг үүсгэхийн тулд -0.88-аас 0.77 хүртэлх мужид илэрхийлэгдсэн.



Зураг 2. Судалгааны талбайд түймэрт өртсөн талбайн өөрчлөлт



Зураг 3. ‘RBR’ сувгийн утгын гистограм тархалт

Зураг 2-д үзүүлснээр эерэг утгын шаталсан мужийн илэрхийлэмж нь шатсан талбайг дүрслэн харуулсан. Тухайлбал шар өнгөнөөс улаан өнгө хүртэлх шатлал шаталтын зэрэглэлийн түвшнийг харуулж байна.

Шатсан талбайн зэрэглэлийн ангилал

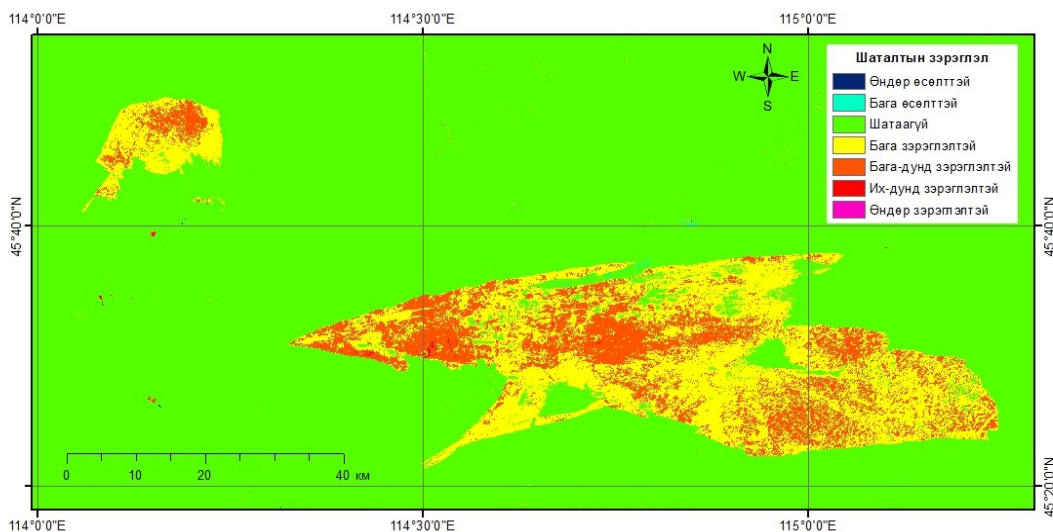
Түймрийн өмнөх, дараах үеийн ‘RBR’ утгын өөрчлөлтийн хэмжээгээр шатсан талбайг ангилах явдал юм. Шаталтын зэрэглэлийг ангилах нь яаралтай тусламжийн арга хэмжээнд нэн хэрэгцээтэй, түймрийн дараах нөхөн сэргэлтийн хөгжлийг үнэлэх чухал үнэлэмж болж чадна. АНУ-ын Геологийн алба (United States Geological Survey-USGS)-аас шаталтын зэрэглэлийг тайлбарлах дараах ангиллыг санал болгосон (Хүснэгт 3) байдаг.

Хүснэгт 3. Шаталтын зэрэглэлийн ангиллын шалгуур

Зэрэглэлийн түвшин	‘dNBR’ хэмжээт зай	‘dNBR’ хэмжээт бүс зай
Сайжирсан дахин өндөр өсөлт (Түймрийн дараа)	-500-аас -251 хүртэл	-0.500-аас -0.251 хүртэл
Сайжирсан дахин бага өсөлт (Түймрийн дараа)	-250-аас -101 хүртэл	-0.250-аас -0.101 хүртэл
Шатаагүй	-100-аас +99 хүртэл	-0.100-аас +0.99 хүртэл
Бага зэрэглэлтэй	+100-аас +269 хүртэл	+0.100-аас +0.269 хүртэл
Бага-дунд зэрэглэлтэй	+270-аас +439 хүртэл	+0.270-аас +0.439 хүртэл
Их-дунд зэрэглэлтэй	+440-аас +659 хүртэл	+0.440-аас +0.659 хүртэл
Өндөр зэрэглэлтэй	+660-аас +1300 хүртэл	+0.660-аас +1.300 хүртэл

Эх сурвалж: Athanasakis et al., 2017

Судалгааны өгөгдөлд хамгийн бага утга нь -1.5 бөгөөд энэ нь ой, хээрийн талбай биш харин суурин газар, тариалангийн талбай гэх мэт газар ашиглалтын бусад төрлүүдийн пикселийг илэрхийлдэг. Өгөгдлийн багц дахь ихэнх пикселүүд нь 0-тэй ойролцоо утгатай (дундаж утга нь -0.05) бөгөөд энэ нь шатаагүй хэсгүүдтэй тохирч байна. Түймэрт өртсөн хэсгүүдийг харуулсан шаталтын ул мөр тодорхой харагдаж байгаа (Зураг 4) тул 'RBR'-ийн 0.1-ээс дээш утгатай пикселээр харуулав. Түймэрт өртсөн бүс нутагт нэлээд олон тооны пикселийг бага зэргийн шаталтын бүсэд ангилсан. Энэ нь хоёр зургийн хоорондох хугацааны зөрүү байж болох юм. Жилийн энэ хугацаанд харьцангуй хуурай, ургамлууд хатаж доройтсон байдаг тул 'RBR'-ийн ач холбогдол бага зэргийн шаталттай хэмжээгээр өөрчлөгдөх боломжтой.



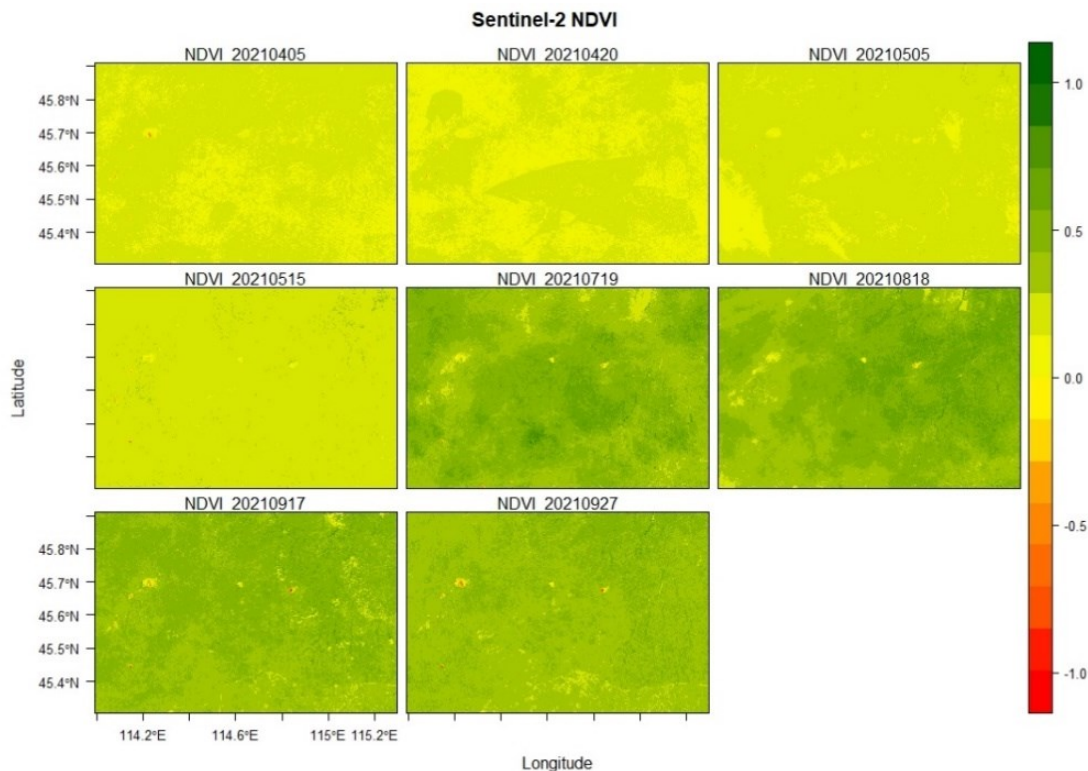
Зураг 4. Шаталтын зэрэглэлийн ангилал

2021 оны IV сарын 5-наас IV сарын 20-ны хоорондох 'Sentinel-2' хиймэл дагуулын зурагт суурилсан 'RBR'-ийн тооцооллоор нийт шатсан талбай 1164.27 км² байгаагаас 65 хувь буюу 757.34 км² талбай сул шаталтын зэрэглэлтэй, 34.7 хувь буюу 404.57 км² талбай бага-дунд шаталтын зэрэглэлтэй байв. Харин үлдсэн 0.3 хувь буюу 2.36 км² талбай өндөр-дунд шаталтын зэрэглэлд хамаарагдаж байв.

Түймэрт өртсөн талбай нөхөн сэргэлтийн явц

Түймэрт өртсөн газрын ургамлын тархцын төлөв байдлыг 'NDVI' коэффициент ашиглан утгыг (томъёо-4) тооцоолж (Зураг 8) харуулав.

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad (IV)$$



Зураг 5. Ургамлын индексийн өөрчлөлтийн тооцоолол

Хэлэлцүүлэг

Ургамлын индексийн өөрчлөлтөөс шатсан талбайн нөхөн сэргээгдэж буй үйл явц хурдацтай явагдаж байгааг (Зураг 5) харж болно. Эндээс байгаль өөрөө өөрийгөө буцаан сэргээх чадвартай болохыг харуулж байна. Энэ зүй тогтол нь олон жилийн хугацаанд хуримтлагдсан борог өвсний давхарга нь түймрээр цэвэрлэгдэж дараагийн шинэ ургамал ургах орчинг бий болгох эргэлтийг үүсгэдэг байна.



Зураг 6. Нөхөн сэргэж буй ургамлын ургацын ерөнхий төлвийн зураг
Гэрэл зургийг В.Батцэнгэл, 2022

Судалгааны талбайн түймэрт өртөхөөс өмнөх жилийн болон түймэрт шатсаны дараах жилийн ургамал бүрхчийн тархалтыг (Зураг 6) харьцуулан ялгаж харуулав. Эндээс хэд хэдэн жилийн хугацаанд хуримтлагдаж байсан өнжмөл борог өвс түймрийн дараах жил нь хэрхэн цэвэрлэгдэж байгааг харах боломжтой. Цаг хугацааны явцад түймэрт өртөөгүй талбайд борог өвс буцаад хуримтлагдах зүй тогтолтой бөгөөд дараагийн түймэр дахин гарахад түймрийн хамрах талбай, цар хүрээг нэмэгдүүлэх боломжтой. Эндээс түймрийн байгалийн гамшигт үзэгдэл нь хугацааны

давтамжтай явагддаг болохыг харуулж буй нэгэн зүй тогтол юм. Түймэр жилд эсвэл хэд хэдэн жилийн зайтай тухайн бүс нутагт болох нь байгалийн тодорхой эргэлтийн схемийг үүсгэдэг байж болох юм.

Дүгнэлт

Судалгааны талбайд болсон хээрийн түймрүүд нь байгалийн экосистемийг сүйрэлд хүргэж болзошгүй юм. Гэхдээ энэ нь зарим талаараа байгаль өөрөө өөрийгөө цэвэрлэж буй хэлбэр гэж дүгнэн харж болох юм. Зайнаас тандан судлалын аргазүйг ой, хээрийн түймрийн орон зайн шинжилгээнд түлхүү ашиглах хандлагатай байгаа ба сүүлийн жилүүдэд зайнаас тандан судлалын орон зайн дунд, өндөр нарийвчлалтай оптик хиймэл дагуулын мэдээллийн хүртээмж нэмэгдэж байна. Зайнаас тандан судлалын аргыг ашиглан түймрийн дараагийн нарийвчилсан үнэлгээг зардал багатайгаар хийх боломжийг судлаачид, мөн түймрийн эрсдлийг тооцоолох, үнэлэх, урьдчилан сэргийлэх чиглэлтэй ажилладаг байгууллагуудын ажилтнуудад олгож байгаа юм. Энэхүү судалгаагаар ‘NBR’ индекс нь түймэрт өртсөн газар нутгийг тодорхойлоход ‘Sentinel-2’ хиймэл дагуулын өгөгдлүүдийг ашиглан шаталтын талбайн үнэлгээ хийхэд хамгийн чухал индексийн нэг болохыг харуулсан болно. Үүнээс үндэслэн зайнаас тандан судлал, ГМС-ийн технологи нь байгалийн ой, хээрийн түймрийн нөлөөллийг тодорхойлоход өндөр ач холбогдолтой болох нь харагдаж байна. Цаашлаад зөвхөн Монгол улсын хэмжээнд төдийгүй дэлхий даяар гарч буй тодорхой газар нутгийг хамарсан их, бага хэмжээний ой, хээрийн түймрүүдийг үр дүнтэй илрүүлэх, хянах, түүнээс урьдчилан сэргийлэх менежментийн арга хэмжээг хэрэгжүүлэх, боловсруулахад уг судалгааны аргазүй чухал ач холбогдолтой гэж дүгнэж байна.

Талархал ба санхүүжилт

Уг судалгааны ажлыг БНХАУ-ын Өвөр Монголын Багшийн Их Сургуулийн Газарзүйн дээд сургууль, Зүүн Хойдын Багшийн Их Сургууль болон Монгол Улсын Их Сургуулийн Газарзүйн тэнхимийн профессорын багууд хоёр орны Засгийн газрын хамтын ажиллагааны хүрээнд хэрэгжүүлсэн судалгааны төсөл бөгөөд БНХАУ-ын Үндэсний Байгалийн Шинжлэх Ухааны Сан, Монгол улсын Шинжлэх Ухааны Технологийн сангийн санхүүжилтээр хэрэгжүүлж дэмжсэн явдалд туйлын баяртай байна. Мөн түүнчлэн 2020-2022 онд Профессор В.Батцэнгэл нарт МУИС-д гадаадтай хамтарсан P2020-3797 тоот “Уур амьсгалын өөрчлөлтийн чиг хандлагад чиг хандлагад уялдсан Монгол тэгш өндөрлөгийн ой хээрийн түймрийн гамшгийн эрсдэлийг урьдчилан сэрэмжлүүлэх платформ байгуулах” төсөл болгон төслийн зардал болон Зайнаас тандан судлал, Газарзүйн мэдээллийн системийн судалгааны лаборатори (GEO-iLAB)-ийн төсвөөс санхүүгийн туслалцаа үзүүлсэн.

Энэхүү судалгаа нь 2022 оноос хэрэгжүүлэх олон улсын нэр хүндтэй байгууллага болох Ази-Номхон Далайн Сансрын Хамтын Ажиллагааны Байгууллагаас санхүүжүүлэн хэрэгжүүлэх “Wildfire monitoring of natural disaster and Its risk assessment using remote sensing methods in Mongolia” судалгааны төслийн суурь судалгаа болж байгаагаараа давуу ажил юм.

Түүнчлэн эдгээр хамтран ажилладаг байгууллагууд болон бусад мэргэжлийн байгууллага, хамт олондоо талархал илэрхийлье.

Номзүй

- Arnett, J. T. T. R., Coops, N. C., Daniels, L. D., & Falls, R. W. (2015). Detecting forest damage after a low-severity fire using remote sensing at multiple scales. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 35, 239-246. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.09.013>
- Athanasakis, G., Psomiadis, E., & Chatziantoniou, A. (2017). *High-resolution Earth observation data and spatial analysis for burn severity evaluation and post-fire effects assessment in the Island of Chios, Greece*. <https://doi.org/10.1117/12.2278271>
- Bhme, C., Bouwer, P., & Prinsloo, M. J. (2015). Real-Time Stream Processing for Active Fire Monitoring on Landsat 8 Direct Reception Data. In G. Schreier, P. E. Skrovseth, & H. Staudenrausch (Eds.), *36th International Symposium on Remote Sensing of Environment* (Vol. 47, pp. 765-770). <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-765-2015>
- Boucher, J., Beaudoin, A., Hebert, C., Guindon, L., & Bauce, E. (2017). Assessing the potential of the differenced Normalized Burn Ratio (dNBR) for estimating burn severity in eastern Canadian

- boreal forests [Article]. *International Journal of Wildland Fire*, 26(1), 32-45. <https://doi.org/10.1071/wf15122>
- Cai, L. Y., & Wang, M. (2020). Is the RdNBR a better estimator of wildfire burn severity than the dNBR? A discussion and case study in southeast China [Article; Early Access]. *Geocarto International*, 15. <https://doi.org/10.1080/10106049.2020.1737973>
- Cardil, A., Mola-Yudego, B., Blazquez-Casado, A., & Gonzalez-Olabarria, J. R. (2019). Fire and burn severity assessment: Calibration of Relative Differenced Normalized Burn Ratio (RdNBR) with field data [Article]. *Journal of Environmental Management*, 235, 342-349. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.01.077>
- Carpenter, A. (2018). *The initial and extended study of wildfire burn severity using Landsat 5 TM data and the delta normalised burn ratio (dNBR) for the 2009 Station Fire, California*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33776.10243>
- European Space Agency (ESA). (2015). *Sentinel-2 User Handbook*.
- Hessl, A. E., Ariya, U., Brown, P., Byambasuren, O., Green, T., Jacoby, G., Sutherland, E. K., Nachin, B., Maxwell, R. S., Pederson, N., De Grandpré, L., Saladyga, T., & Tardif, J. C. (2012). Reconstructing fire history in central Mongolia from tree-rings. *International Journal of Wildland Fire*, 21(1), 86-92. <https://doi.org/https://doi.org/10.1071/WF10108>
- Kopp, B. J., Lange, J., & Menzel, L. (2017). Effects of wildfire on runoff generating processes in northern Mongolia. *Regional Environmental Change*, 17(7), 1951-1963. <https://doi.org/10.1007/s10113-016-0962-y>
- Minas, J. P., Hearne, J. W., & Handmer, J. W. (2012). A review of operations research methods applicable to wildfire management. *International Journal of Wildland Fire*, 21(3), 189-196. <https://doi.org/10.1071/wf10129>
- Munkhjargal, M., Yadamsuren, G., Yamkhin, J., & Menzel, L. (2020). The Combination of Wildfire and Changing Climate Triggers Permafrost Degradation in the Khentii Mountains, Northern Mongolia. *Atmosphere*, 11(2), 155. <https://www.mdpi.com/2073-4433/11/2/155>
- Nasanbat, E., Lkhamjav, O., Bulkhbai, A., Tsevee-Oirov, C., & Mishigdorj, O. (2020, 9-11 November 2020). A Fire Risk Map for Protected Areas of Mongolia: Dornod Mongol SPA, Numrug SPA, Zed-Khantai-Buteeliin Nuruu SPA and Onon-Balj NP. ACRS-2020, Deqing, China.
- Parks, S. A., Dillon, G. K., & Miller, C. (2014). A New Metric for Quantifying Burn Severity: The Relativized Burn Ratio. *Remote Sensing*, 6(3), 1827-1844. <https://www.mdpi.com/2072-4292/6/3/1827>
- Rihan, W., Zhang, H., Zhao, J., Shan, Y., Guo, X., Ying, H., Deng, G., & Li, H. (2021). Promote the advance of the start of the growing season from combined effects of climate change and wildfire. *Ecological Indicators*, 125, 107483. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107483>
- Roy, P. S. (2003). Forest Fire and Degradation Assessment Using Satellite Remote Sensing and Geographic Information System. In M. V. K. Sivakumar, P. S. Roy, K. Harmsen, & S. K. Saha (Eds.), *Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology* (pp. 361-400).
- San-Miguel, I., Andison, D. W., Coops, N. C., & Rickbeil, G. J. M. (2016). Predicting post-fire canopy mortality in the boreal forest from dNBR derived from time series of Landsat data. *International Journal of Wildland Fire*, 25(7), 762-774. <https://doi.org/10.1071/wf15226>
- Батцэнгэл, В. (2022). Уур амьсгалын өөрчлөлтийн чиг хандлагад чиг хандлагад уялдсан Монгол тэгш өндөрлөгийн ой хээрийн түймрийн гамигийн эрсдэлийг урьдчилан сэрэмжлүүлэх платформ байгуулах төсөл.