

Улаанбаатар Хотын Дулааны Арал (UHI)-ын Оронзайн Тархалтын Зураглалыг Боловсруулах Нь

Э.Энхтуул^{1*,3}, Г.Уранбайгал¹, О.Энхцолмон², С.Туяа^{2,3}, Л.Очирхуяг^{3,4}

¹ Хот төлөвлөлт судалгааны институт "ОНӨААТҮГ"-ийн Ерөнхий төлөвлөгөөний хяналт
мониторингийн хэлтэс, enkhtuule976@gmail.com

² ШУТИС-Хэрэглээний шинжлэх ухааны сургууль

³ Монголын Гео-мэдээллийн Холбоо

⁴ Газарзүй, Геоэкологийн Хүрээлэн

ABSTRACT

As the temperature of the urban heat island (UHI) rises, the environment and human habitation may become more unfavorable. The distribution of land cover changes in Ulaanbaatar in 2010, 2020 was mapped using satellite data. Looking at the land use and land cover temperature indicators in Ulaanbaatar, the study area, the surface temperature in 2020 is relatively high compared to 2010. For example, urban areas and surface temperatures in Ulaanbaatar are slightly higher than in the suburbs. These results show that the impact of UHI characteristics in Ulaanbaatar is increasing in a variety of visual and spatial ways.

ТҮЛХҮҮР ҮГ

Хотын дулааны арал (UHI), Газрын бүрхэвч, Ургамлын нормчилогдсон индекс (NDVI), Газрын гадаргын температур (LST), Оронзайн дүн шинжилгээ

ОРШИЛ

Хотын дулааны арал (UHI) нь хүний үйл ажиллагаатай шууд хамааралтай бөгөөд тухайн амьдрах орчин, хүрээлэн буй орчинд цаг уур, уур амьсгалын өөрчлөлтийг илэрхийлэгч чухал үзүүлэлт юм. Суурин газруудын газрын бүрхэвчийн өөрчлөлт, хүн амын тоо нэмэгдснээр хотжилт тэлж, улмаар UHI-ийн үндсэн үзүүлэлт болох агаарын температур нэмэгддэг. Температур ихсэх нь ургамлын ургалтын хугацаа, агаарын чанар, усны чанар, экосистемийн бүрэлдэхүүн хэсгүүдэд мөн өөрчлөлтүүдийг үзүүлдэг байна. Эдгээр нөлөөллүүдийг багасгахын тулд нүцгэн хөрсийг ургамалжуулах, ойжуулах зэрэг байгаль хамгааллын арга хэмжээнүүдийг хэрэгжүүлснээр салхины эрчим нэмэгдэж температур буурахад нөлөө үзүүлдэг.

Улаанбаатар хотын хүн амын өсөлтийг даган үүсэж буй хотын газар ашиглалт, газрын бүрхэвчийн өөрчлөлтийн асуудал нь орчны болон гадаргуугийн температуртай шууд холбоотой байна. Улаанбаатар хотын дулааны арал (UHI)-ын төлөв байдлын зураглалыг өндөр нарийвчлал бүхий Landsat хиймэл дагуулын мэдээн дээр үндэслэн 2010, 2020 оны өвөл зуны газрын бүрхэвчийн өөрчлөгдөх зүй тогтлын тархалтыг 10 жилийн харьцуулалт, ногоон байгууламж тарих боломж бүхий бүсүүдийг тогтоох нь энэхүү судалгааны үндсэн зорилго юм. Түүнчлэн энэхүү тооцооллын үр дүнг ургамлын нормчилогдсон индекс (NDVI), газрын гадаргын температур (LST) зэрэг орчны үзүүлэлтүүдтэй харьцуулан дээрх хугацаанууд дахь газрын бүрхэвчийн өөрчлөгдөх зүй тогтлын тархалтыг гаргав.

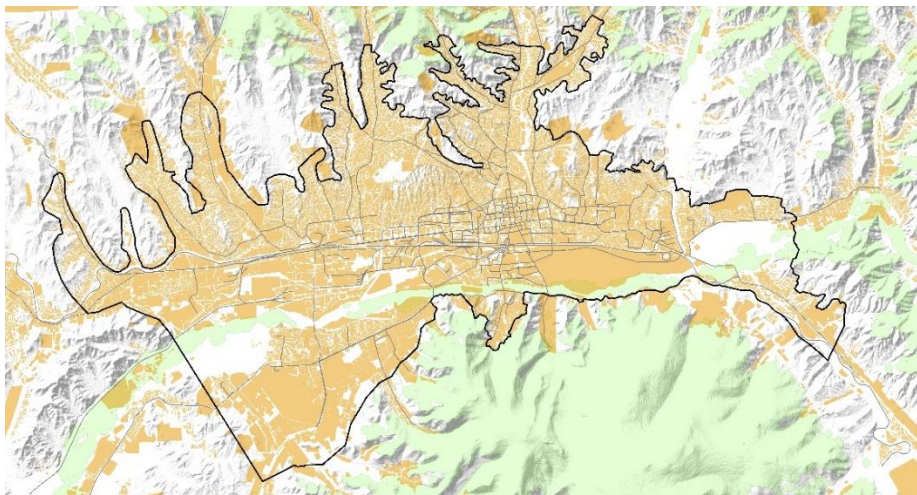
Судлагдсан байдал

1. Монгол улсад анх 2013 онд Сөүлийн үндэсний их сургуулийн судалгааны баг хийсэн байдаг ба энэхүү багийн гишүүд Г.Гантуяа, Жи Юун Хан, Юун И Рюу, Жон Жин Бак нар Улаанбаатар хотын Улаанбаатар, Буянт-Ухаа цаг уурын станцуудын 1980-2010 оны мэдээг ашиглан хотын “дулааны арал”-ын эрчимшлийг цаг, улирал, жилийн явцыг гарган өвлийн улиралд хамгийн хүчтэй эрчимшилтэй, зуны улиралд хоорондын зөрүү бага байдаг гэсэн дүгнэлтийг өгсөн (Гантуяа, 2013).
2. Г.Батжаргал “Агаарын температурт хотжилтын үзүүлэх нөлөө” сэдвээр судалгаа хийж, хотыг төлөөлүүлж Улаанбаатар цаг уурын станц, хотын гаднах цэгийг төлөөлүүлэн Төв аймгийн Алтанбулаг суман дахь цаг уурын станцыг тус тус сонгон авч бүсийн тоон загвар (WRF) ашиглан дулааны арлын эрчимшлийг орон зайд тооцоолсон байдаг (Батжаргал, 2014).
3. Б.Ганболд (2014) хийсэн ба хотжилт агаарын температураас гадна хур тунадасны тархалт, салхины хурд, чиглэлд нөлөөлж буйг мөн WRF загвар ашиглан гаргасан байдаг.
4. Судлаач П.Мөнхцэцэг Улаанбаатар хотын “Дулааны арал”-ын судалгаа (2018) онд хийсэн .
5. ШУА-ийн Газарзүй-Геоэкологийн хүрээлэнгийн Зайнаас тандан судлал, орон зайн загварчлалын салбарын Б.Бямбаболор, Д.Амарсайхан нарын судлаачид “Улаанбаатар хотын газрын бүрхэвчийн өөрчлөлт нь хотын дулааны аралд нөлөөлөх нь”

гэсэн судалгаануудыг гүйцэтгэсэн байна.

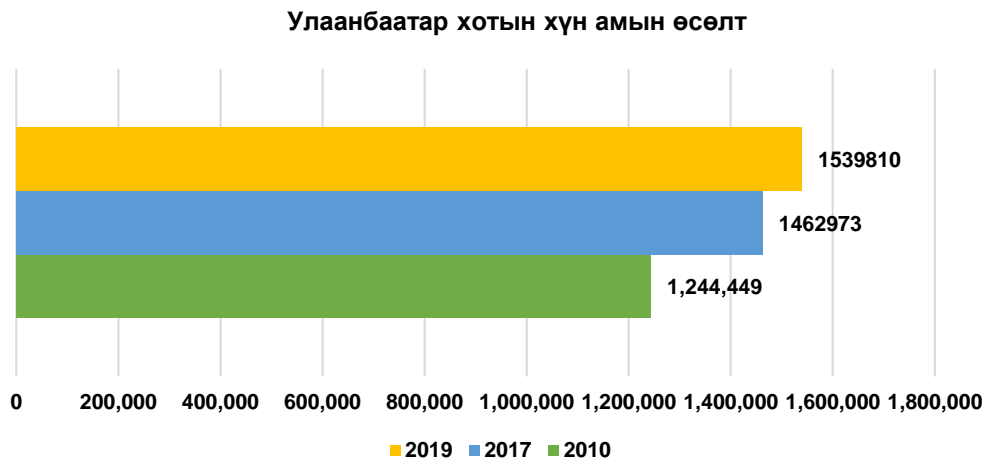
Судалгааны талбар

Судалгааны талбар Улаанбаатар хот нь Монгол орны төвийн бүсийн байрлалтай хүн амын нягтшил өндөртэй (График 1), томоохон хот юм. Улаанбаатар хотын нийт талбайн 35206 га бүхий газар нутаг нь хотжсон гэж үздэг (Зураг 1).



Зураг 1. Улаанбаатар хотын хотжсон 35206га газар нутгийн хүрээнд

График 1. Улаанбаатар хотын 2010-2019 оны хүн амын өсөлт



Арга аргачлал

Энэхүү судалгаанд ашигласан хиймэл дагуулын мэдээллийг Америкийн Нэгдсэн Улсын геологийн алба (USGS), вэбсайт: <https://earthexplorer.usgs.gov/> тэдгээрийн спектр ба орон зайн шинж чанарууд худалдан авах хугацааг доорхи Хүснэгт 1-д харуулав.

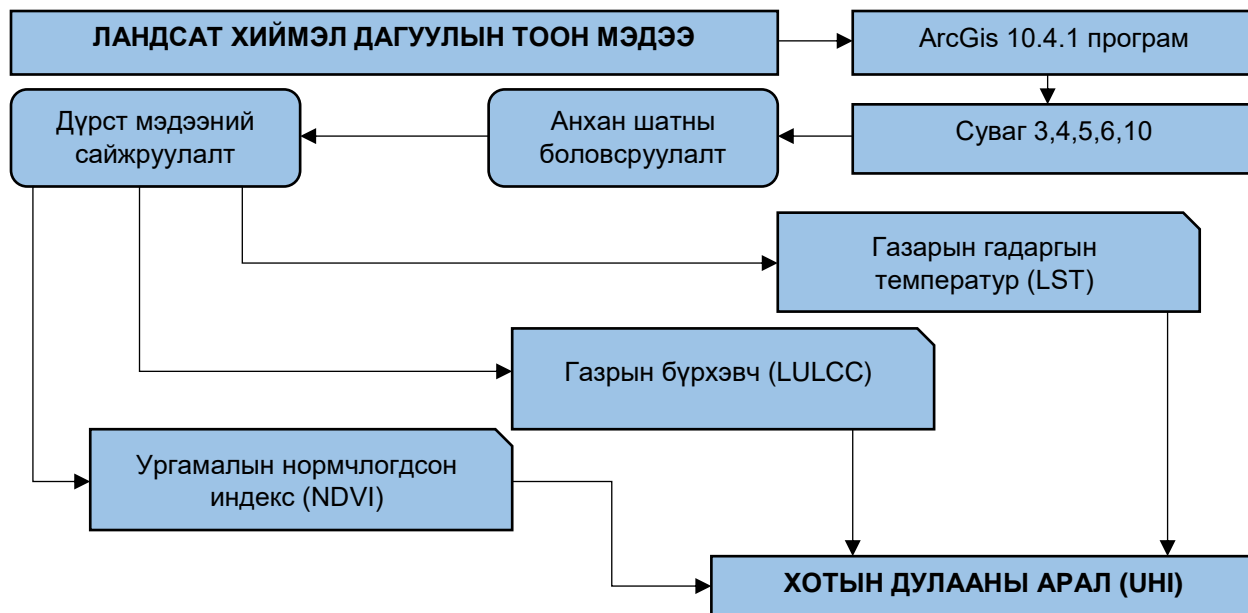
Хүснэгт 1. Сонгосон Landsat мэдээний дэлгэрэнгүй мэдээлэл

Хиймэл дагуулын мэдээ	Row/ Path	Өдөр	Source	Band /NDVI/	Band /LST/
Landsat-5 TM	131/27	2010-01-20, 2010-04-26,	USGS	4 & 3	6
Landsat-8 OLI	131/27	2020-04-26, 2020-04-21,	USGS	5 & 4	10

Хиймэл дагуулын тоон өгөгдөлд (агаар-сансрын янз бүрийн түвшингээс спектрийн өөр, өөр мужид авсан зургууд) хэд хэдэн шатны боловсруулалт хийсний дараа гар тайлал, автомат тайлал, мэдлэгт тулгуурласан тайлал хийж сэдэвчилсэн мэдээг гарган авч, сэдэвчилсэн мэдээг ашиглан газарзүйн мэдээллийн систем (ГМС)-ийн давхаргуудыг баяжуулах буюу шинэчилсэн болно. Бүх зургийг газарзүйн тусгагийн хувьд UTM проекц WGS84 датумыг ашиглав. Боловсруулалтыг гүйцэтгэхэд геометрийн (UTM проекц) болон радиометрийн заслагуудыг хийсэн бөгөөд Landsat ETM+ тоон өгөгдлийн пикселүүдийн тоон утгуудыг (DN) хэвийн хэмжээнд шилжилтийг доорхи тэгшитгэлийг ашиглан тодорхойлов.

Судалгаанд хэрэглэсэн арга аргачлалыг схем 1-д үе дараалалуудыг оруулж зураглав.

Схем 1. Судалгааны арга зүй



1. Газрын гадаргын температурыг (LST) сэргээх

а) DN-ээс цацраг туяа руу шилжих

$$L\lambda = M_L \times Q_{cal} \times A_L$$

L_λ - Агаар мандлын тусгалын хэвийн долгионы урт

M_L = Зурвасын тодорхой үржүүлгийн хүчин зүйл

Q_{cal} = Band 10,11

A_L = Band хамааралтай хүчин зүйл

2. Цацраг туяаг мэдрэгч-дээрх /At-Sensor/ температур болгон хувиргах

$$BT = \frac{K_2}{\ln[(K_1/L\lambda)+1]} - 273.15$$

K_1 ба K_2 = мета өгөгдлөөс тодорхой дулааны хувиргах тогтмол утгууд. {Үр дүнг Цельсийн температурт авахын тулд туяарах температурыг үнэмлэхүй тэгийг нэмж (ойролцоогоор -273.150C) нэмнэ}

3. Агаар мандлын дээд хэсэг /TOA/-ийн ойртон хөрвүүлэх

Хиймэл дагуулын OLI болон TIRS мэдрэгчийн өгөгдөлтэй хавсаргасан мета-датуугийн форматад өгсөн гэрэлтүүлэх чадварын коэффициент ашиглан TOA спектрийн туяанд хувиргаж болно:

$$L_\lambda = ML * Q_{cal} + AL$$

L_λ = TOA спектрийн цацралт (Ваттс / (m² * srad * μm))

ML = Мета өгөгдөлд тулгуурласан давтамжтай дахин хуваарилах коэффициент (RADIANCE_MULT_BAND_x, энд x нь хамтлагийн дугаар)

AL = Мета өгөгдөлд хамаарах нэмэлт орлуулах коэффициент (RADIANCE_ADD_BAND_x, энд x нь хамтлагийн дугаар)

Q_{cal} = Тооцсон ба тохируулсан стандарт бүтээгдэхүүний пикселийн утга

4. TOA-ийн тусгал руу хөрвүүлэх

Хиймэл дагуулын OLI мэдрэгчийн өгөгдлийг TOA гаригийн дүрслэлд хувиргаж, бүтээгдэхүүний мета өгөгдөлд (MTL файл) -д өгсөн тусгалыг багасгах коэффициентээр ашиглан хувиргаж болно. Дараах тэгшитгэлийг ашиглан DN утгыг TOA-ийн тусгал болгож OLI өгөгдөлд дараах байдлаар хэрэглэнэ:

$$\rho_{\lambda}' = M_p * Q_{cal} + A_p$$

ρ_{λ}' = TOA гаригийн тусгал, нарны өнцөгт засвар хийхгүйгээр. ρ_{λ}' нь нар өнцгийн залруулгыг агуулаагүй болохыг анхаарна уу.

M_p = Мета-дата-с үүссэн бүдүүвчийн тодорхойлогдох дахин хуваарилалтын коэффициент (REFLECTING = MULT_BAND_x, энд x нь хамтлагийн дугаар)

A_p = Мета-дата-с үүссэн нэмэлт няцаах коэффициент (REFLECTANCE_ADD_BAND_x, энд x нь хамтлагийн дугаар)

Q_{cal} = Тооцсон ба тохируулсан стандарт бүтээгдэхүүний пикселийн утга

5. Дүрс мэдээний сайжруулалт.

Агаар-сансрын панхроматик болон олон спектрийн мэдрэгчийн цуглуулсан тоон өгөгдлүүдийн сайжруулан, байгалийн биет, элементүүдийн ялгааг тодруулах олон арга байдаг. Шууд авсан зургууд нь ихэвчлэн сүүмгэрдүү байх ба тэдгээр дээр дүрслэгдсэн биетүүдийг ялгаж танихад хэцүү байдаг. Мөн зарим өөр хооронд нь ялгах ёстой ижил төстэй бус объектуудын радиометрийн утгууд ялгагдахгүй шахам үе элбэг тохиолдоно. Ийм үед, спектр тодролын аргыг ашиглана.

$$\rho_{\lambda} = ((Band_x) / (\sin(\theta)))$$

ρ_{λ} = Агаар мандлын тусгал

(x) = сувгийн дугаар

(θ) = Sun Elevation-Нарны өндрийн өнцөг эсвэл $\theta_{sz} = 90^{\circ} - \theta_{se}$

6. Ургамалжилтийн хувь /NDVI-Pv/

Ургамалжилтын хувь /Pv/ нь газар дээрх ургамлын (навч, иш, мөчир агуулсан) босоо проекцын талбайн нийт ургамлын талбайд харьцуулсан харьцаагаар тодорхойлогддог (Deardorff, 1978) бөгөөд энэхүү судалгаанд дараахь томъёог ашиглан тооцооллоо.

$$Pv = NDVI - MIN / MAX - MIN$$

7. Газрын гадаргын ялгарал

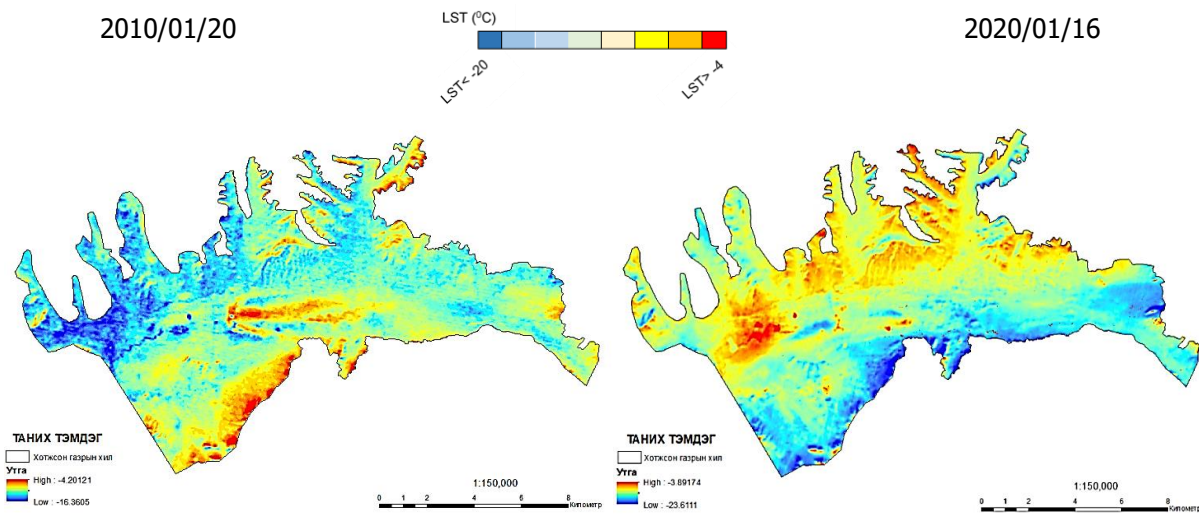
$$\epsilon_i = 1.009 + 0.0047 / \ln(Pv)$$

8. LST буюу ялгаралыг засч залруулсан газрын гадаргуугийн температур буюу хотын дулааны арал (UHI)

$$T_s = \frac{BT}{\{1 + [\lambda BT/p]Ln * \varepsilon_i\}}$$

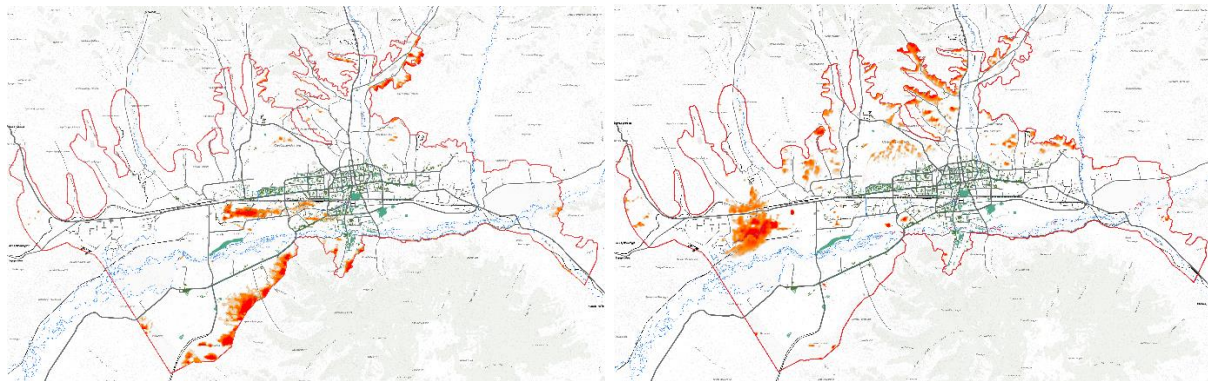
ҮР ДҮН БА ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Судалгааны талбараар 2010, 2020 онуудын Landsat хиймэл дагуулын ETM+, OLI, TIRS мэдрэгчүүдийн дүрс мэдээг татан авч, дүрс боловсруулалтын болон газарзүйн мэдээллийн системийн мэдээлэл боловсруулалтын програм хангамж ашиглан ургамалын индекс, газрын гадаргын температур тэдгээрийн хотын дулааны аралыг (UHI) тооцоолж доорх зураглалыг боловсруулав (Зураг 2).



Зураг 2. 2010, 2020 оны 1-р сарын UHI

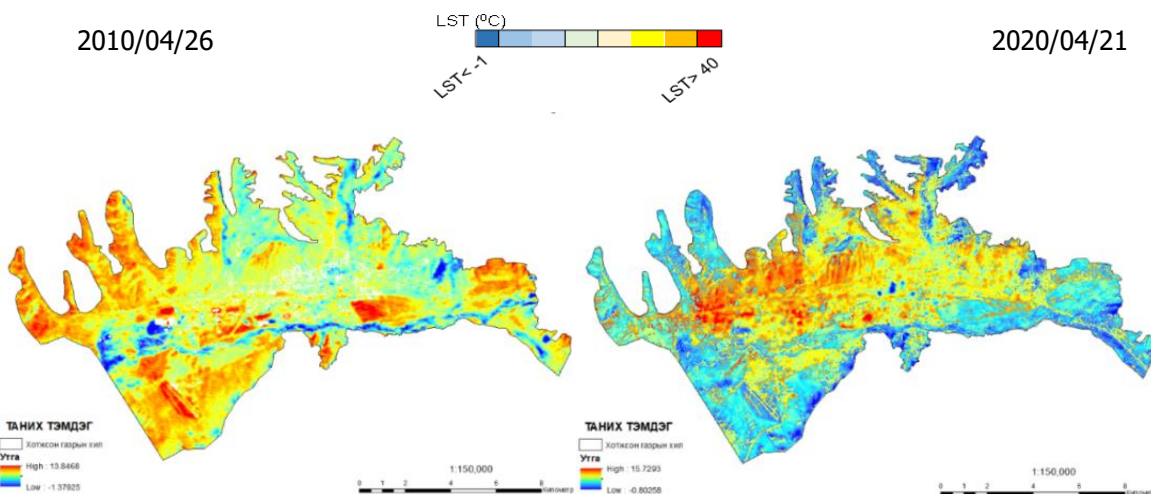
2020 оны байдлаар ногоон байгууламжийн мэдээн дээр 2010, 2020 оны хамгийн их температурыг ялган авч зураглалыг давхцуулав. Үүнд нэмэлтээр хөрсний элэгдэл эвдрэлийн зэрэглэлийн мэдээг давхцуулах шаардлагтай гэж үзэж байна.



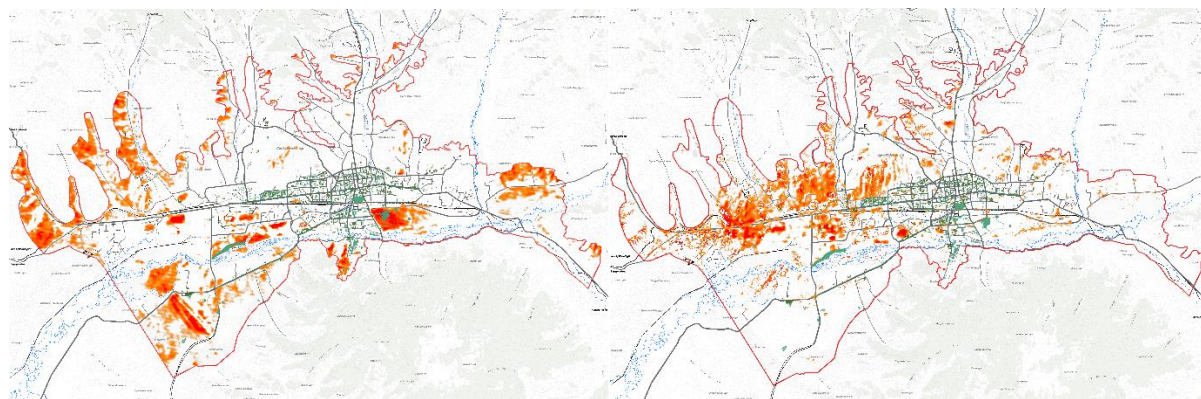
Зураг 3. 2010, 2020 оны өвлийн хамгийн их температур, 2020 оны ногоон байгууламжын давхцал

Судалгааны талбарын хүрээнд УНІ-ийг 2010, 2017, 2020 онуудын нэгдүгээр сарын хиймэл дагуулын мэдээн дээр боловсруулалт хийсэн. 2010 оны 1-р сард дулаан цахилгаан станц дээр илүү дулаан байх боловч хүн ам өсөхийн хэрээр гэр хороолол өрөгжиж түүнийг дагаад УНІ харьцангуй нэмэгдсэн үзүүлэлттэй байна.

Улаанбаатар хотын 35206 га талбайн хүрээнд (УНІ)-г 2010, 2020 онуудын 4 сарын хиймэл дагуулын мэдээн дээр боловсруулалт хийсэн. 2010 оны 1 сарын зураглалыг харахад нүцгэн хөрсөн дээр илүү дулаан байна. 2020 оны 4 сарын (УНІ)-г харахад ногоон байгууламж нэмэгдснээр нүцгэн хөрсөн дахь температур багасаж эсэргээрээ хотын төвөөр температур харьцангуй нэмэгдсэн үзүүлэлттэй байна. (Зураг 4.)



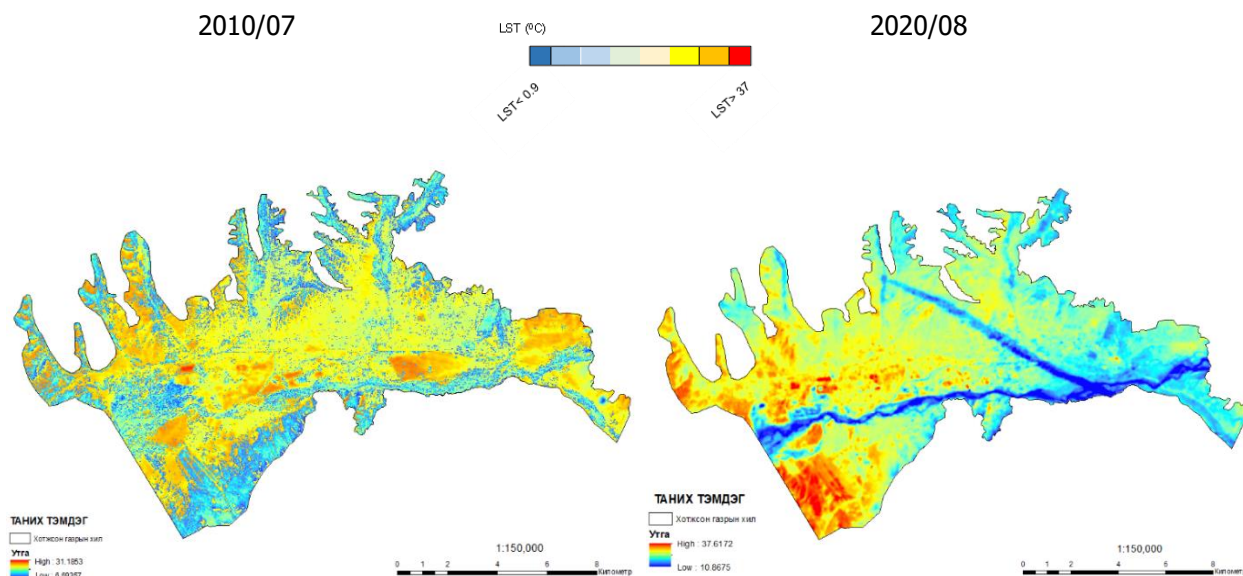
Зураг 4. 2010, 2020 оны 4-р сарын УНІ



Зураг 5. 2010, 2020 оны хаврын хамгийн их температур, 2020 оны ногоон байгууламжын давхцал

Улаанбаатар хотын 35206 га талбайн хүрээнд (УНІ)-г 2010, 2017, 2020 онуудын 7,8 сарын хиймэл дагуулын мэдээн дээр боловсруулалт хийсэн. Тус тус онуудад агаар мандлын заслага хийж газрын гадрага дээрх хотын дулааны арлыг тооцоолсон. Үүнд 2010, 2017, 2020 оны (УНІ) нь зуны улиралд нүцгэн, сийрэг

хөрсөнд илүү их температур хуримтлагдснаар хотын төв бус хотын захгаар илүү (УНІ) өндөр байна. 2020/08 сарын хиймэл дагуулын мэдээ нь онгоцны утаа тул бодолтод түүнийг 0-р авч тооцсон болно.



Зураг 4. 2010, 2020 оны -р сарын УНІ

Дүгнэлт

Судалгааны үр дүнгээс дараахь дүгнэлтүүдийг гаргаж байна. Үүнд:

- Улаанбаатар хотын 35206 га талбайд хотын дулааны арлын (УНІ) нөлөөлийн зураглалыг орон зайн тархалтын аргаар тооцоолоход өвөл болон зуны улиралын дулааны аралын нөлөө өөр өөр хүчин зүйлсийн хамааралтай байна.
 - Тухайн үеийн агаарын температур, агаарын даралт, салхины чиглэлээс хамаарна.
 - Дулаан ялгаруулж буй ДЦС, замын сүлжээ, барилга байгууламж, дээвэр, гэр хорооллын галлагаа гэх мэт хүчин зүйлсээс шалтгаалж байна.
 - Дулаан шингээх чадваргүй халзарсан хөрсний эвдрэлээс хамаарна. Энэ нь салхины нөлөө болон усны нөлөөгөөр элэгдсэн хөрснөөс шалтгаалана.
 - Хөрсний чийг, ургамжилт, ногоон байгууламжаас хамаарна.
- 2010, 2020 онуудын зуны улиралын УНІ-ийн хувьд сийрэгжсэн ургамал, хөрсний элэгдэлд өртсөн газар нутагт температур хамгийн ихдээ гарсан үзүүлэлттэй байна.
- 2010, 2020 онуудын өвлийн улиралын УНІ-ийн хувьд дулаан цахилгааны станц, гэр хорооллын галлагаатай байршилүүд, мөн галлагаа ашиглаж буй газар бүрт УНІ төлөв байдал өндөр гарч байна.

- Дээрх үр дүнгээс харахад Улаанбаатар хотын дулааны арлын шинж чанарын нөлөө нь нүдэнд үзэгдэхүйцээр нэмэгдэж буй хэдий ч орон зайн хувьд байршлаас хамаарч харилцан адилгүй байдлаар хувьсан өөрчлөгдөж байна.
- Цаашид хотын дулааны аралын судалгааг жил бүр хийж байгаль орчин, хүний эрүүл мэндэд нөлөөлөлх нөлөөлийг бууруулах арга хэмжээг авч хэрэгжүүлж байх.
- Улаанбаатар хотыг 2030 он хүртэл хөгжүүлэх хөгжлийн ерөнхий гэр хорооллын талбай багасаж, ногоон байгууламжийн талбай, барилгажсан талбай ихсэх хандлагатай байна. Ногоон байгууламжийн талбайг эрчимтэй нэмэгдүүлж, барилга байгууламжийн материалыг байгальд ээлтэй, шинэлэг техник технологиор хийснээр байгаль орчинд нөлөөлөлх хотын дулааны аралын нөлөөлөл буурах боломжтой юм.

Талархал

Энэхүү судалгааны ажлыг хийхэд удирдан чиглүүлж үнэтэй зөвлөгөө өгсөн Хот төлөвлөлт судалгааны институтын Ерөнхий төлөвлөгөөний хяналт мониторингийн хэлтсийн дарга Г.Уранбайгал, Шинжлэх ухаан технологийн их сургуулийн Хэрэглээний шинжлэх ухааны сургууль Физикийн тэнхимийн багш О.Энхцолмон, С.Туяа нарт талархсанаа илэрхийлье.

Ном зүй

1. Amarsaikhan. D, Bat-Erdene. Ts, 2013. Urban land use mapping and change study in Mongolia using RS and GIS techniques
2. Diane E.Pataki, 2013 . Urban Ecological Indicators, Accessed by January 2020, https://sites.nationalacademies.org/cs/groups/pgasite/documents/webpage/pg_a_169323.pdf
3. Kotb M.M., Ali R.R., El Semaary M.A. 2017. Use of Remote Sensing and GIS for Land Degradation Assessment of Qarun Lake Coastal Area, El-Fayoum, Egypt. In: Ouessar M., Gabriels D., Tsunekawa A., Evett S. (eds) Water and Land Security in Drylands. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-54021-4_22
4. Landsat 7 science data users handbook, 1998. <https://doi.org/10.3133/7000070>
5. Мөнхцэцэг П, Улаанбаатар хотын “Дулааны арал”-ын судалгаа, 2018. <https://www.num.edu.mn/Staff/E23A231D-474D-43BB-8389-943EFADE8AAE/Publications>
6. “Нийслэл Улаанбаатар Хотын Агаарын Бохирдлыг Бууруулах Мастер Төлөвлөгөөний Суурь Судалгаа” Боть I 2018. <https://agaarneg.mn/resource/1080>

7. Terfa BK, Chen N, Zhang X, Niyogi D. Spatial Configuration and Extent Explains the Urban Heat Mitigation Potential due to Green Spaces: Analysis over Addis Ababa, Ethiopia. *Remote Sensing*. 2020; 12(18):2876. <https://doi.org/10.3390/rs12182876>
8. Voogt. J. 2014. How Researchers Measure Urban Heat Islands. Accessed by January 2020 https://www.epa.gov/sites/default/files/2014/07/documents/epa_how_to_measure_a_uhi.pdf
9. Wang H, Zhang Y, Tsou JY, Li Y. Surface Urban Heat Island Analysis of Shanghai (China) Based on the Change of Land Use and Land Cover. *Sustainability*. 2017; 9(9):1538. <https://doi.org/10.3390/su9091538>
10. USGS Earth Explorer 2020. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
11. Yaro, A.S., Abdulrashid, L., John, J., & Sani, Y. 2017. Remote Sensing and GIS Based Assessment of Urban Heat Island Pattern in Kaduna Metropolis.