



Лаборатория самоорганизации геосистем
Институт мониторинга климатических и
экологических систем СО РАН

**ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ВЫСОКОГОРНЫЕ
ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ
(на примере Монгольского Алтая)**

**CLIMATE CHANGE IMPACTS ON HIGH-ALTITUDE GEOMORPHOLOGICAL
SYSTEMS (on the example of the Mongolian Altai)**

Бородавко П.С., Волкова Е.С., Мельник М.А., Литвинов А.С.
Pavel S. Borodavko, Elena S. Volkova, Mariya A. Mel`nik, Alexey S. Litvinov

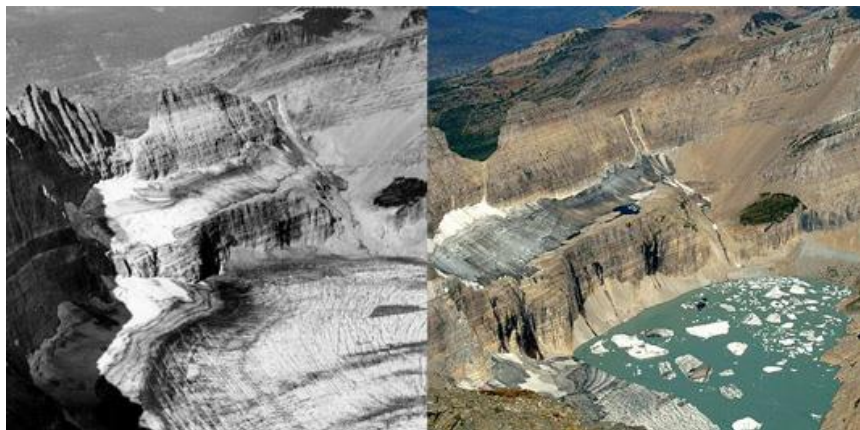
Сокращение площади оледенения в горных районах (<http://alp.org.ua/?p=17201>)



Килиманджаро в 1993 г. (слева) и 2003 г. (справа)



Ледник Кори Калис в Перу в 1978 г. (слева) и 2004 г. (справа)

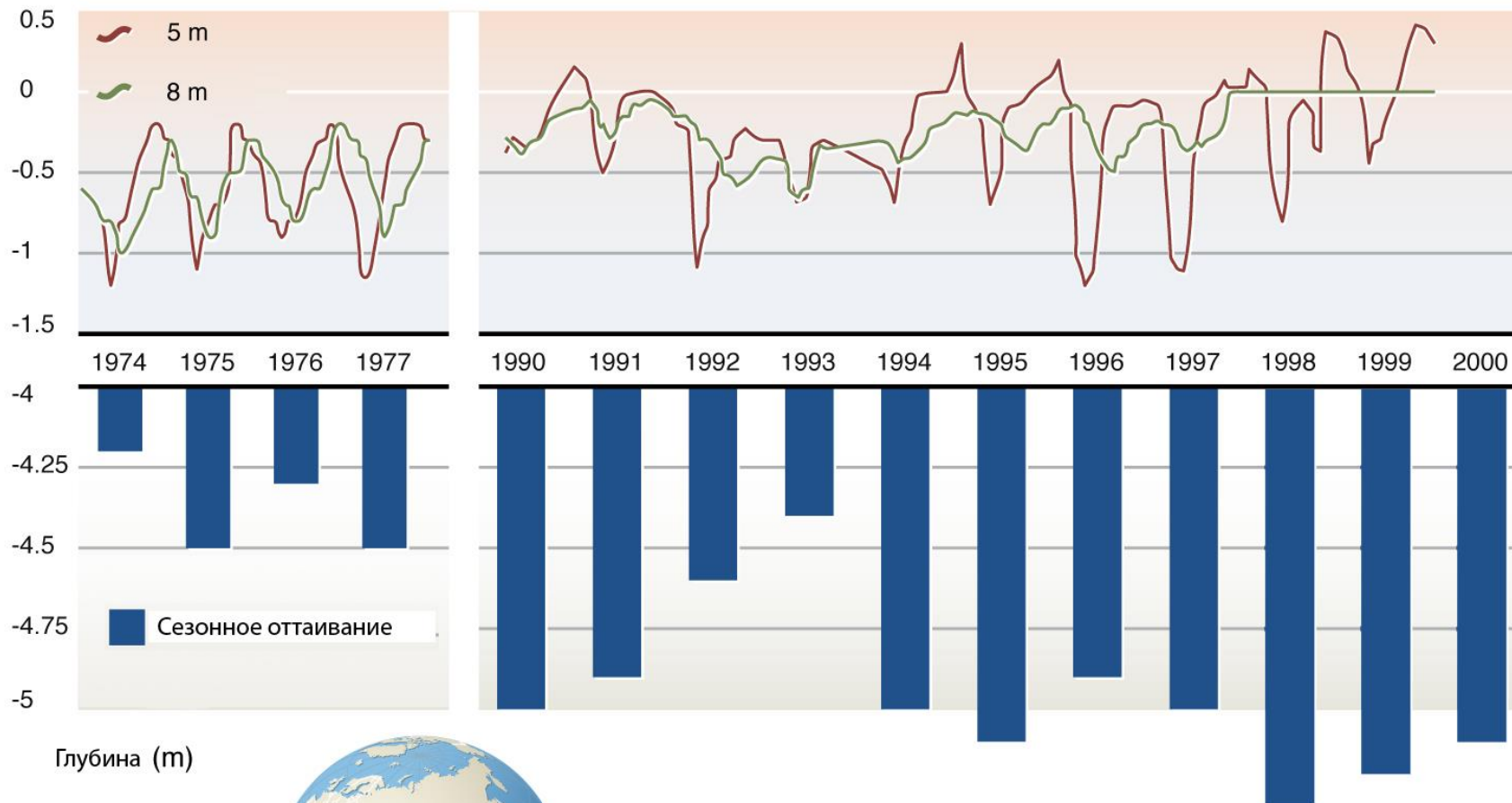


Национальный парк в штате Монтана, в 1938 г. (слева) и 2005 г. (справа)



Ледник Кенай Фьордс на Аляске летом 1917 г. (слева) и 2005 г. (справа)

Температура ($^{\circ}\text{C}$) на глубине:

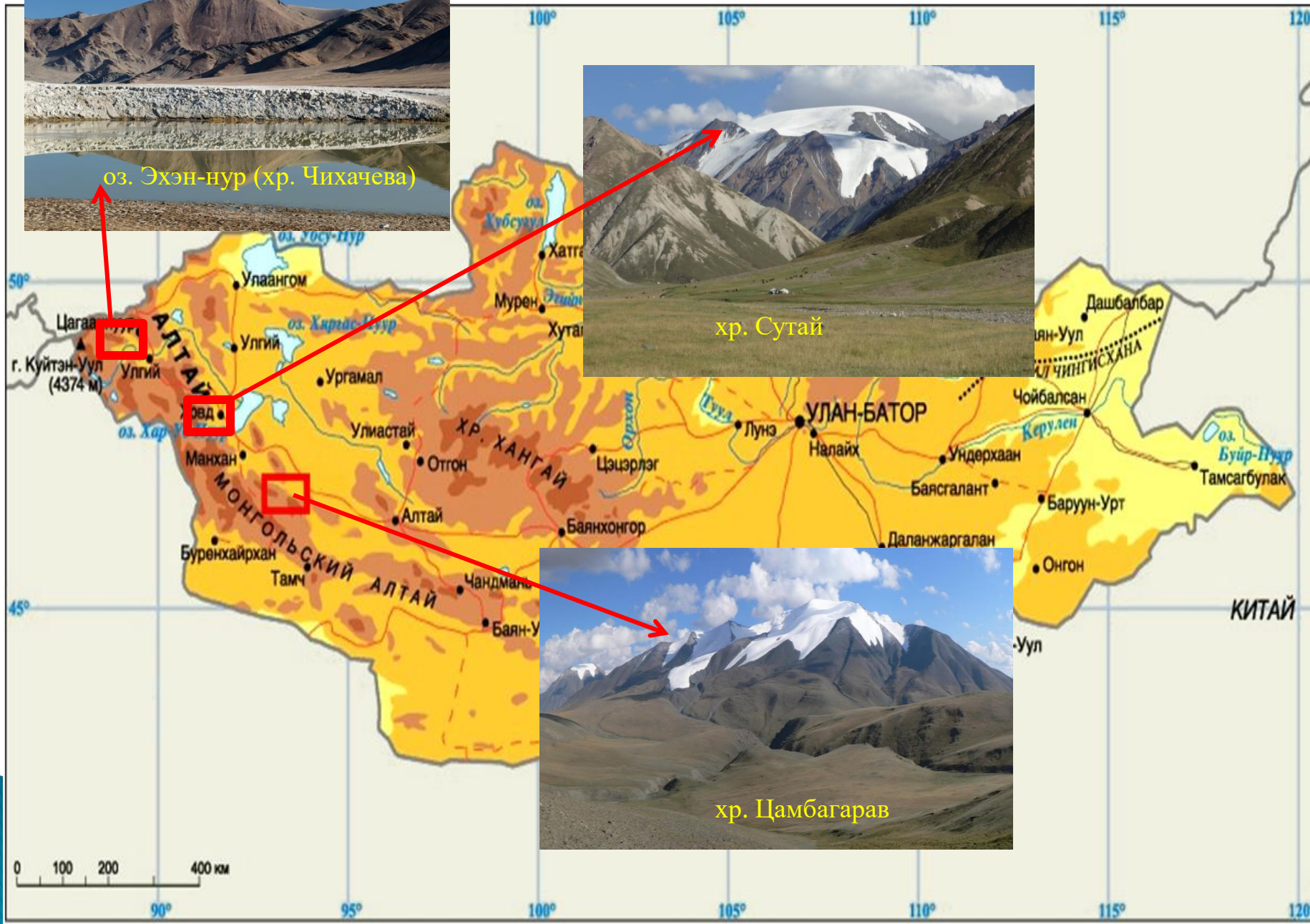


Глубина (m)

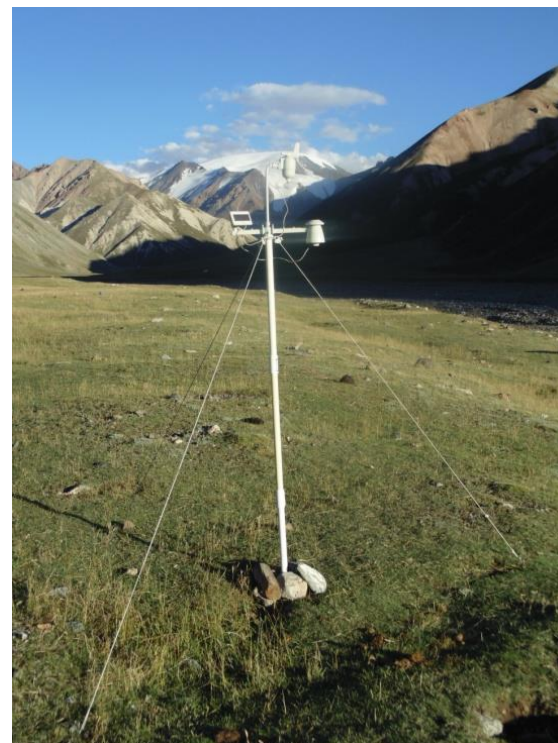


Изменение температуры криолитозоны
и мощности деятельного слоя в горах
Сибири, Тянь-Шаня, Северной Монголии

Районы экспедиционных исследований



В результате экспедиционных работ в 2016, 2017 годах в высокогорных районах хребта Сутай и Цамбагарав были обследованы ледниковые и перигляционные комплексы; на площадке Эхен-нур определялось современное состояние высокогорной криолитозоны. Полевые исследования проводились с применением GPS-датчики, портативного метеокомплекса «Oregon Scientific WMR» и с помощью закладки термоскважин для контроля за температурным режимом деятельного слоя криолитозоны.

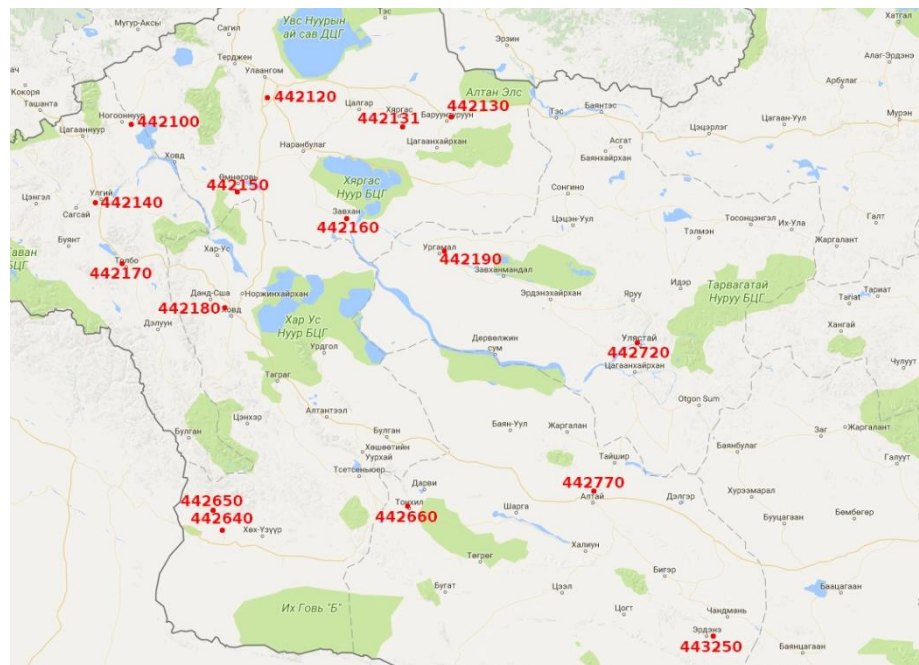


Формирование банка данных для создания ГИС-проекта осуществлялось из открытых сетевых порталов и файловых архивов Геологической службы США USGS (Global Data Explorer <https://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>, Earth Explorer <https://earthexplorer.usgs.gov/>), Национального Аэро Космического Агентства NASA (EOSDIS <https://reverb.echo.nasa.gov/reverb/>), Роскосмоса (Геопортал <http://gptl.ru/>).

Сенсор	ID снимка	Дата съемки
Landsat 8	LC08_L1TP_142026	2017-07-31
	LC81420262016226LGN00	2016-08-13
	LC81410272015216LGN00	2015-08-04
	LC81410262015200LGN00	2015-07-19
Landsat 7 ETM+	LE71420262015231EDC00	2015-08-19
	LE71410262015208EDC00	2015-07-27
	LE71410262004210PFS01	2004-07-28
	LT51420262004193BJC00	2004-07-11
	LE71410272003207ASN02	2003-07-26
	LE71410272002220SGS00	2002-08-08
	LE71410262002220SGS00	2002-08-08
	LE71420262002195SGS00	2002-07-14
Landsat 5	LT51420262011228IKR00	2011-08-16
	LT51410262010218IKR00	2010-08-06
	LT51410262001209BJC00	2001-07-28
	LT51410262000207BJC00	2000-07-25
	LT51410261998217BJC00	1998-08-05
	LT51420261998208BJC00	1998-07-27
	LT51410261996196BJC00	1996-07-14
	LT51420261995216BJC00	1995-08-04
	LT51420261991221BJC00	1991-08-09
	LM51410261991198AAA03	1991-07-17
	LM51410271991198AAA03	1991-07-17
	LT51410261991198XXX03	1991-07-17
ERTS (Landsat 2)	LM21530261977261AAA03	1977-09-18
	LM21530261977225TGS03	1977-08-13
KH-4B	DS1104-1055DF007	1968-08-11
	DS1104-1055DA013	1968-08-11
WorldView - 110	1030010048939200	2015-08-19

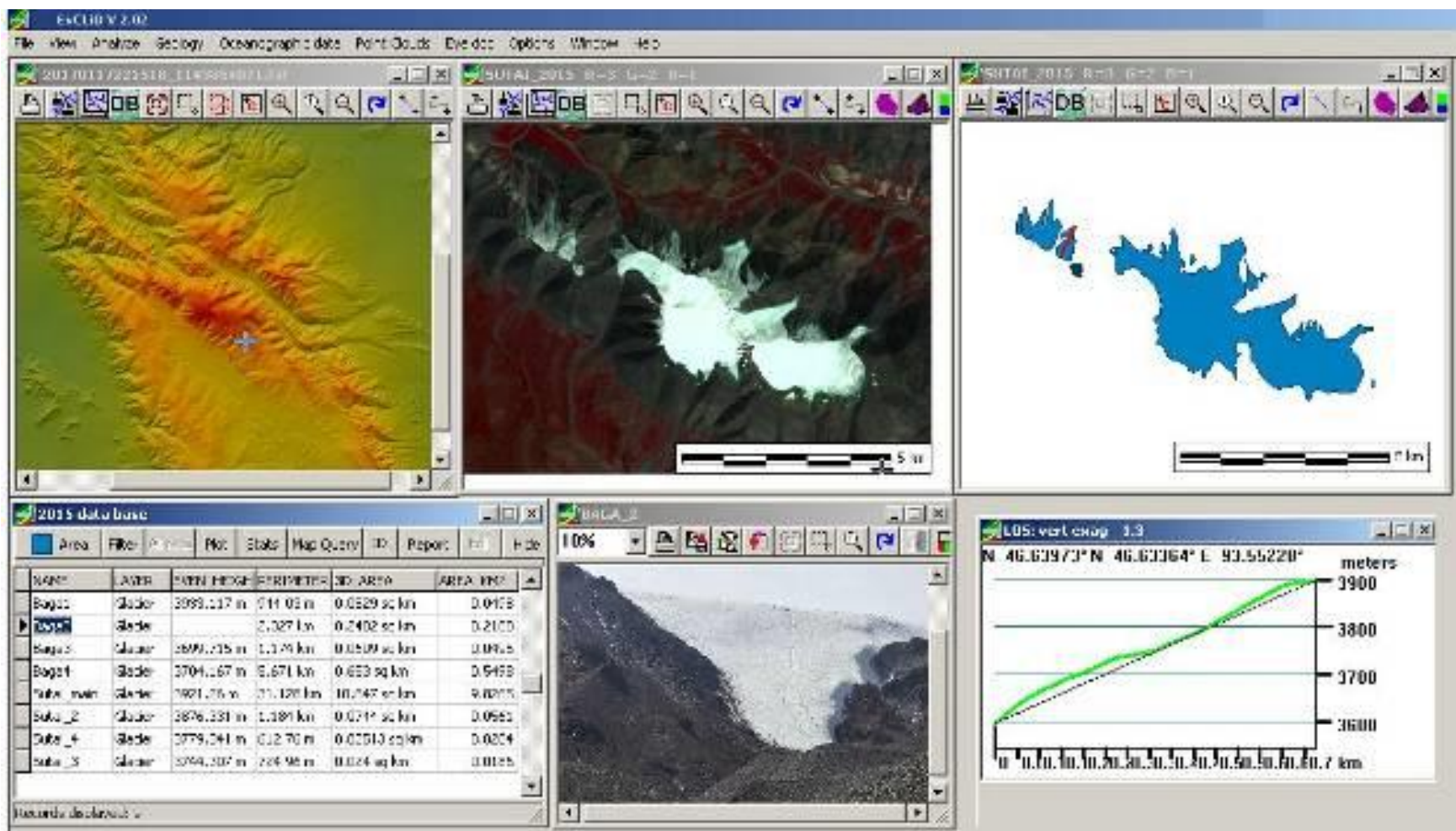
Источником метеонаблюдений
послужил специализированный массив
международной базы данных NOAA`s
National Centers for Enviromental
information (NCEL)

<ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/gsod/> по
15 станциям на территории Западной
Монголии. Максимальный временной
период покрытия составил интервал
1956–2017 гг.

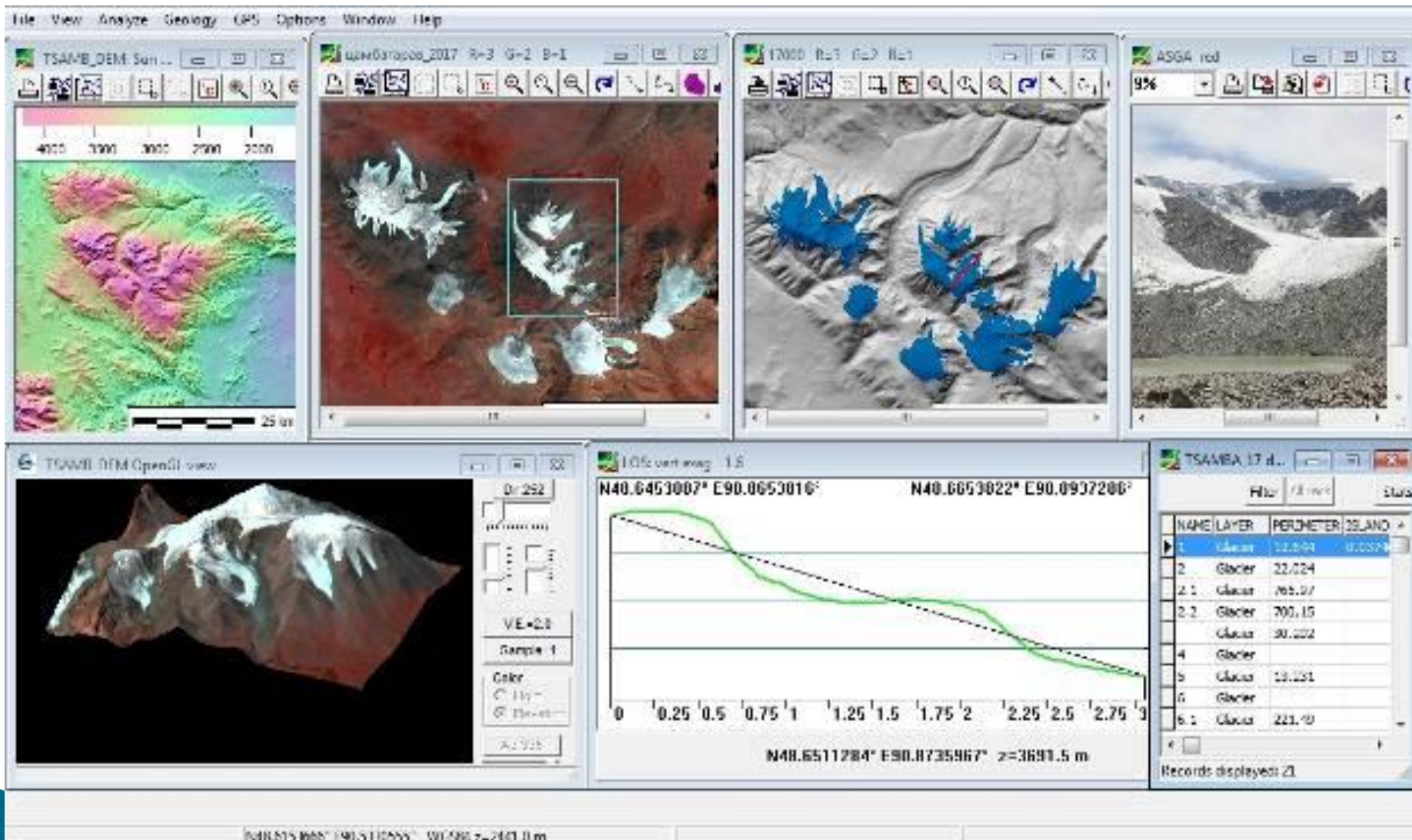


Код станции (ID) и наименование	координаты	высота	период наблюдений	
•442100 99999 NOGOONNUUR	MG +49.600 +090.350	+1480.0	2008–2017;	ПД: 2008–2017
•442120 99999 ULAANGOM	MG +49.800 +092.083	+0939.0	1957–1963; 1969–1971; 1973–2016	ПД: 1961–1970, 1973–2017
•442130 99999 BARUUNTURUUN	MG +49.650 +094.400	+1232.0	1983–2017;	ПД: 1984–2017
•442131 99999 KHYARGAS SOUTHWEST	MG +49.533 +093.800	+2050.0	1973–1977;	ПД: 1973–1975
•442140 99999 ULGI	MG +48.933 +089.933	+1715.0	1959–1963; 1969–1971; 1973–2017	ПД: 1959–1963, 1969–1970, 1973–2017
•442150 99999 OMNO-GOBI	MG +49.017 +091.717	+1590.0	1973–1977; 1983–2017;	ПД: 1984–2017; 1974–1975
•442160 99999 HUNHATAOORTOO	MG +48.817 +093.100	+1051.0	2001–2017;	ПД: 2002–2005; 2008–2017
•442170 99999 TOLBO	MG +48.417 +090.300	+2101.0	1973–1977; 2001–2017	ПД: 2002–2017; 1974–1975
•442180 99999 HOVD	MG +48.017 +091.567	+1405.0	1957–1963; 1969–1971; 1973–2017	ПД: 1958–1963, 1969–1970, 1973–2017
•442190 99999 URGAMAL	MG +48.517 +094.300	+1263.0	2001–2017;	ПД: 2002–2017
•442650 99999 BAITAG	MG +46.117 +091.467	+1186.0	1969–1971; 1983–2017;	ПД: 1984–2017
•442660 99999 TONHIL	MG +46.317 +093.900	+2095.0	1973–1977; 2001–2017;	ПД: 2002–2017
•442720 99999 ULIATAI	MG +47.750 +096.850	+1759.0	1956–1963; 1969–1971; 1973–2017;	ПД: 1958–1963; 1969–1970; 1973–2017
•442770 99999 ALTAI	MG +46.400 +096.250	+2181.0	1956–1963; 1969–1971; 1973–2017;	ПД: 1959–1963, 1969–1970, 1973–2017
•443250 99999 ERDENI	MG +45.150 +097.767	+2417.0	2001–2017;	ПД: 2002–2017

Программный интерфейс ГИАС ЭВКЛИД (Эволюция и Климатогенная Ландшафтная Динамика) с проектом «Сутай»



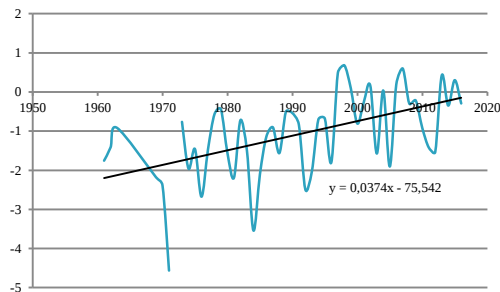
Программный интерфейс ГИАС ЭВКЛИД с проектом «Цамбагарав»



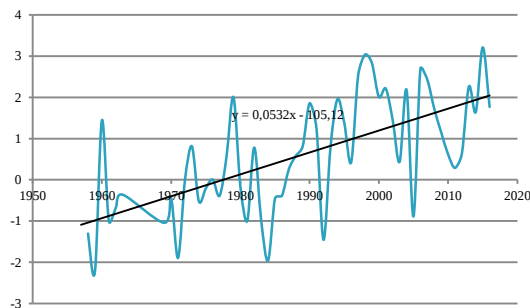
Динамика среднегодовой температуры по метеостанциям Западной Монголии за 1958-2017 гг.

Наименование метеостанции	Абсолютная высота, м над у.м.	Коэффициент тренда температуры	Изменение температуры за исследуемый период, °C	Средне-многолетняя температура, °C	Среднее квадратическое отклонение, °C
ALTAI	2181	+0,037	+2,07	-1,01	0,96
ULIASTAI	1759	+0,026	+1,53	-1,85	1,01
ULGI	1715	+0,039	+2,22	+0,74	1,24
HOVD	1405	+0,053	+3,07	-0,96	1,37
ULAANGOM	939	+0,037	+2,03	-2,53	1,19

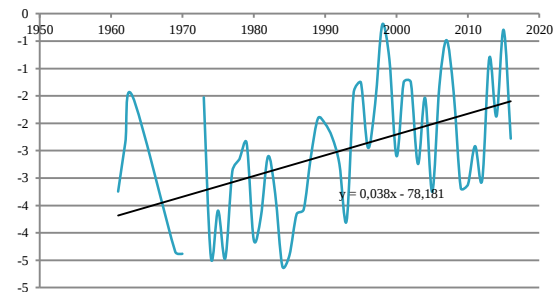
ALTAI



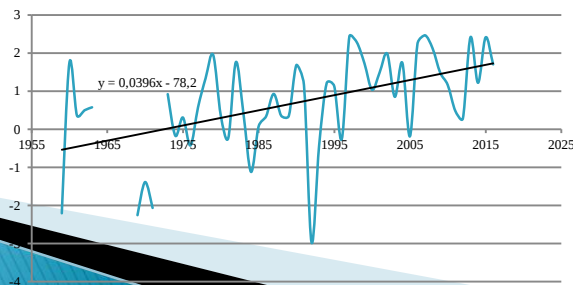
HOVD



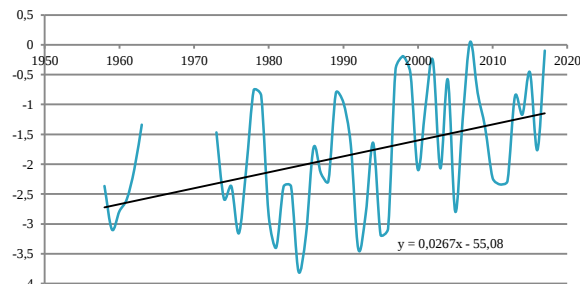
ULAANGOM



ULGI



ULIASTAI



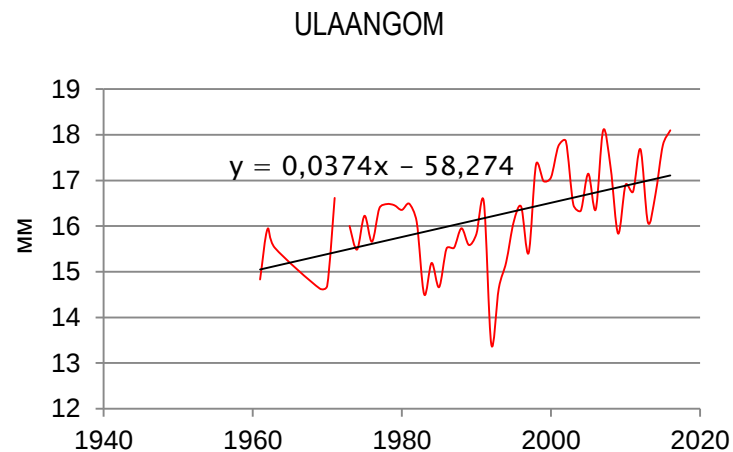
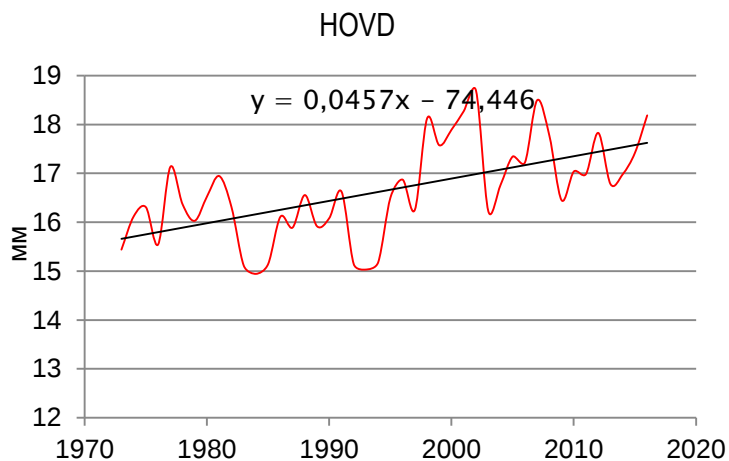
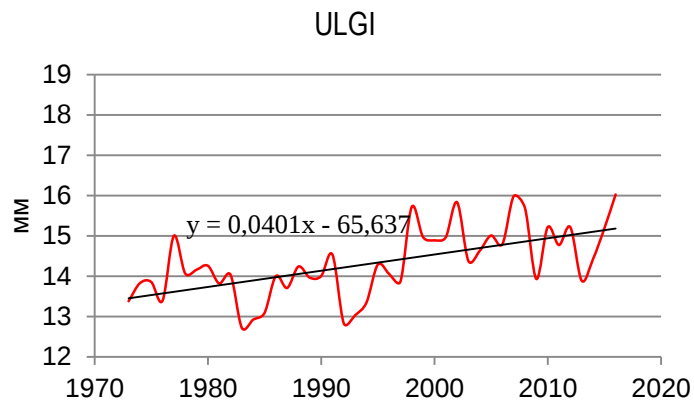
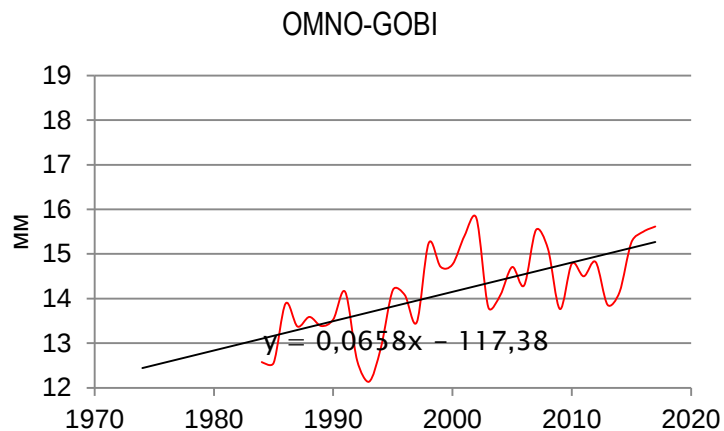
Изменение температуры по метеостанциям Западной Монголии за период с 1984-2017 гг.

Наименование метеостанции	Абсолютная высота, м над у.м.	Коэффициент тренда температуры	Изменение температуры за исследуемый период, °C
ALTAI	2181	+0,048	+1,54
ULIASTAI	1759	+0.044	+1,41
ULGI	1715	+0,057	+1,82
HOVD	1405	+0,059	+1,89
ULAANGOM	939	+0,050	+1,60
OMNO-GOBI	1590	+0,030	+1,29
BARUUNTURUUN	1232	+0,052	+1,66
BAITAG	1186	+0,048	+1,53

Изменение температуры и количества осадков по метеостанциям Западной Монголии за период с 2000-2017 гг.

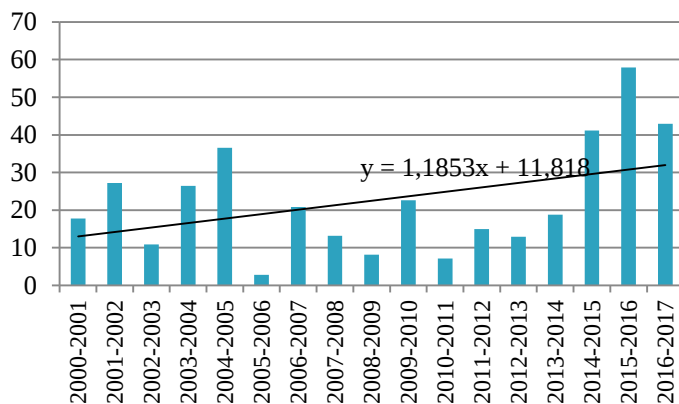
Наименование метеостанции	Абсолютная высота, м над у.м.	Коэффициент тренда температуры	Изменение температуры за исследуемый период, °C	Средне-многолет-ние годовые осадки, мм	Среднее квадратическое отклонение, мм	Коэффициент вариации, %
ALTAI	2181	+0,017	+0,27	182,37	54,90	30
ULIASTAI	1759	+0,019	+0,30	210,49	62,66	30
ULGI	1715	+0,019	+0,30	112,85	25,19	22
HOVD	1405	+0,017	+0,27	124,00	46,43	37
ULAANGOM	939	+0,013	+0,21	133,34	42,70	32
OMNO-GOBI	1590	+0,021	+0,36	133,34	42,70	32
BARUUNTURUUN	1232	-0,013	-0,21	220,52	55,43	25
BAITAG	1186	+0,077	+1,23	90,29	41,35	46
ERDENI	2417	+0,163	+1,90	60,01	25,70	43
TOLBO	2101	+0,043	+0,67	187,78	112,43	60
TONHIL	2095	+0,053	+0,74	97,97	30,34	31
NOGOONNUUR	1480	+0,126	+0,04	98,58	33,17	34
URGAMAL	1263	+0,135	+1,89	99,18	37,25	38
HUNHATAOORTOO	1051	+0,083	+1,20	127,06	80,37	63

Динамика средней летней температуры (с июня по сентябрь) по метеостанциям Западной Монголии

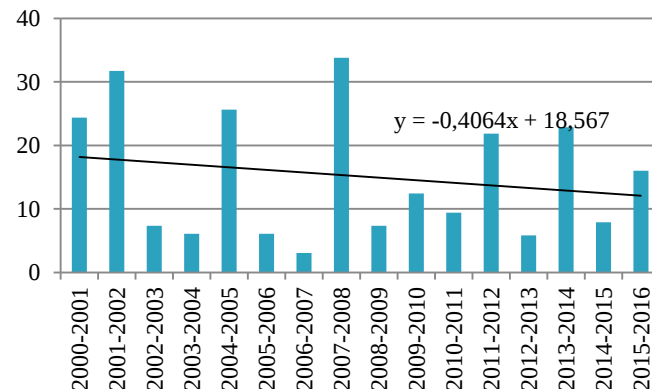


Сумма осадков с ноября по апрель по метеостанциям Западной Монголии за период 2000-2017 гг.

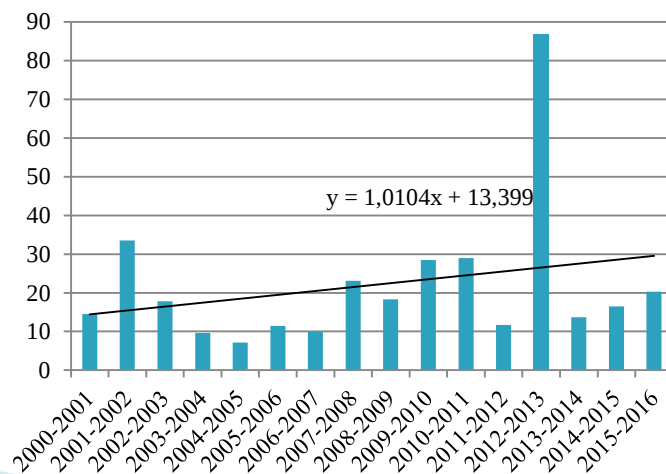
OMNO-GOBI



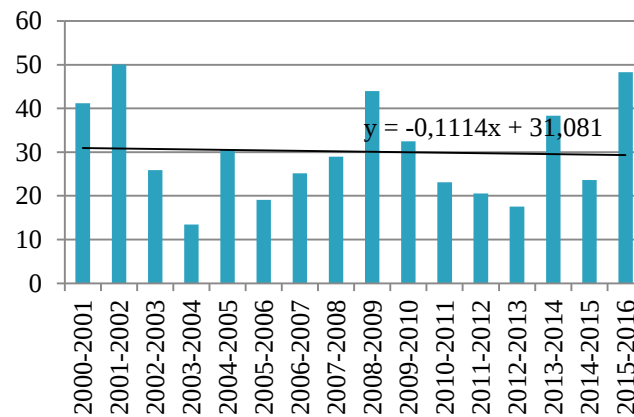
ULGI



HOVD



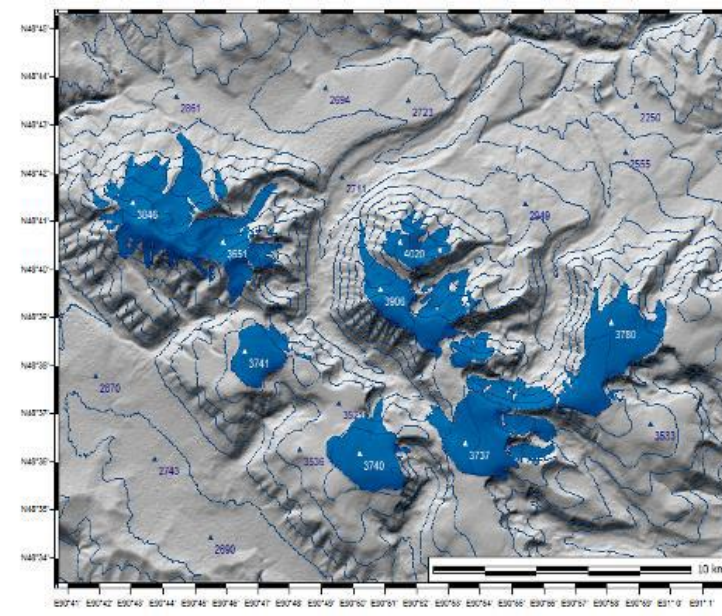
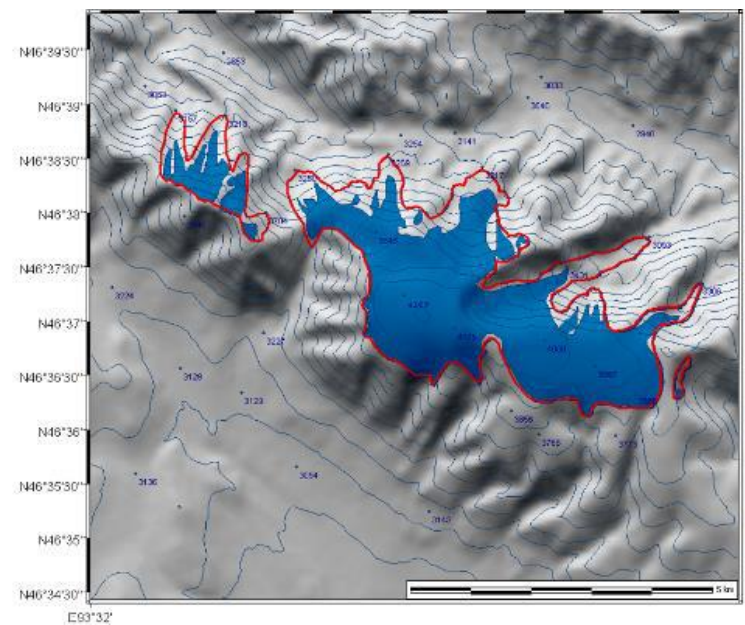
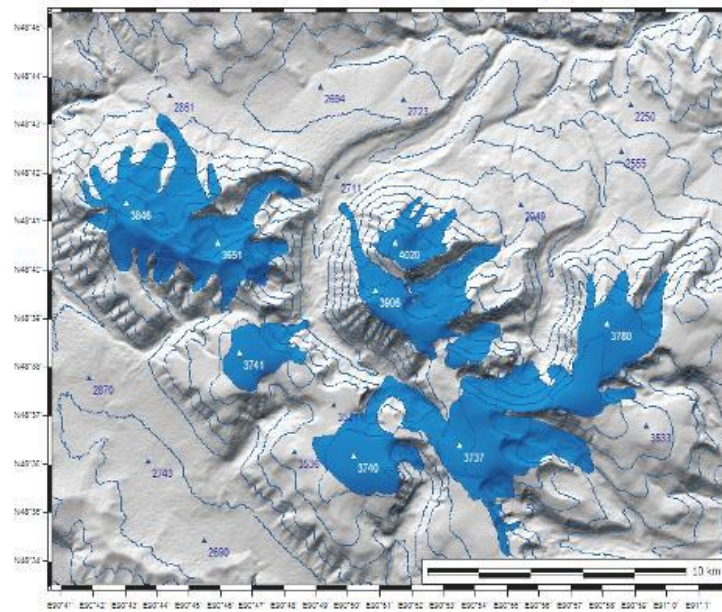
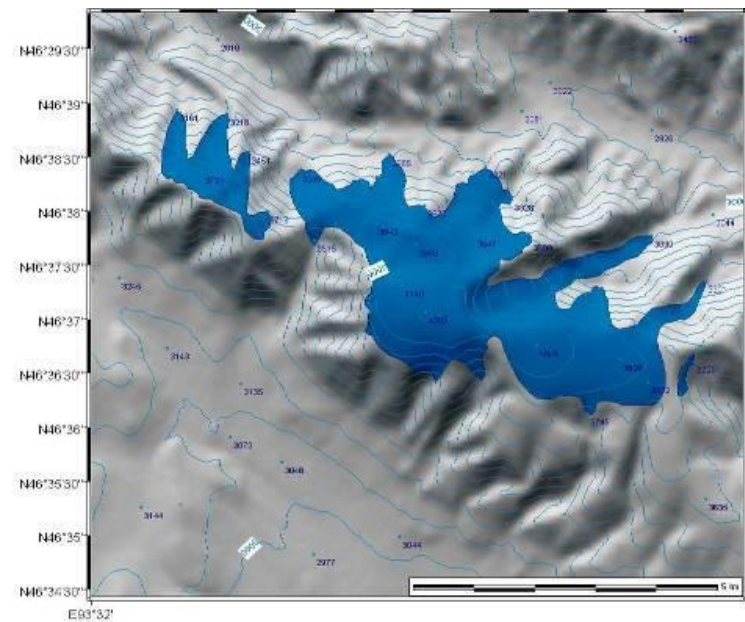
ULANGOM



Сокращение площади оледенения с МЛЭ по 2015 г.

Хр. Сутай 4,81 км²

Хр. Цамбагарав 32,53 км²





Каменные полосы на склоне левого борта долины Хар-Асга, хребет Цамбагарав, абс. высота 2750 м.

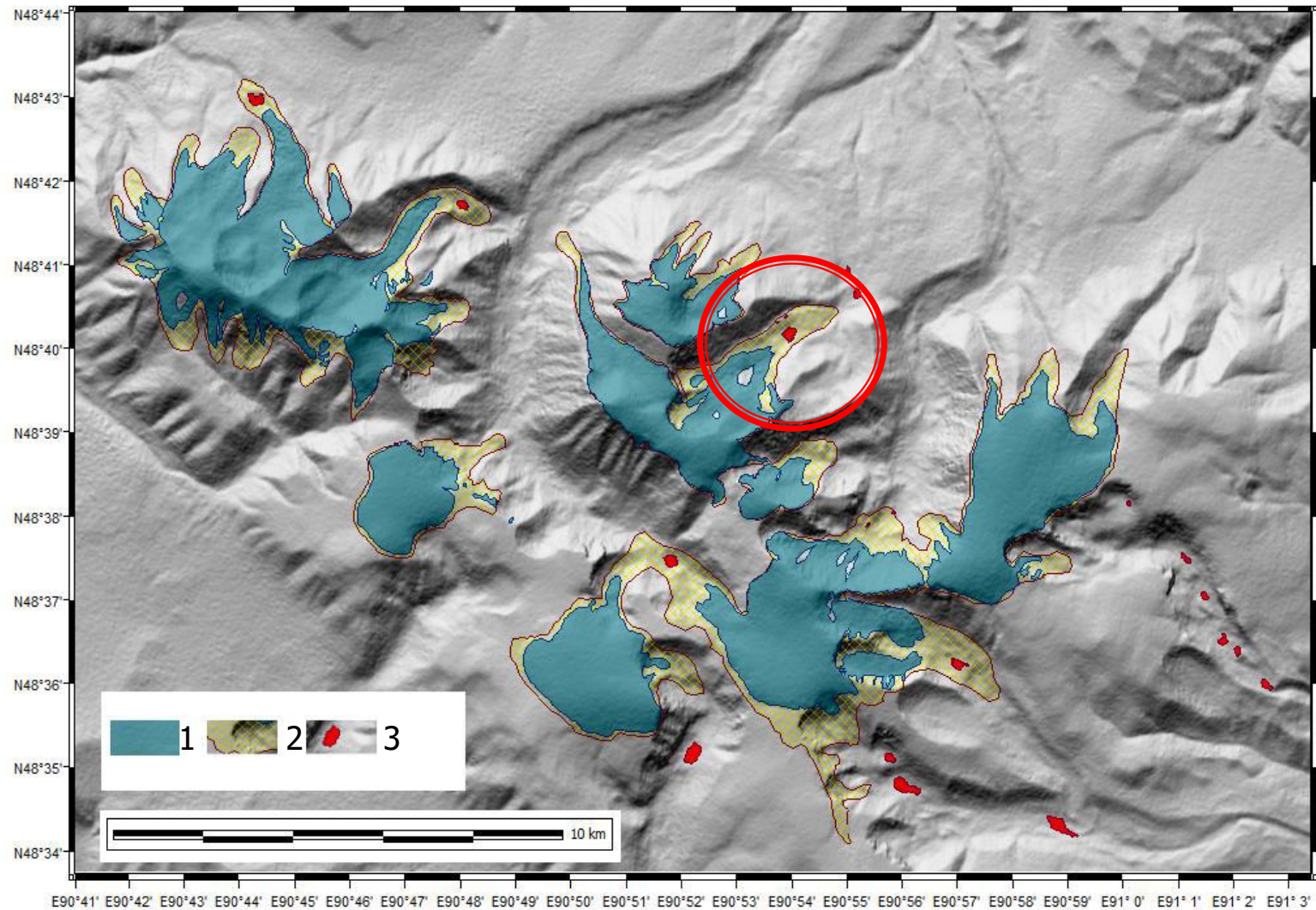


Пятна-медальоны на дне обсохшей термокарстовой западины. Урочище Намаржаан, хребет Цамбагарав, абс. высота 2720 м.



Солифлюкционная терраса в левобережье верховьев долины реки Хушуут, осложненная микрорельефом туфуров (слева) и её разрез (справа), абс. высота 2675 м.

Распределение озерных водоемов в пределах хребта Цамбагарав

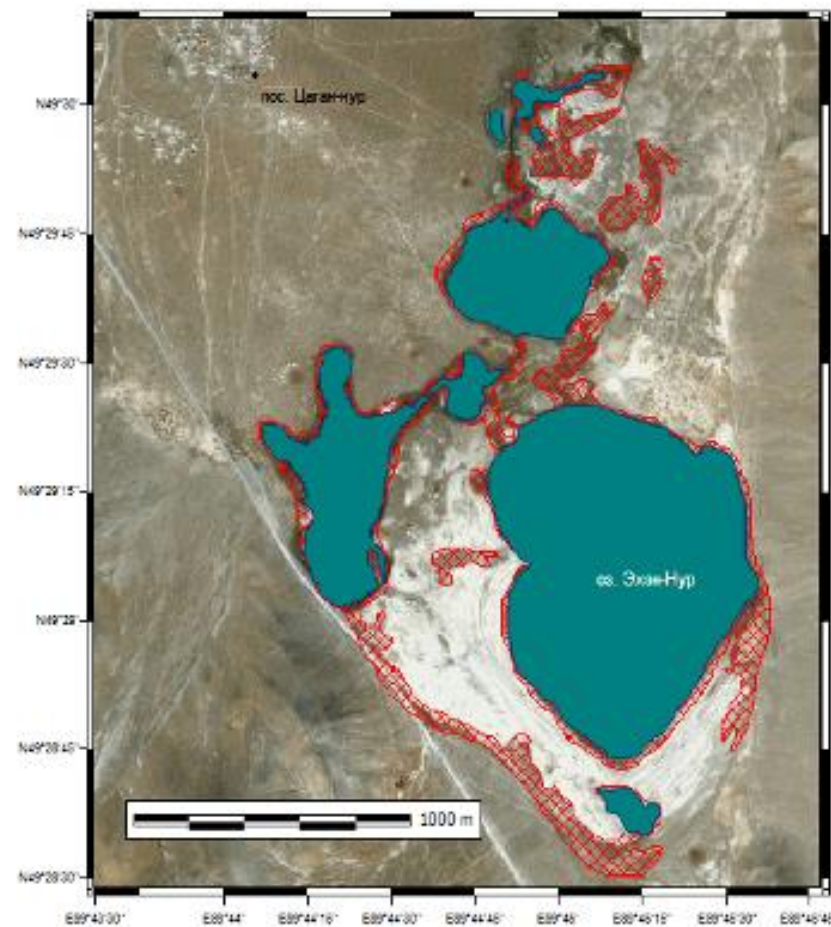
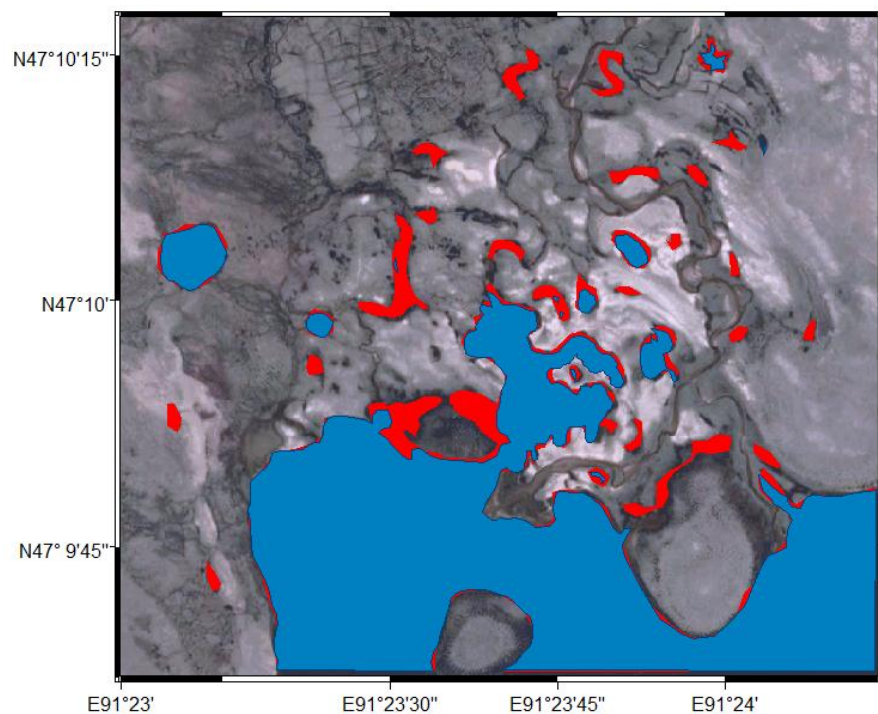


Условные обозначения: 1 – современные ледники, 2 – площадь дегляциации с максимума МЛЭ, 3 – озерные водоемы.

На драпировке Aster Global DEM снимками КН-4В (11.08.1966) и WorldView – 110 (19.08.2006) показано сокращение ледника Тумурт, сопровождаемое образованием приледникового озера и формированием термокарстовых озер на левой береговой морене



В долине р. Хух Гол площадь термокарстовых озер с 1966 г. по 2017 г. сократилась на 35%, а в пределах Эхэн-Нурской впадины на 27 %.



**Деградация альпийской мерзлоты в горах Большого Алтая
вызвала активизацию термокарстовых процессов (полигон оз. Эхэн-нур, 2016)**



Основные выводы:

- ✓ Геоинформационный анализ полихронных пространственных данных позволил выявить периоды повышенной активности гляциальных и термокарстовых процессов – 1997-1999 гг., 2012-2016 гг., что согласуется с наибольшими значениями среднегодовых и летних температур в этот период.
- ✓ Климатические колебания последних десятилетий повлекли за собой существенные и необратимые изменения в пространственной структуре нивально-гляциальных ландшафтов Монгольского Алтая, выраженные в формировании новейшей морфоскульптуры.
- ✓ Со времени последнего ледникового максимума размеры оледенения неуклонно сокращаются, границы гидротермических и ландшафтных поясов Монгольского Алтая смещаются вверх, вызывая коренную перестройку освобожденного ото льда рельефа — основы перигляциального ландшафта. Их отличительной особенностью является «молодость» и ярко выраженная динамичность, вызванная активно протекающими нивальными, криогенными и гравитационными процессами. На молодых участках морен недавно освободившихся от ледникового покрова начинает формироваться первичная растительность. Значение климатогенного аплифтинга ландшафтных поясов в горно-ледниковых бассейнах Монгольского Алтая достигла 180-200 м.
- ✓ Поскольку ледники в горах Монголии обеспечивают примерно 11% от общего объема водных ресурсов страны, то последствия их сокращения оказывают прямое и косвенное воздействие на многие стороны хозяйственной деятельности.

Спасибо за внимание!

