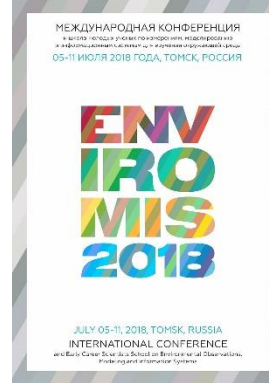




Институт географии
им. В.Б. Сочавы СО РАН



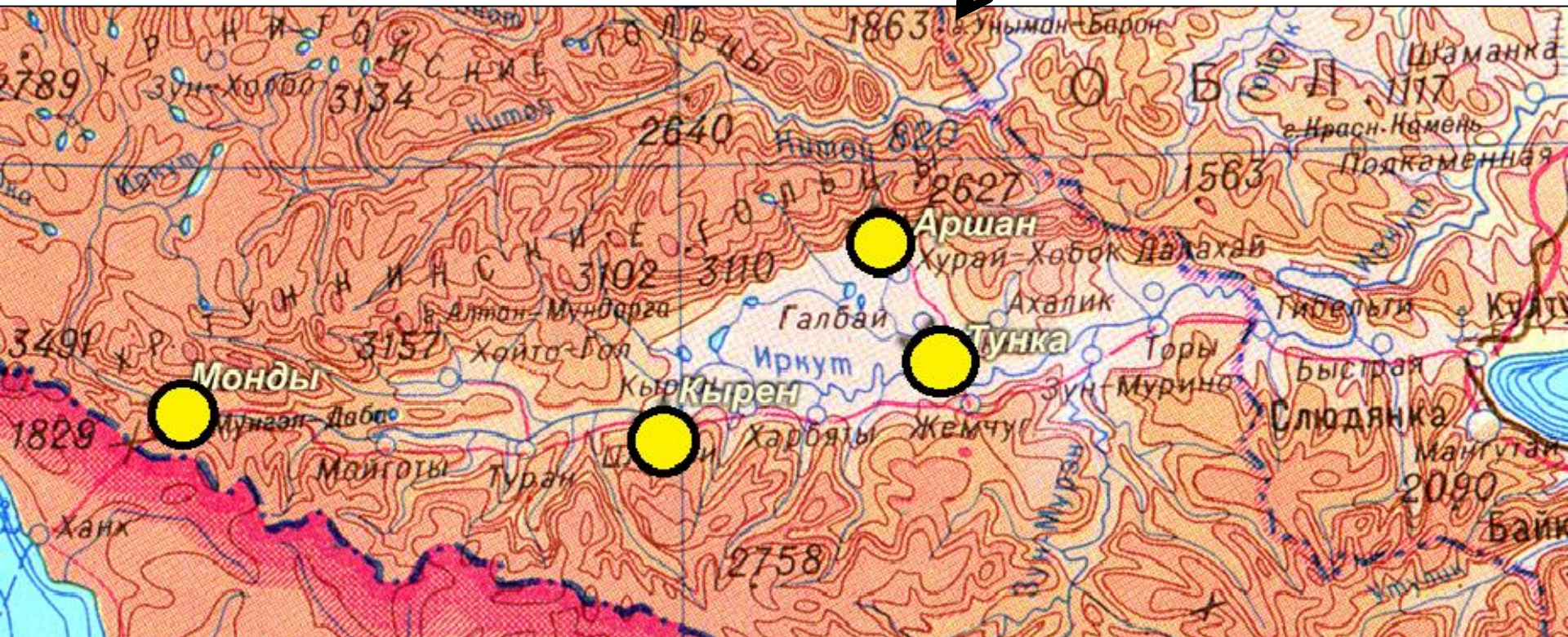
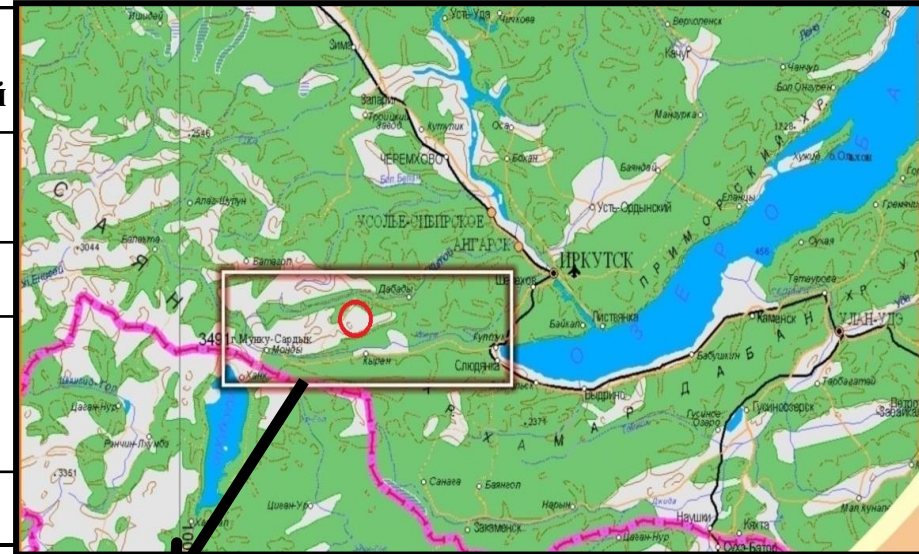
Применение различных методов для картографирования температуры воздуха на примере территории Тункинской ветви котловин

Истомина Елена Александровна
Василенко Оксана Валерьевна

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН
elenaistoma@gmail.com

Постановка проблемы

Станция	Координаты	Абс. высота	Период наблюдений
Аршан	51°55 - 102°26	885 м	1910-97
Кырен	51°41- 102°08	755 м	1951- ...
Тунка	51°44 - 102°32	721 м	1888-....
Монды	51°41 100°59	1303 м	1900 - ...



Цель исследования

- провести сравнение картографических моделей поля температуры воздуха Тункинской котловины, созданных с применением различных методов:
 - Дистанционные методы
 - Метод ландшафтно-интерпретационного картографирования
 - Математические пространственные модели климата
- рассмотреть их достоинства и недостатки



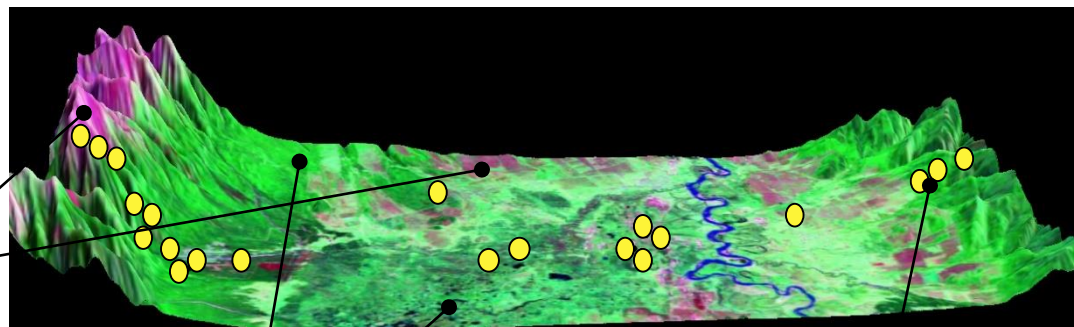
Steppe and pastures



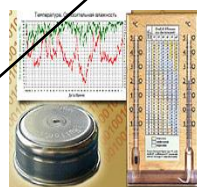
Alpine tundra and goltsy



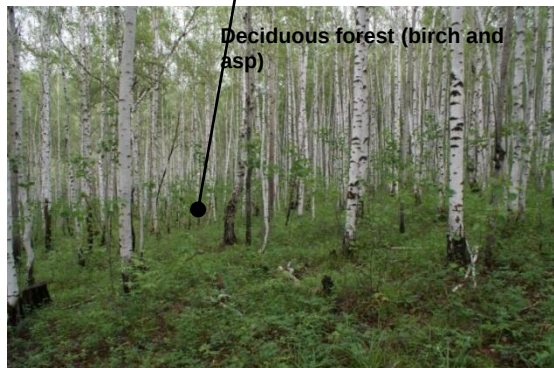
wetlands



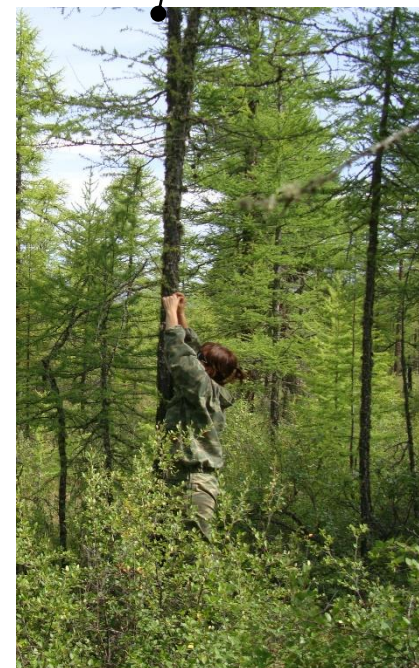
Исходные данные



Temperature sensors – Termochrones



Deciduous forest (birch and asp)

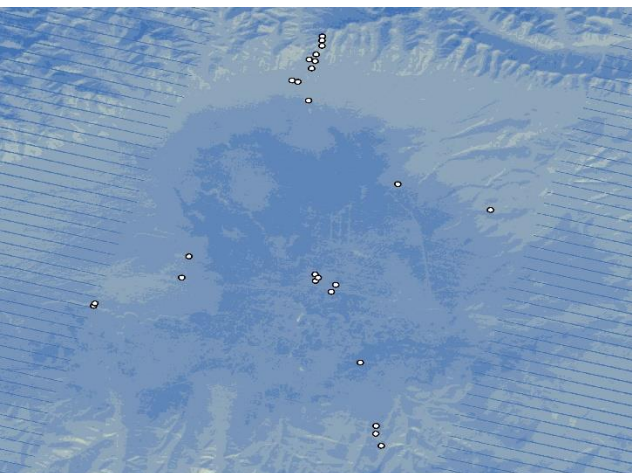
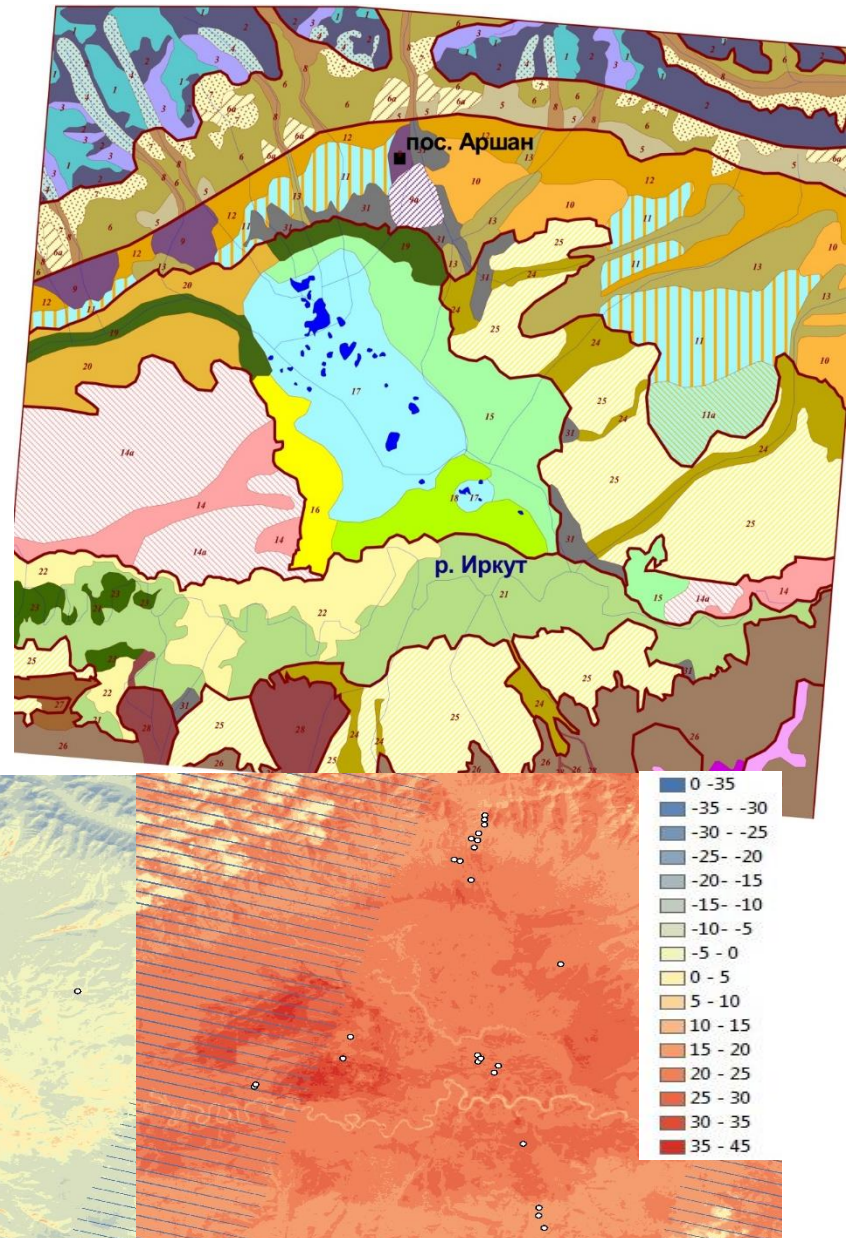


Coniferous forest (pine and larch)

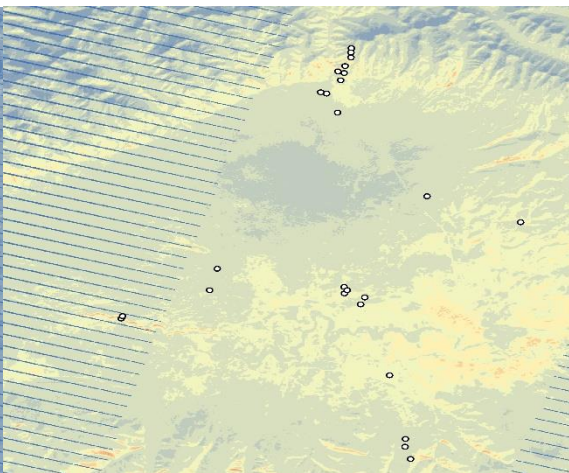
Результаты натурных круглогодичных автоматических наблюдений (2009-2015 гг.) - срочные данные температуры воздуха 30 модельных площадок

Исходные данные

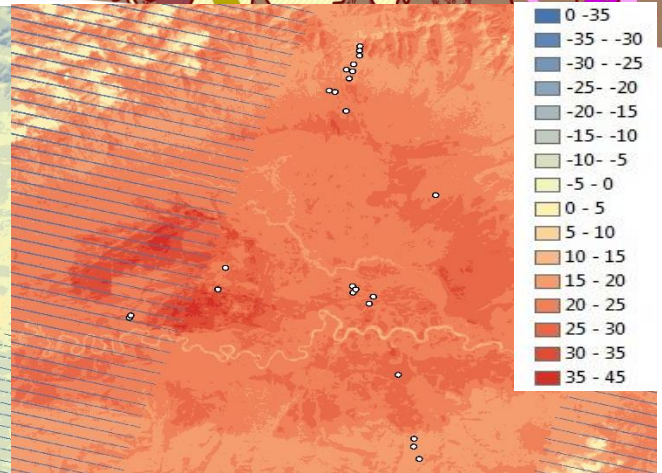
- Данные метеорологических станций Росгидромета (Тунка, Аршан, Кырен)
- Космические снимки территории (снимки спутника Landsat-7, Landsat-5).
- Набор данных WorldClim



25.02.2010



18.03.2012



03.07.2010

Дистанционные методы картографирования температуры поверхности

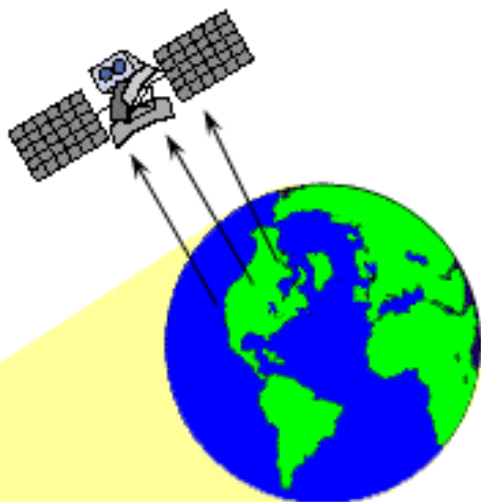
закон Стефана-Больцмана

$$P \sim \sigma T^4$$

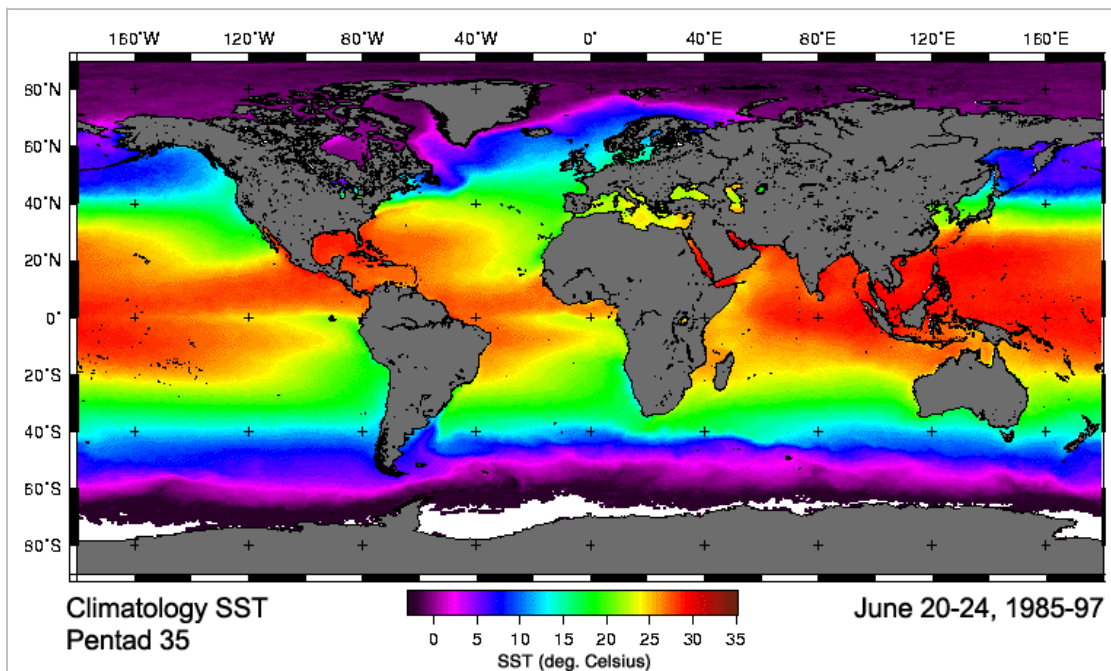
где P – излучение объекта в тепловом диапазоне, фиксируемое на снимке

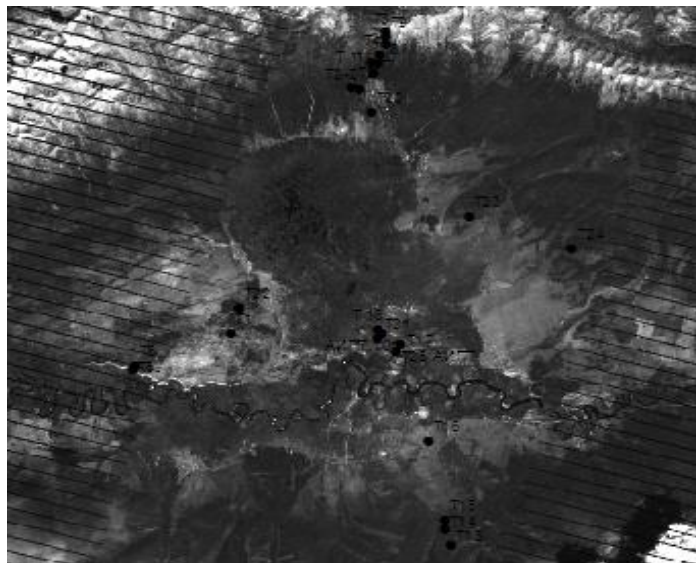
T – температура поверхности

и ε – коэффициент излучения конкретного объекта (отношение фактического излучения к теоретическому, испускаемому абсолютно черным телом при заданной температуре)



© CCRS / CCT





Landsat 5	Landsat 7
16.01.2010 г.	09.02.2010 г.
11.07.2010г .	25.02.2010 г.
27.07.2010 г.	30.04.2010 г.
29.09.2010 г.	01.06.2010 г.
14.07.2011 г.	03.07.2010 г.
02.10.2011 г.	19.07.2010 г.
	24.11.2010 г.
	01.04.2011 г.
	08.09.2011 г.
	27.11.2011 г.
	25.08.2012 г.
	18.03.2012 г.
	22.06.2012 г.
	09.08.2012 г.
	25.08.2012 г.
	29.11.2012 г.
	21.03.2012 г.

$$T = K2 / \ln((K1 / ((L_{\max\lambda} - L_{\min\lambda}) * (Q_{cal} - Q_{cal\ min})) / (Q_{cal\ max} - Q_{cal\ min}) + L_{\min\lambda})) + 1)$$

Где Т - абсолютная температура в Кельвинах;

Q_{cal} - калиброванное значение яркости пикселей на снимке;

$K1$ - калибровочная константа 1 (равна 666,09 и 607,76 для камер ЕТМ+ и ТМ);

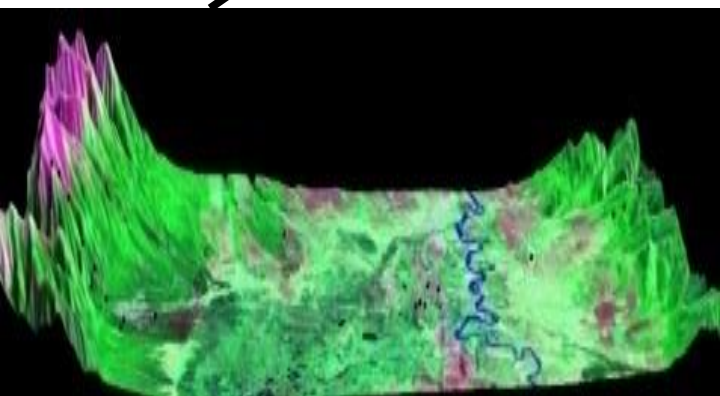
$K2$ - калибровочная константа 2 (равна 1282,71 и 1260,56 для камер ЕТМ+ и ТМ)

$L_{\max\lambda}$ и $L_{\min\lambda}$ - количество приходящего излучения (равны 12,65 и 3,2 для ЕТМ+ и 15,303 и 1,238 для ТМ);

$Q_{cal\ min}$ - минимальное калиброванное значение DN (равно 1);

$Q_{cal\ max}$ - максимальное калиброванное значение DN (255).

1.



LAT

25,5
23,5
22,5
23
22,5
21,5
22
22,5
20
21
24,5
23
25

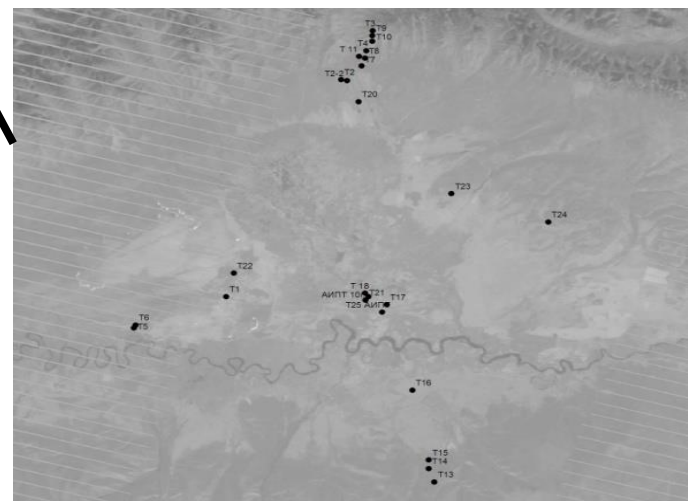
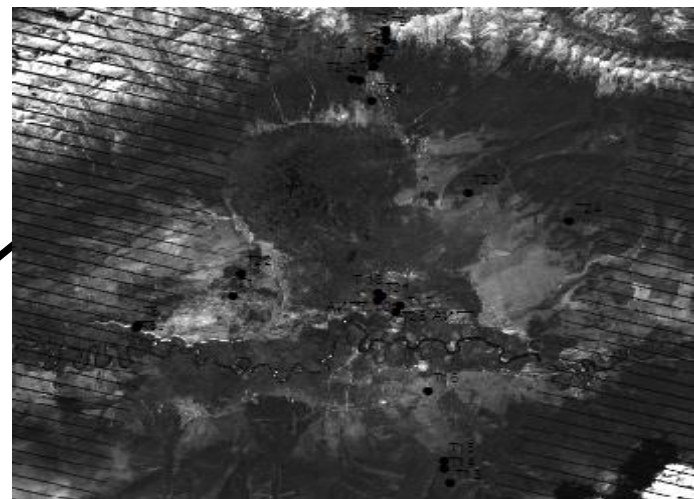
LST

25,2
23,7
26,0
17,0
18,0
18,0
18,6
15,9
15,9
14,8
23,7
23,7
23,2

3.

$$d_{ij} = \text{LAT}_{ij} - \text{LST}_{ij}$$

2.



i – точка расположения датчика термохрона,
 j – момент съемки

Модуль разницы дистанционных данных и данных с датчиков-термохронов для различных точек наблюдений и моментов съемки спутника Landsat (Фрагмент таблицы)

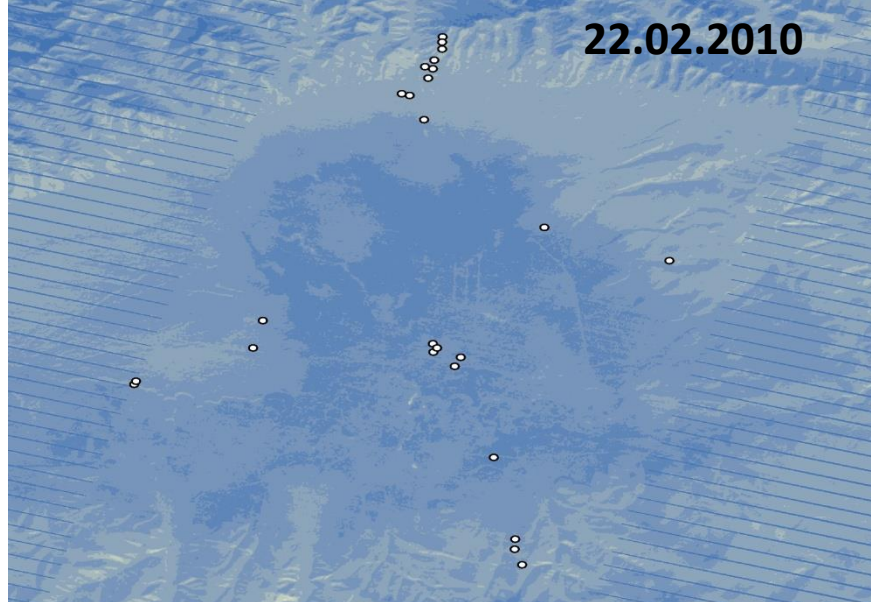
d<1	год	2010						2011			2012				
1<d<3	день	9	25	3	11	29	24	14	2	27	18	22	25	29	21
d>3	месяц	2	2	7	7	9	11	7	10	11	3	6	8	11	3
среднее отклонение		3,3	2,9	2,8	3,3	2,0	1,5	2,7	0,9	0,9	2,5	2	3,1	3,8	2,8
описание точки	высота														
Осинник с березой осоковоразнотравный	996	6,5	5,4	0,7	2,1	0,7	4,2	4,5	0,4	3,9	4,1		1,2		
Березняк осоковоразнотравный	928	1,5	2,1	2,0	2,8	2,2	1,3	3,4	0,2	0,8	1,1	1,3	0,9	1	1,2
Кедрач осоковоразнотравный	1690	2,9	1,8	2,8	1,1	2,0	0,2	0,3	7,3	1,1	2,4	0,2	2,7	1	3,1
Сосноволиственничный разреженный	1386					1,0	1,5	1,0	3,0	1,0	1,0	0,0	0,8	1	3,0
Лиственничник разнотравный	1203	3,7	2,4	2,4	2,8	2,2	3,8	4,8	1,2	2,7	2,3	5,5	1,5	3,4	2,3
Сосняк средневозрастной мертвопокровный	1040	1,3	4,8	0,5	10,2	0,4	1,2	1,8	0,8	6,4	4,3	0,6	0,4	4,5	1,6
Сосняк мертвопокровный	787	1,8	0,1	3,9	12	0,3	0,5	3,0	0,4	0,8	1,1	3,1	3,8	2	0,2
Осоковое переходное болото	721												5	6,2	4,4
Луг, подрост сосны	720	3,4	4,1	3,6	2,6								3	4	3,8
Торфянистый луг	719												1	5,8	3,6
Граница леса	1923	2,2	1,4	6,9	3,2	2,2	1,1	2,3	7,0	0,5	1,6	4	7,2	1	4,1
Гарь по сосняку брусничному	770											2,3	0,1	7,5	2,9
Сильно нарушенная злаковая степь	737	6,0	4,6	3,2	2,3	7,1	0,5	0,4	8,3	0,7	4,9	2	9,4	5,7	0,9
Эоловый массив оголенных песков	722	4,1	4,5	6,9	6,1			3,3	4,7	3,3	2,3	4	6,7	2,7	0,7

Истомина Е.А., Василенко О.В. Геоинформационный анализ температурного поля ландшафтов Тункинской котловины с использованием космических снимков Landsat и наземных данных// География и природные ресурсы, №4, 2015. С. 66-72.

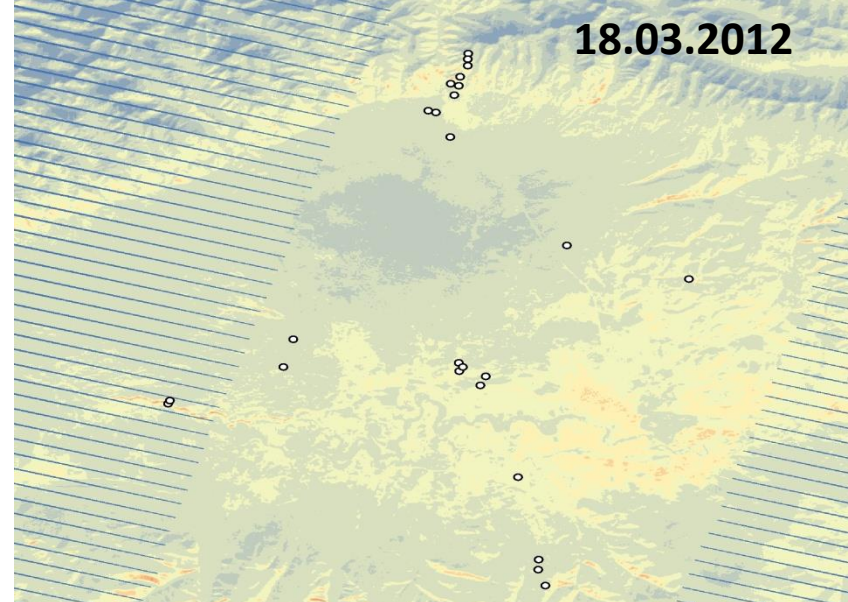
Результаты анализа отклонений

- d_{ij} изменяются от 0 до 12 градусов по модулю; среднее арифметическое модулей отклонений для всех точек и моментов времени равно 3 градусам; минимальные отклонения (1-3 градуса) соответствуют осени, зиме и ранней весне, с апреля по сентябрь отклонения увеличиваются до 3-5,5 градусов; максимальные значения (7-12 градусов) соответствуют открытым участкам (степь, песчаные массивы, подгольцовый пояс).
- Преобладают положительные значения d_{ij} (из полученных 342 значений, 176 значений - положительные), сумма всех d_{ij} равна 133°C (0,4°C на точку). Это говорит о том, что в среднем значения LST_d завышены относительно температуры воздуха, измеренной датчиками.
- Для лесных участков (показаны зеленым цветом в таблице) преобладают отрицательные значения d_{ij} (55% значений), сумма всех d_{ij} равна -53°C (-0,2°C на точку). Это, вероятно, связано с низкой излучательной способностью листвы и хвои деревьев.
- Для открытых участков (влажные лугово-болотные угодья, отмеченные голубым цветом в таблице и сухие степные и песчаные участки, обозначенные желтым цветом) преобладают положительные значения d_{ij} (61% значений), сумма всех d_{ij} равна 68°C и 120°C (1,3°C и 1,5°C на точку) для влажных и сухих участков соответственно. Максимальные положительные значения d_{ij} преобладают для теплого периода года для открытых участков местности. Это, скорее всего, связано с тем, что в дневные часы поверхность прогревается сильнее, чем воздух.

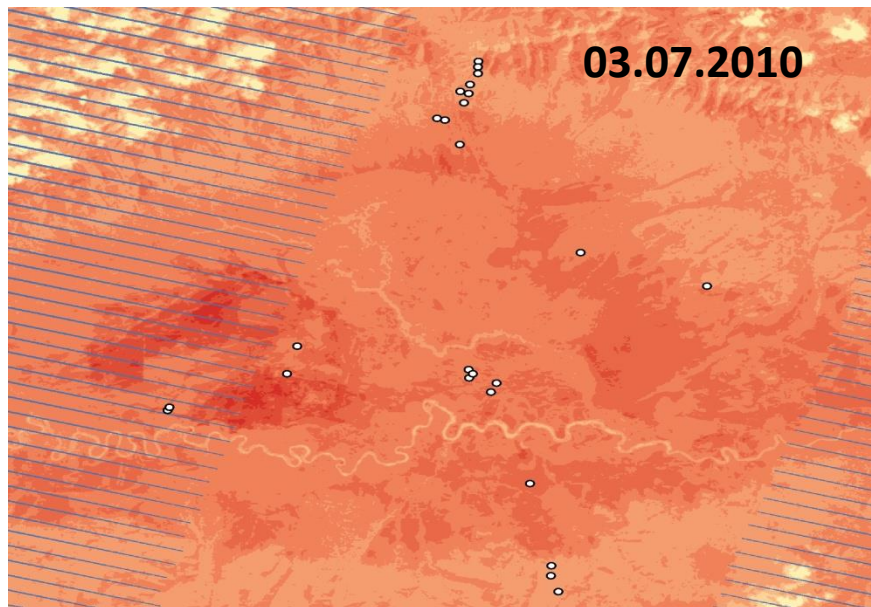
22.02.2010



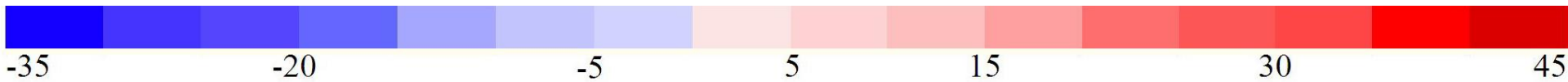
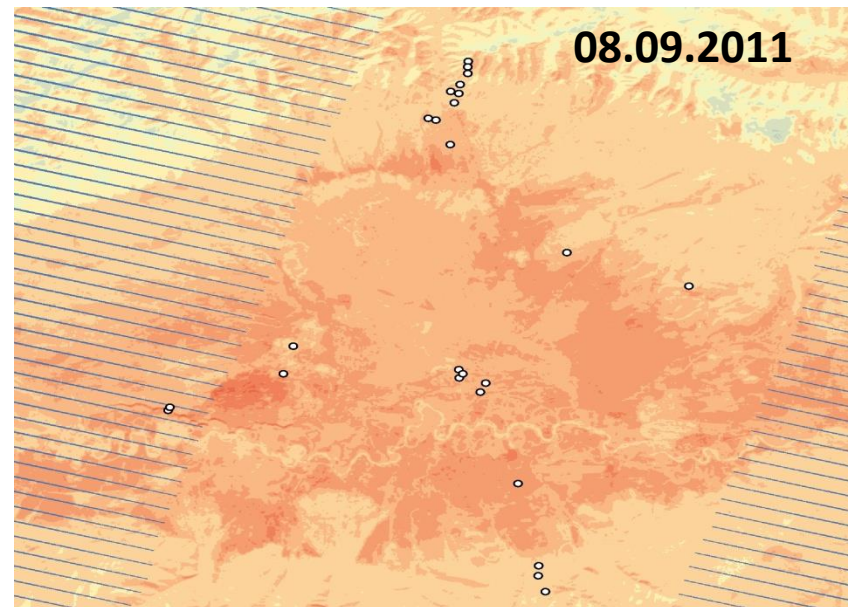
18.03.2012



03.07.2010



08.09.2011



Температура воздуха различных ландшафтов Тункинской котловины

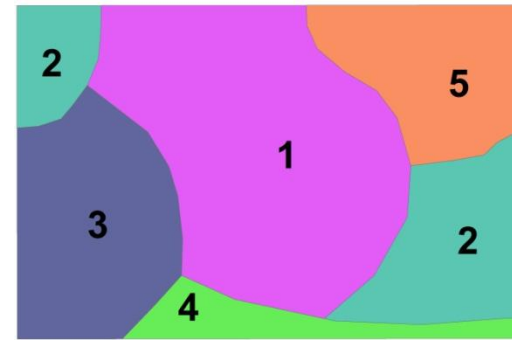
Дата		22.02.10			03.07.11		
Тип ландшафта	Площадь%	T _{ср}	T _{min}	T _{max}	T _{ср}	T _{min}	T _{max}
1	9	-13	-20	-5	24	20	30
2	10	-16	-20	-10	25	20	30
3	17	-17	-25	-10	23	20	30
4	9	-24	-30	-20	28	20	35
5	16	-25	-30	-20	24	20	30
6	11	-27	-30	-25	24	20	30
7	18	-24	-30	-20	26	20	30
8	9	-20	-30	-20	23	20	25
9	1	-13	-20	-10	23	20	30

1. Гольцовые
2. Горнотаежные сосново-лиственничные с кедром
3. подгорные кедрово-лиственничные
4. подгорные подтаежные сосновые
5. мерзлотные лугово-озерно-болотные
6. лугово-степные долины Иркуты
7. антропогенные днищ котловин остепненно-луговые
8. горнотаежные лиственничные
9. горнотаежные темнохвойные плакорные

T_{ср} – средневзвешенная температура, T_{max}, T_{min} -нижняя и верхняя граница температуры

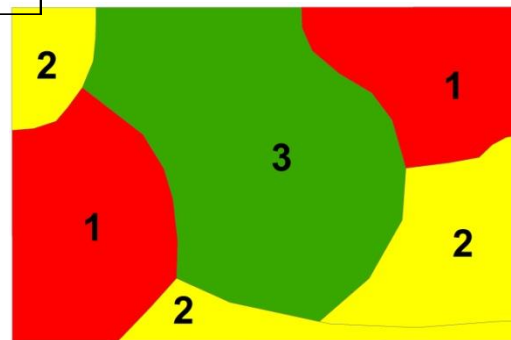
Ландшафтно-интерпретационный метод

Landscape type	Significance	Sensitivity
1	3	1
2	2	2
3	1	1
4	2	3
5	1	3



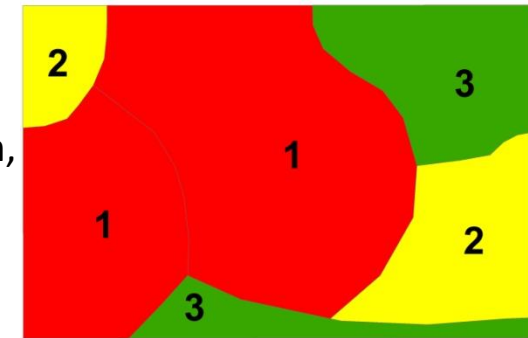
landscapes

significance



1 – high,
2 – medium,
3 – low

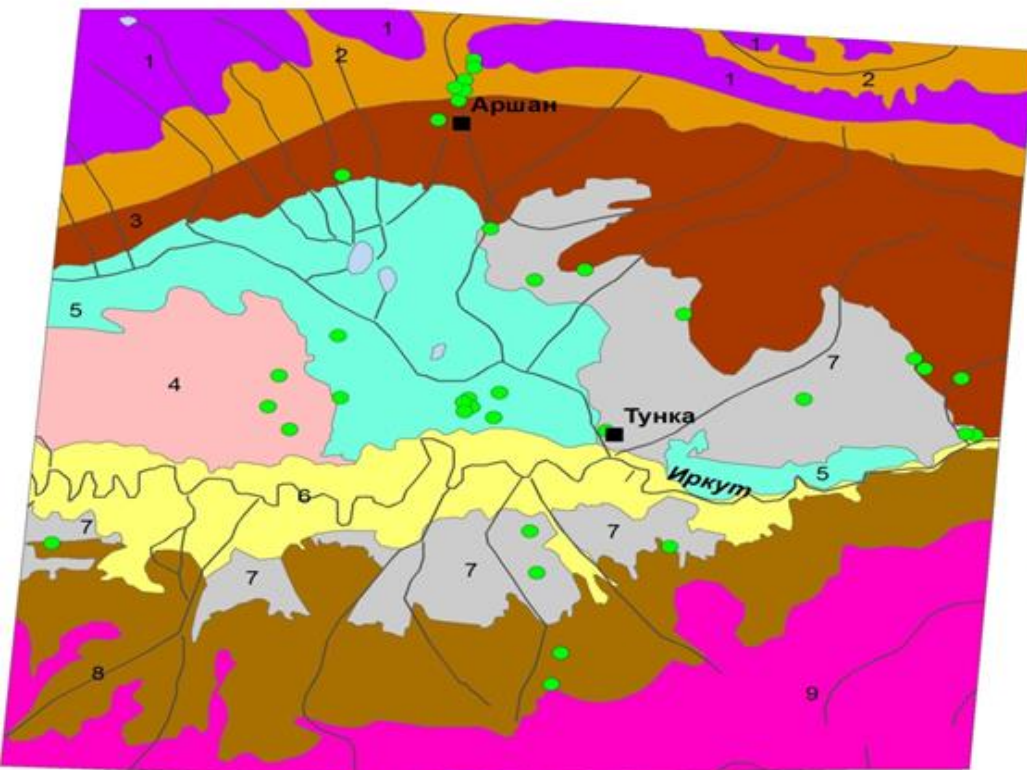
sensitivity



Метод основан на том, что определенный тип геосистем (например, группа фаций) имеет однородные природные характеристики на протяжении своего ареала. Это позволяет экстраполировать характеристики (в т.ч. температуру воздуха), измеренные в одной или нескольких точках ареала определенной группы фаций на весь ареал этой группы фаций.

Ландшафтная карта Тункинской котловины.*

* Истомина, Е.А. Геоинформационное картографирование ландшафтов Тункинской котловины на основе метода факторально-динамической классификации / Геодезия и картография. – 2012 . - №4.



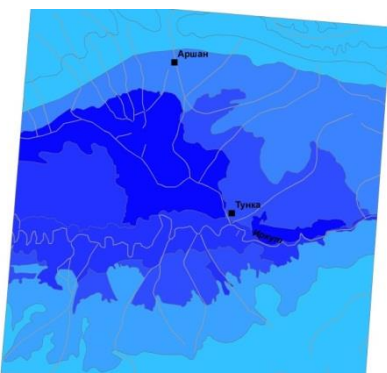
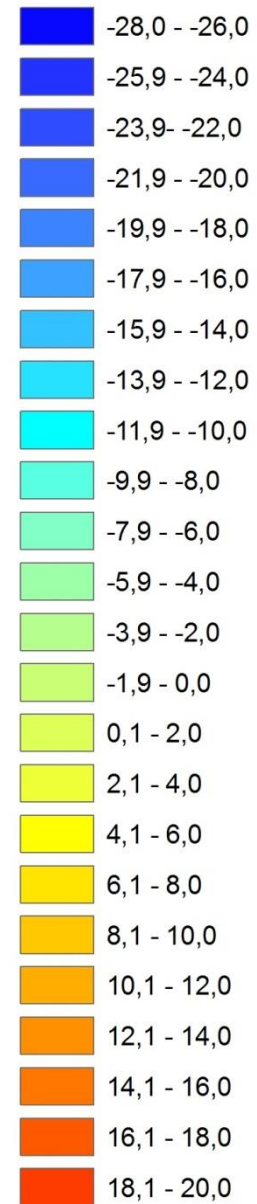
- 1 - Гольцовые
- 2 - Горнотаежные сосново лиственничные с кедром
- 3 - Подгорные кедрово-лиственничные
- 4 - Подгорные подтаежные сосновые
- 5 - Мерзлотные лугово-озерно-болотные
- 6 - Лугово-степные долины Иркуты
- 7 - Антропогенные днищ котловин остепненно-луговые
- 8 - Горнотаежные лиственничные
- 9 - Горнотаежные темнохвойные плакорные
- 10 - Площадка наблюдений

Средняя месячная температура воздуха различных типов ландшафтов Тункинской котловины

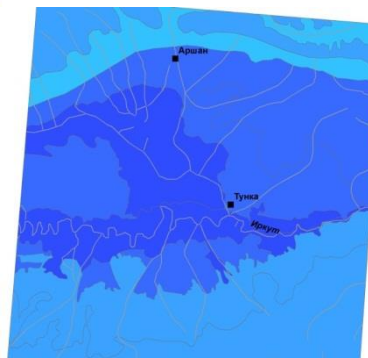
Тип ландшафта	Диапазон высот, м.	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
1	1968-2120	-15,7	-17,9	-10,8	-4,6	2,3	7,3	9,6	9,9	1,5	-3,4	-7,8	-11,1
2	1070-1735	-14,3	-15,2	-7,6	-0,2	6,9	11,8	13,9	13,9	5,3	-0,2	-4,4	-9,2
3	770-848	-19,4	-20,9	-9,4	1,5	9,1	14,3	15,7	16,2	6,8	-1,1	-7,5	-17,6
4	766-806	-25,5	-20,5	-9,0	1,9	9,4	15,1	17,2	16,8	7,3	-0,8	-7,6	-17,6
5	717-729	-27,6	-22,6	-10,3	1,7	9,2	14,5	17,0	16,2	7,0	-1,5	-8,6	-18,8
6	720-721	-24,8	-22	-9,8	1,9	9,4	15,1	16,9	16,7	7,5	-0,7	-8,0	-18,7
7	714-890	-22,7	-20,5	-9,4	1,8	9,3	14,6	16,8	16,7	7,1	-0,6	-7,3	-17,1
8	980-1190	-16,8	-16,1	-7,9	0,8	7,9	13,3	15,3	14,8	6,9	-0,2	-5	-11,8
9	1063-1405	-15,7	-16,3	-7,5	-0,2	6,9	12,6	14,8	14,2	5,6	0	-5,3	-10,2

Пространственное распределение средней месячной температуры воздуха в ландшафтах Тункинской котловины

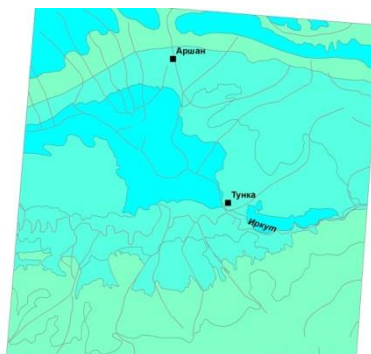
Температура,
°C



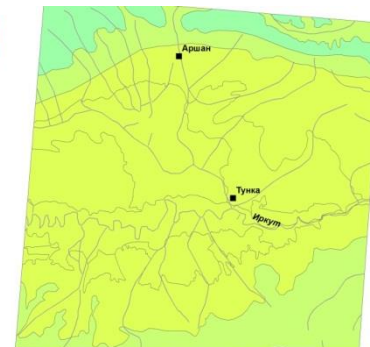
Январь



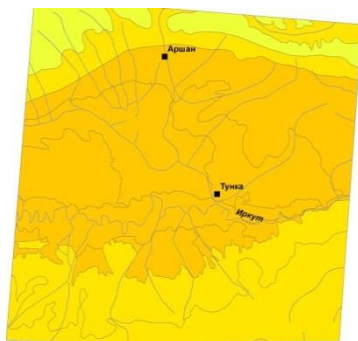
Февраль



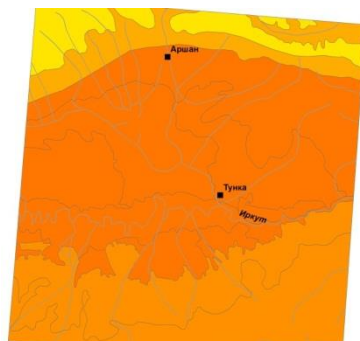
Март



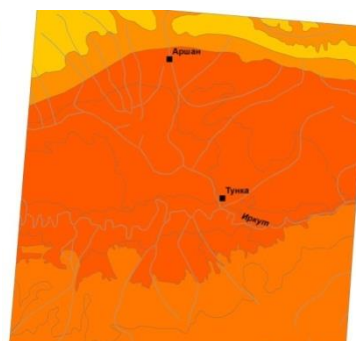
Апрель



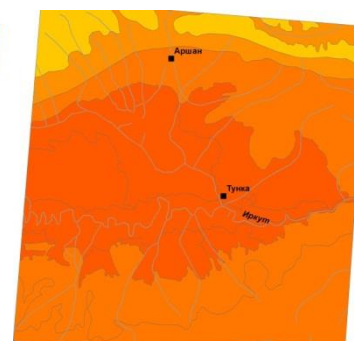
Май



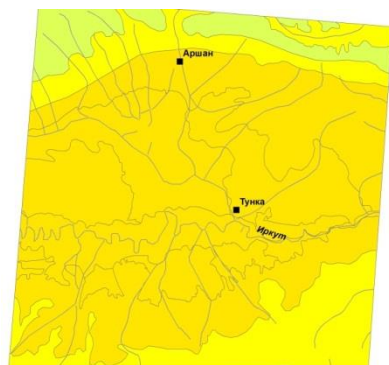
Июнь



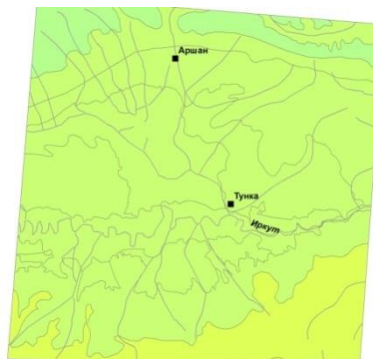
Июль



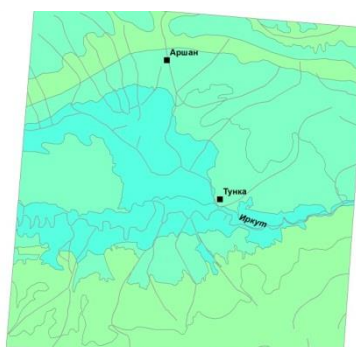
Август



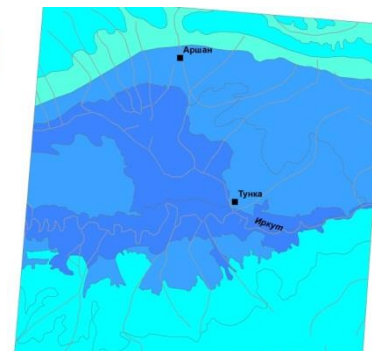
Сентябрь



Октябрь

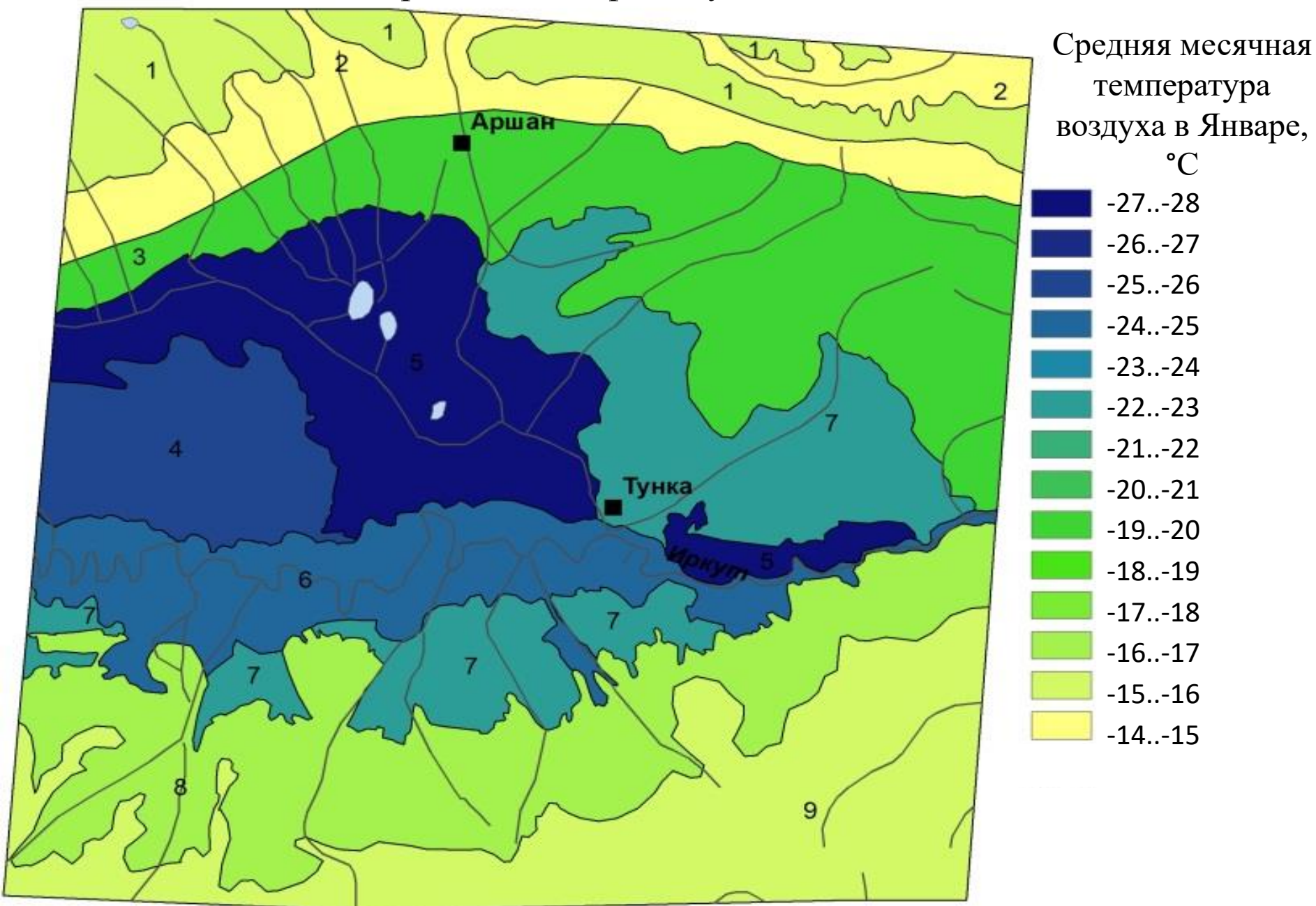


Ноябрь

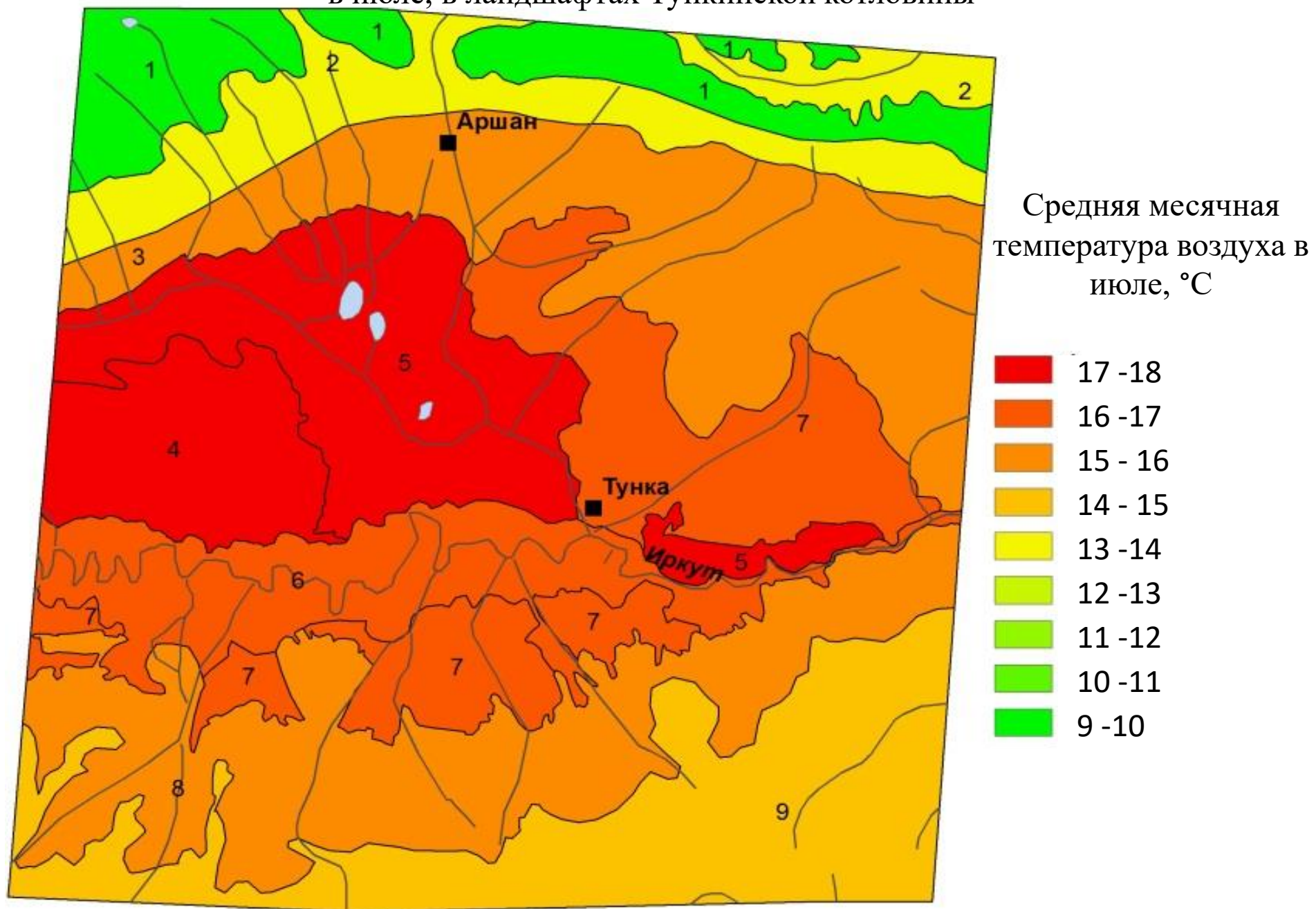


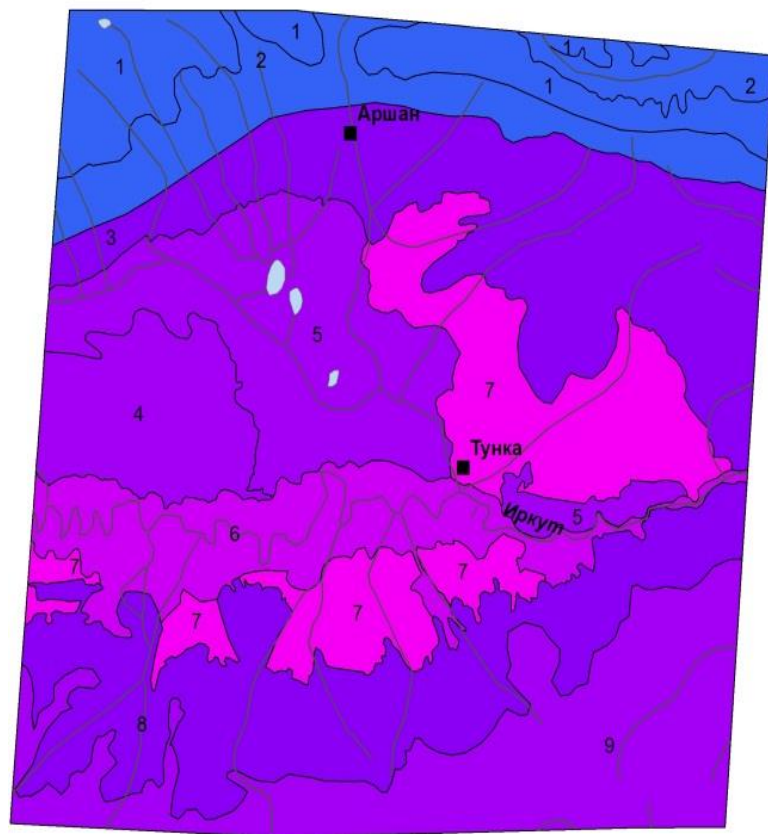
Декабрь

Пространственное распределение средней месячной температуры воздуха в январе, в ландшафтах Тункинской котловины

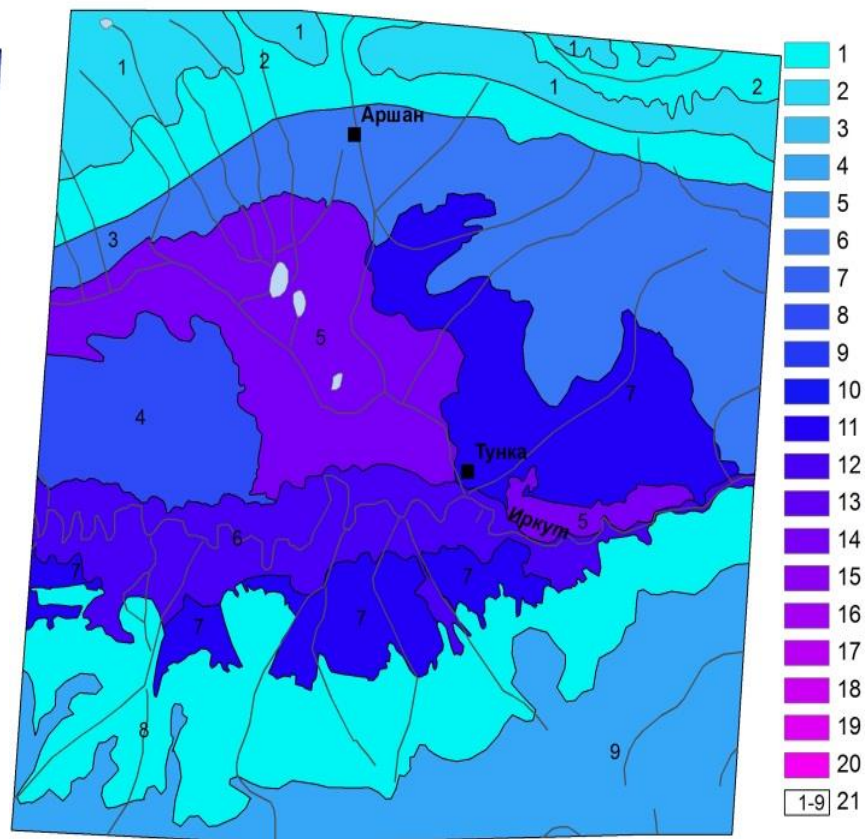


Пространственное распределение средней месячной температуры воздуха
в июле, в ландшафтах Тункинской котловины





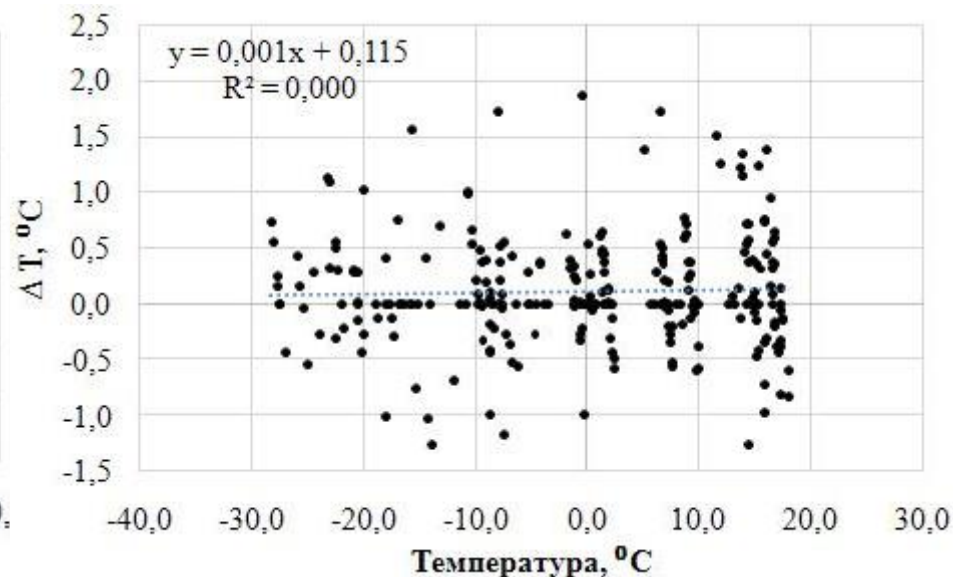
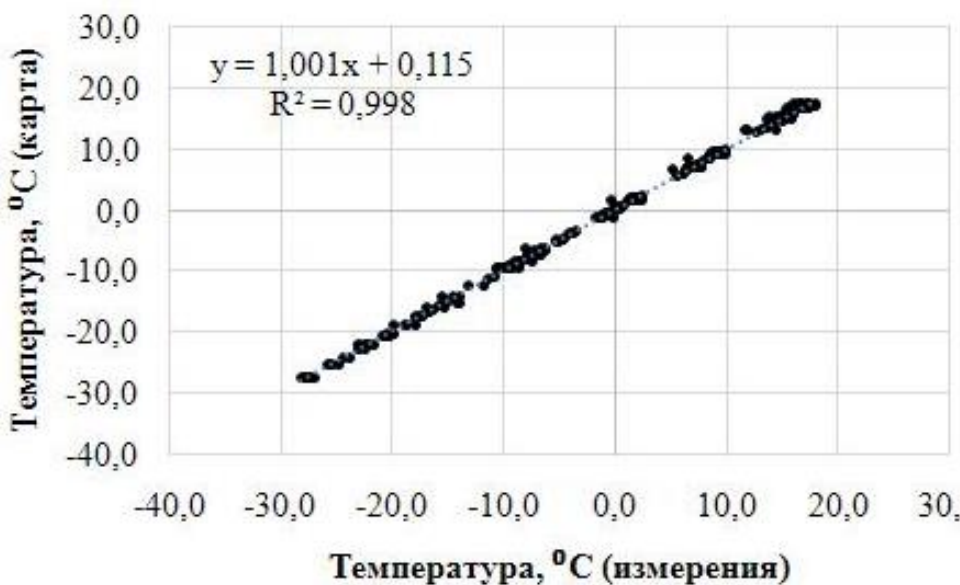
a



b

Spatial distribution of the daily amplitudes of air temperature in the different classes, a – July, б – January: 1 – 7-8; 2 - 8-9; 3 – 9-10; 4 – 10 - 11; 5 – 11 -12; 6 – 12 -13; 7 – 13 -14; 8 – 14 -15; 9 – 15 -16; 10 – 16 - 17; 11 – 17-18; 12 – 18 -19; 13 – 19 -20; 14 – 20 -21; 15 – 21-22; 16 – 22 -23; 17 – 23 -24; 18 – 24 -25; 19 – 25 -26; 20 – 26 -27; 21 – – boundaries of the facies classes

Ошибки при картографировании ландшафтно-интерпретационным методом



Зависимость средней месячной температуры воздуха, рассчитанной по данным термографа (ось X) и отображенной на картах (ось Y) для всех площадок в течение года

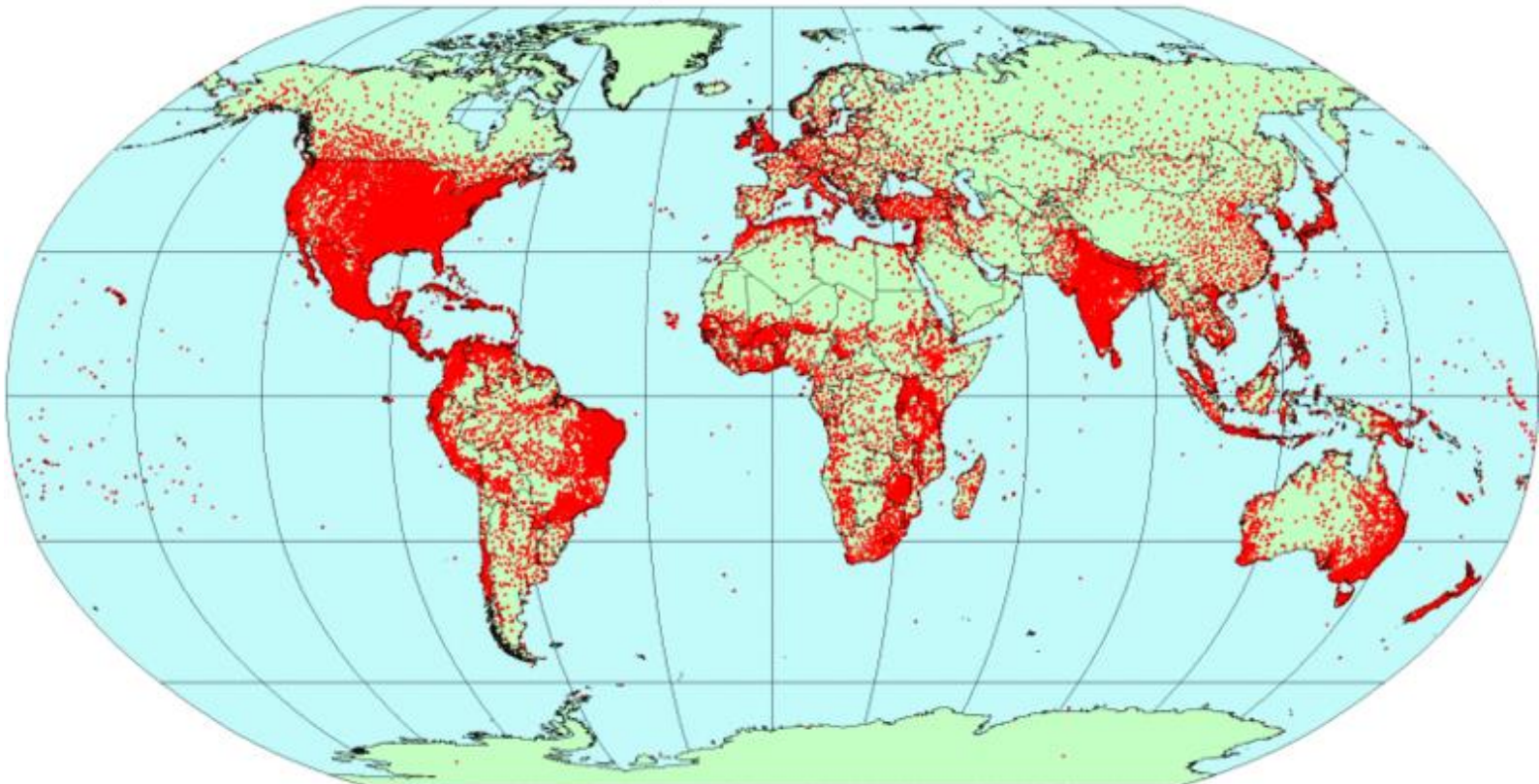
Средний модуль отклонений температуры воздуха, рассчитанной по данным измерений и отображенной на картах для всех площадок и месяцев - $0,3^\circ\text{C}$. В течение года величина ошибки изменяется от $-1,3^\circ\text{C}$ до $1,3^\circ\text{C}$, не зависит от сезона и соответственно от величины температуры. Разность измеренных средних месячных температур на отдельных площадках и температурных полей, представленных на карте, в течение года в 96,5 % случаев не превышает $\pm 1^\circ\text{C}$, а в 87 % случаев $\pm 0,5^\circ\text{C}$.

Разность измеренной и отображенной на картах средней месячной температуры воздуха

Василенко О.В., Истомина Е.А., Воропай Н.Н. Картографирование поля температуры воздуха Тункинской котловины на ландшафтной основе// География и природные ресурсы, №2, 2017. С. 182-189.

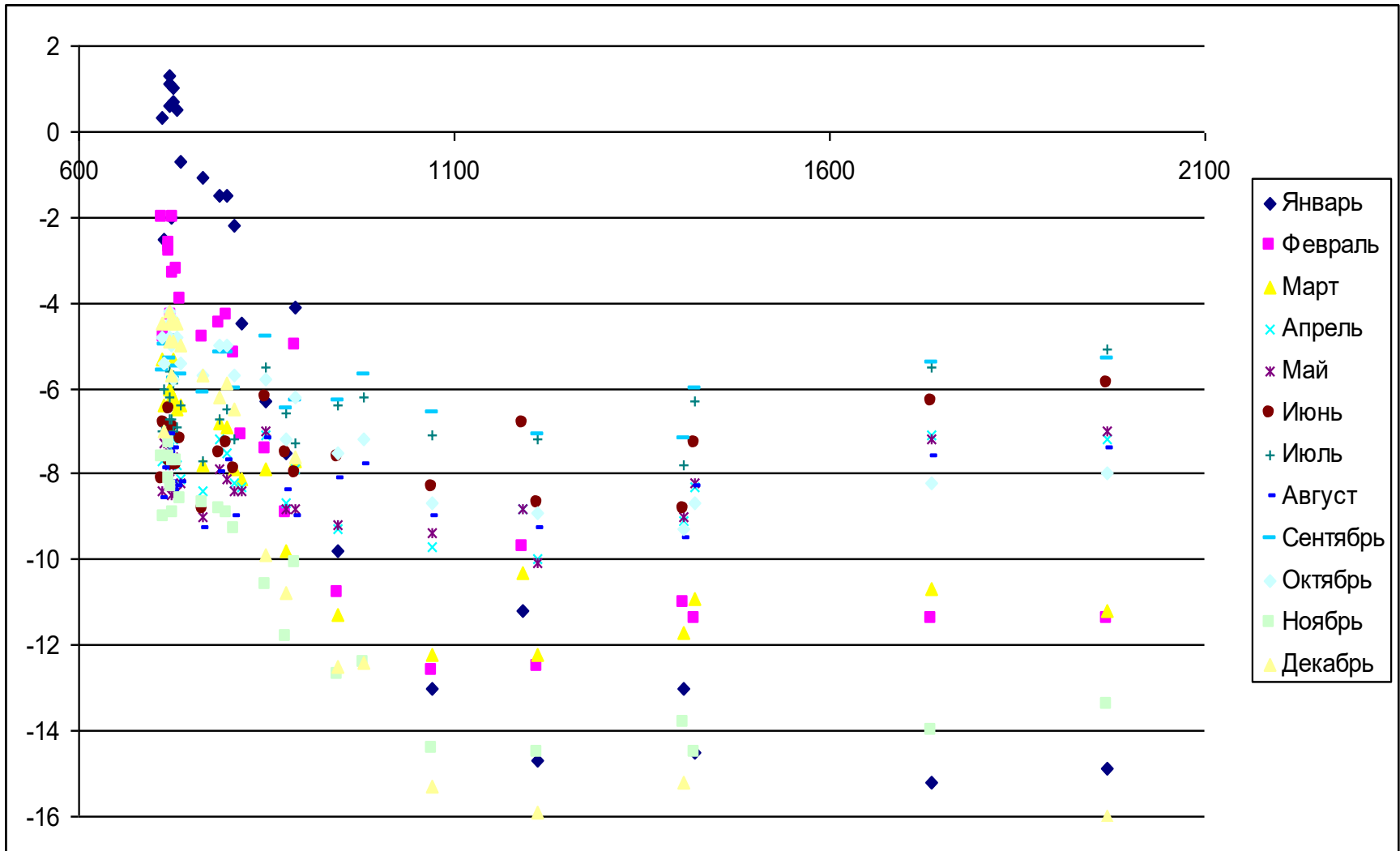
Математические модели расчета температуры воздуха, основанные на данных метеостанций и параметрах окружающей среды

WorldClim – набор глобальных климатических данных, включающих минимальную, максимальную и среднюю температуру, осадки, высоту н.у.м., набор из 19 производных биоклиматических характеристик (BioClim), а также данные о климатах прошлого и будущего. Данные ежемесячные и регулярносетевые.



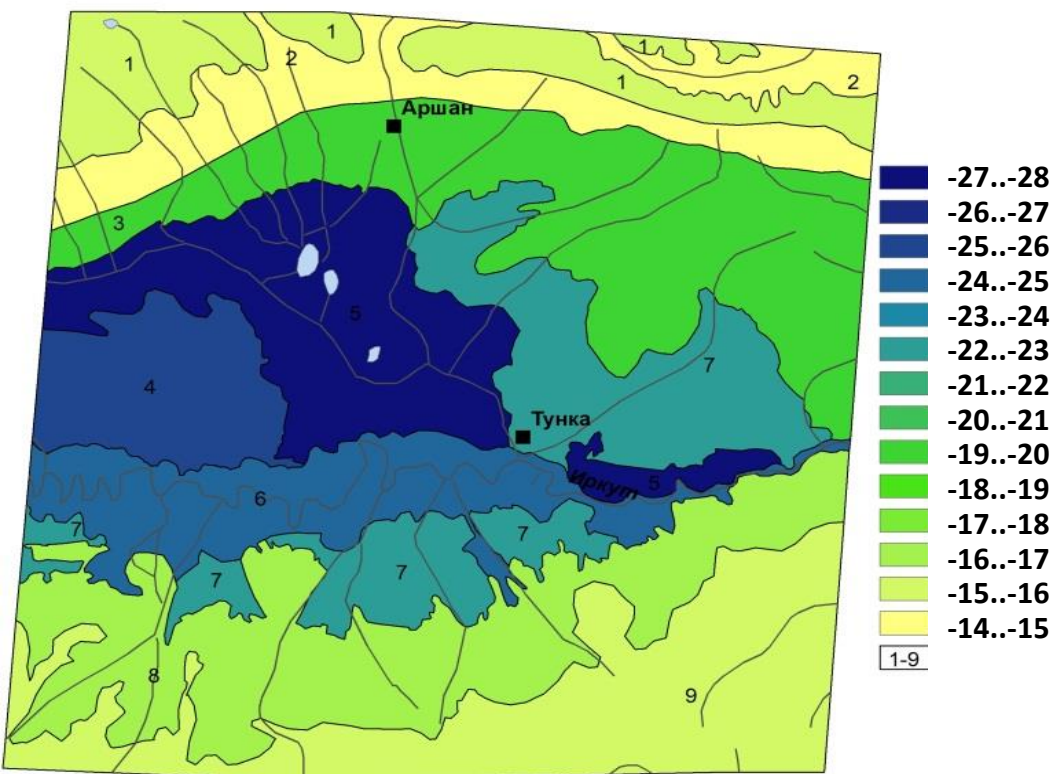
Ошибки данных WorldClim

$$dT = T_{WC} - T_{\text{термохрон}}$$

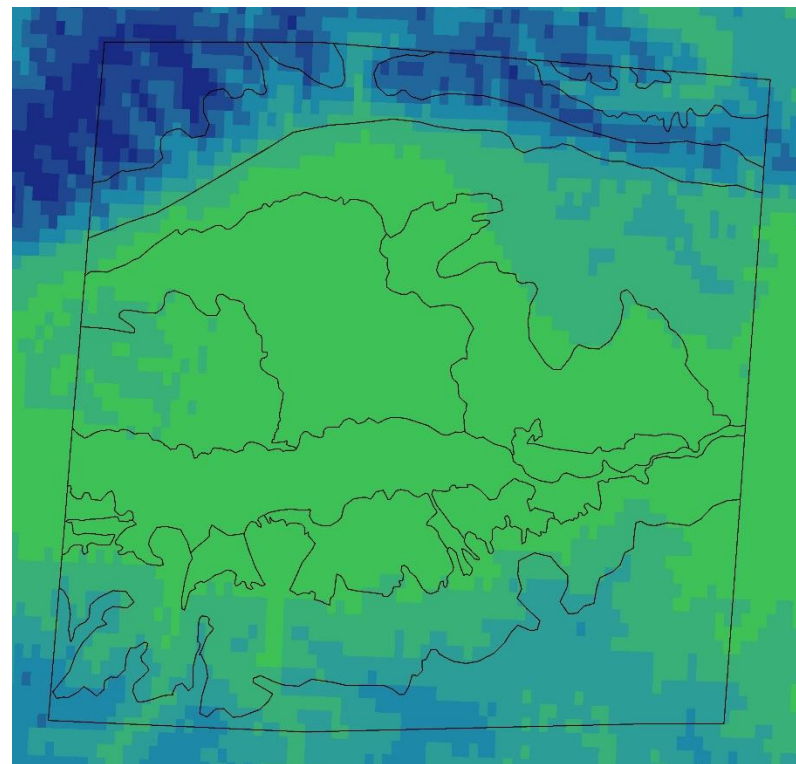


Ошибки данных WorldClim

Средняя температура воздуха января 2013г. по данным термохронов и ландшафтной карты



Средняя многолетняя температура воздуха января по данным WorldClim



Выводы

- Наибольшие ошибки содержат результаты картографирования поля температуры воздуха по модели Worldclim (ср. ошибка **7°**), затем по снимкам Landsat (**3°**), наименьшие – методом ландшафтно-интерпретационного картографирования (**0,3°**)
- Преимущество дистанционного метода – дает подробную пространственную картину распределения температуры поверхности Земли, недостаток – характеристика для определенного момента времени
- Преимущество ландшафтно-интерпретационного метода, совместно с датчиками-термохронами – позволяет картографировать среднемесячные и среднесуточные значения температуры, недостаток – не отображает неоднородности внутри ландшафтных выделов
- Недостаток данных Wordclim – не позволяют проводить исследования на локально-региональном уровне