



**Институт географии
им. В.Б. Сочавы СО РАН**

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
в честь 100-летия Российской императорской
и Российской советской географической школы
03-11 ИЮЛЯ 2018 ГОДА, ТОМСК, РОССИЯ

**ENV
IRO
MIS
2018**

JULY 03-11, 2018, TOMSK, RUSSIA
INTERNATIONAL CONFERENCE
in the City of the 100th Anniversary of the
Russian Geographical Society

Современная пространственно временная динамика снежного покрова Прибайкалья на основе дистанционных и наземных данных

**Истомина Елена Александровна,
к.г.н., с.н.с. Института географии им. В.Б.
Сочавы СО РАН**

Охотина Арина Сергеевна

Актуальность

Снег является ключевым компонентом энергетического баланса Земли. Снежный покров способствует существенным изменениям радиационного и теплового баланса подстилающей поверхности по сравнению с открытой почвой, а даты установления и разрушения устойчивого снежного покрова показывают сезонную динамику снега.

В настоящее время активно развиваются методы дистанционной индикации снежного покрова и его характеристик, поэтому их верификация на основе наземных данных особенно актуальна. Дистанционное зондирование является мощным инструментом исследования снежного покрова, особенно в труднодоступных регионах, где контактные методы могут оказаться не только дорогостоящими, но и опасными.

Цель

Цель: исследование современной пространственно-временной динамики снежного покрова Прибайкалья на основе дистанционных данных *MODIS "snow cover"*, а также их верификация по данным метеостанций.

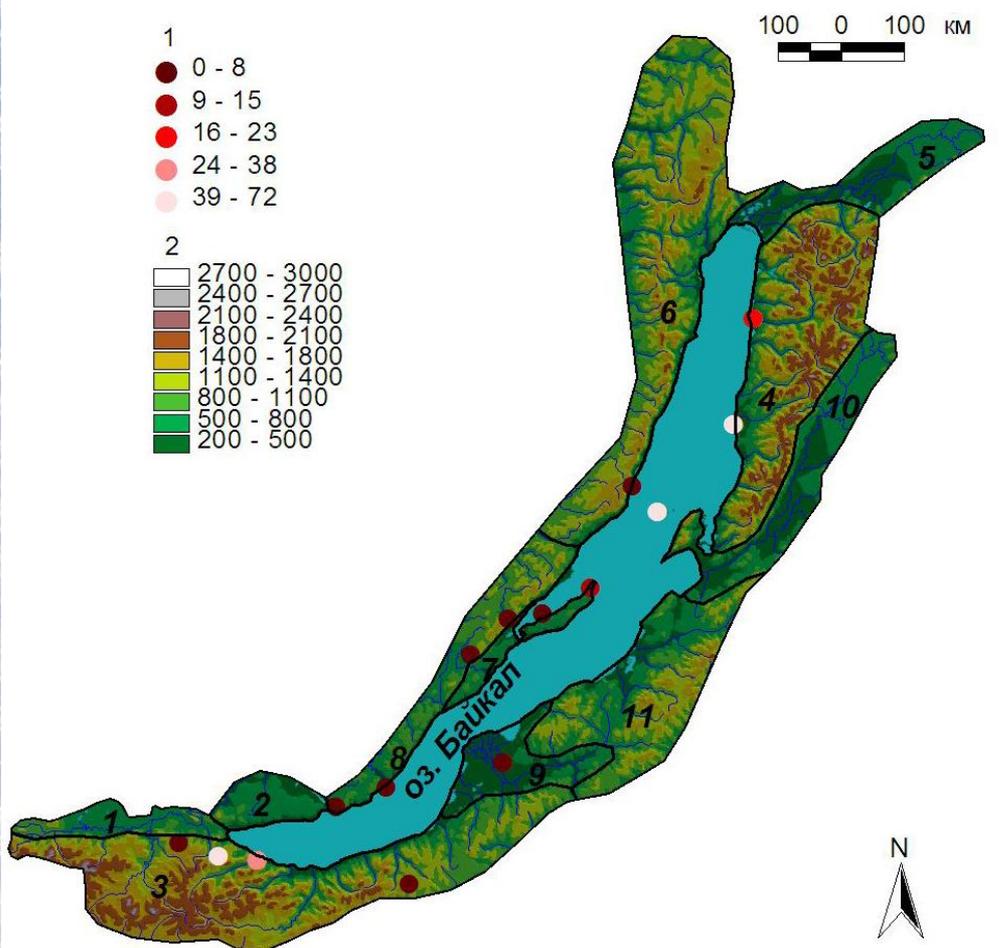
Задачи

1. *картографирование дат установления и разрушения устойчивого снежного покрова (УСП) Прибайкалья за 2000-2011 гг. по данным MODIS “snow cover”;*
2. *анализ пространственно-временной динамики снежного покрова Прибайкалья по полученным картам дат установления и разрушения УСП за 2000-2010 гг.;*
3. *верификация созданных карт дат установления и разрушения УСП Прибайкалья за 2000-2010 гг. с помощью данных метеорологических станций.*
4. *картографирование продолжительности залегания УСП за 2000-2011 гг.;*
5. *пространственно-временной анализ продолжительности залегания УСП;*
6. *оценка влияния факторов среды на продолжительность залегания УСП.*

Методы исследования

- Методы дистанционного зондирования Земли
- ГИС-технологии и методы пространственного анализа
- Картографический метод
- Сравнительно-географические методы
- Методы статистического анализа

Объект исследования



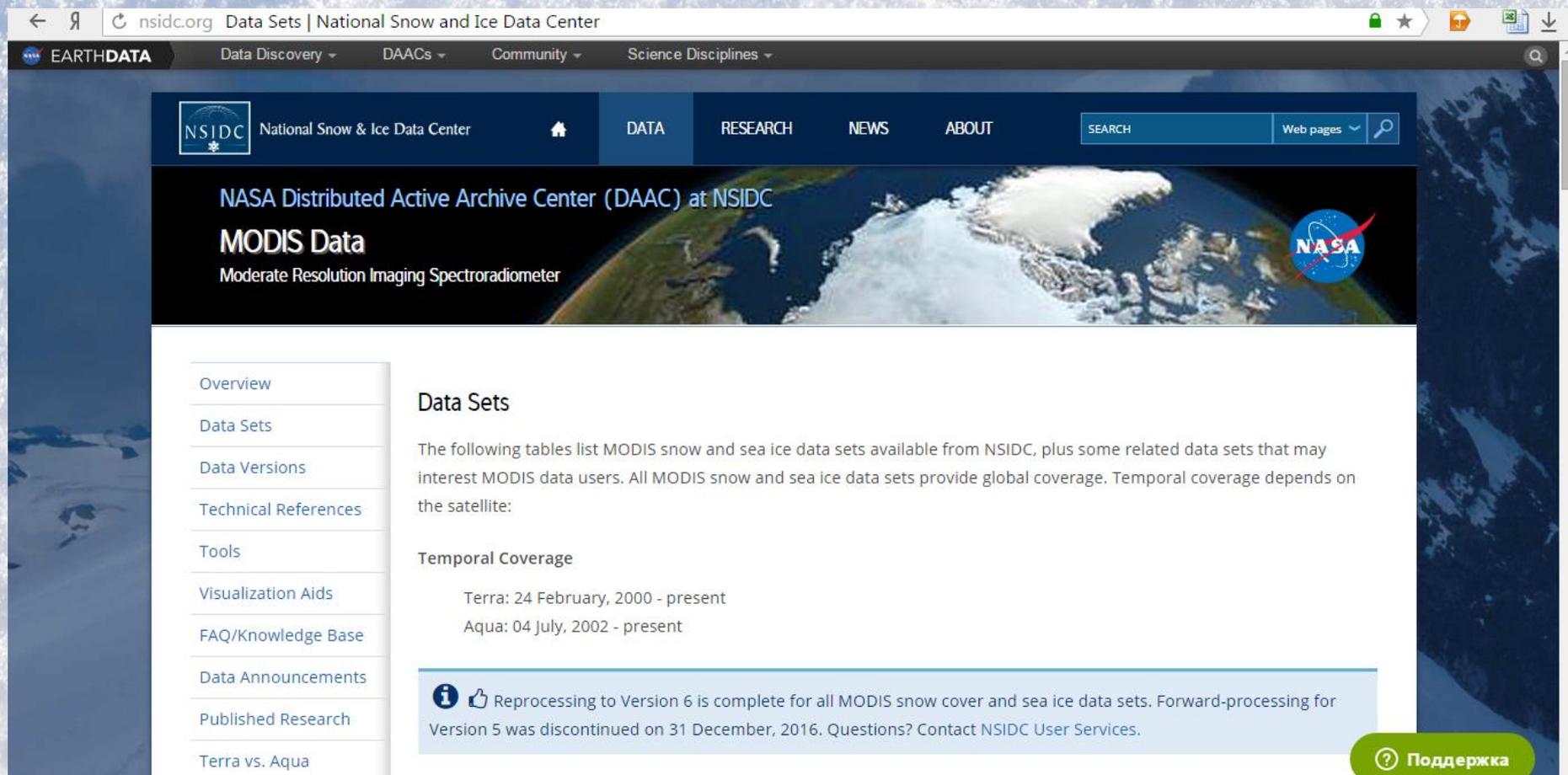
Условные обозначения:

- 1 - Гидрометеостанции и средняя толщина снега (см)
- 2 - Абсолютная высота, м над уровнем моря

Цифры на карте (ср./макс. высота):

1. Тункинская котловина (800 м)
2. Олхинское плато (650 м)
3. Хребет Хамар-Дабан (1350/2371 м)
4. Баргузинский хребет (1350/2840 м)
5. Верхнеангарская котловина (600 м)
6. Байкальский хребет (1100/2588 м)
7. Приольхонье (600 м)
8. Приморский хребет (900/1746 м)
9. Селенгинская низменность (500 м)
10. Баргузинская котловина (650 м)
11. Хребет Улан-Бургасы (950/2033 м)

Основной источник данных – сайт <https://nsidc.org> National Snow & Ice Data Center



The screenshot shows the National Snow and Ice Data Center (NSIDC) website. The browser address bar displays "nsidc.org Data Sets | National Snow and Ice Data Center". The website header includes the "EARTHDATA" logo and navigation menus for "Data Discovery", "DAACs", "Community", and "Science Disciplines". The main navigation bar features "DATA", "RESEARCH", "NEWS", and "ABOUT" tabs, along with a search bar and a "Web pages" dropdown. The main content area is titled "NASA Distributed Active Archive Center (DAAC) at NSIDC" and "MODIS Data Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer". A sidebar on the left lists various sections: Overview, Data Sets, Data Versions, Technical References, Tools, Visualization Aids, FAQ/Knowledge Base, Data Announcements, Published Research, and Terra vs. Aqua. The main content area under "Data Sets" explains that the following tables list MODIS snow and sea ice data sets available from NSIDC, plus some related data sets that may interest MODIS data users. It notes that all MODIS snow and sea ice data sets provide global coverage and that temporal coverage depends on the satellite. Under "Temporal Coverage", it lists "Terra: 24 February, 2000 - present" and "Aqua: 04 July, 2002 - present". A blue banner at the bottom of the main content area contains an information icon and text stating: "Reprocessing to Version 6 is complete for all MODIS snow cover and sea ice data sets. Forward-processing for Version 5 was discontinued on 31 December, 2016. Questions? Contact NSIDC User Services." A green button with a question mark icon and the text "Поддержка" (Support) is located in the bottom right corner of the page.

nsidc.org Data Sets | National Snow and Ice Data Center

EARTHDATA Data Discovery DAACs Community Science Disciplines

NSIDC National Snow & Ice Data Center DATA RESEARCH NEWS ABOUT SEARCH Web pages

NASA Distributed Active Archive Center (DAAC) at NSIDC
MODIS Data
Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

Overview
Data Sets
Data Versions
Technical References
Tools
Visualization Aids
FAQ/Knowledge Base
Data Announcements
Published Research
Terra vs. Aqua

Data Sets

The following tables list MODIS snow and sea ice data sets available from NSIDC, plus some related data sets that may interest MODIS data users. All MODIS snow and sea ice data sets provide global coverage. Temporal coverage depends on the satellite:

Temporal Coverage

Terra: 24 February, 2000 - present
Aqua: 04 July, 2002 - present

i **👍** Reprocessing to Version 6 is complete for all MODIS snow cover and sea ice data sets. Forward-processing for Version 5 was discontinued on 31 December, 2016. Questions? Contact NSIDC User Services.

? Поддержка

Исходные данные

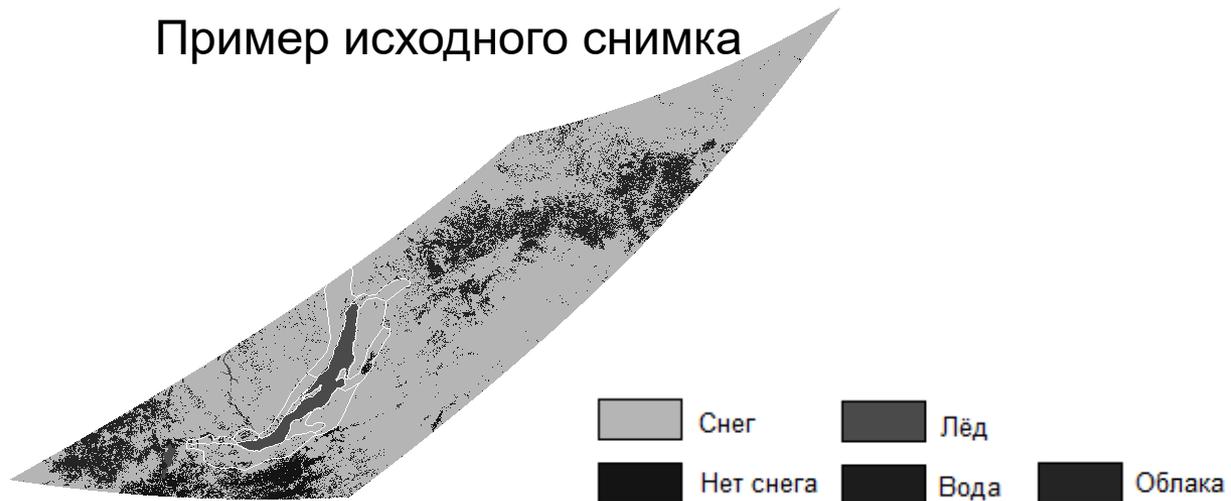
MODIS/Terra Snow Cover 8-Day L3 Global 500m Grid, Version 6

- Временное разрешение - 8 дней
- Пространственное разрешение – 500 метров

Использовано в работе:

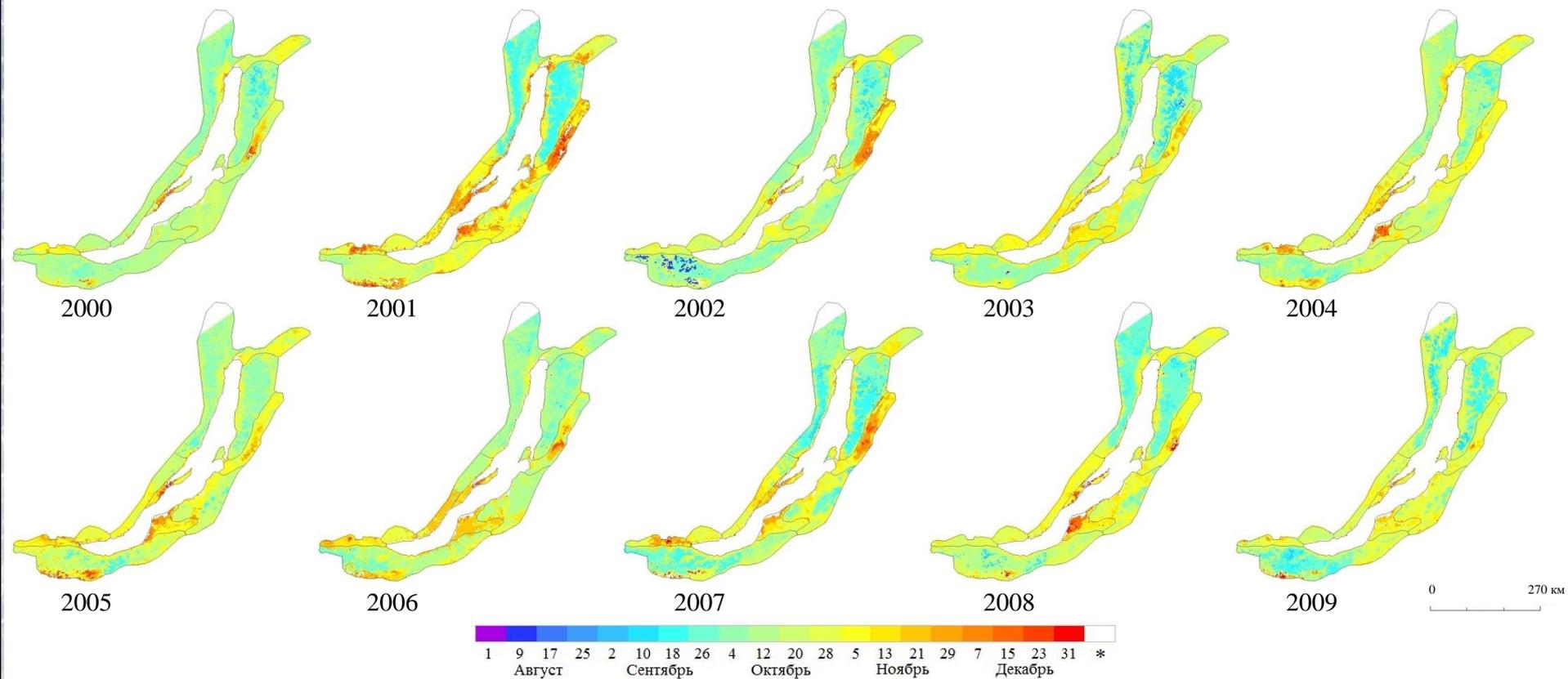
- ✓ За август-декабрь 2000-2010гг. - 220 снимков.
- ✓ За февраль-май 2001-2010 гг. - 150 снимков.
- ✓ За январь-июль 2011 г. -26 снимков.

Пример исходного снимка



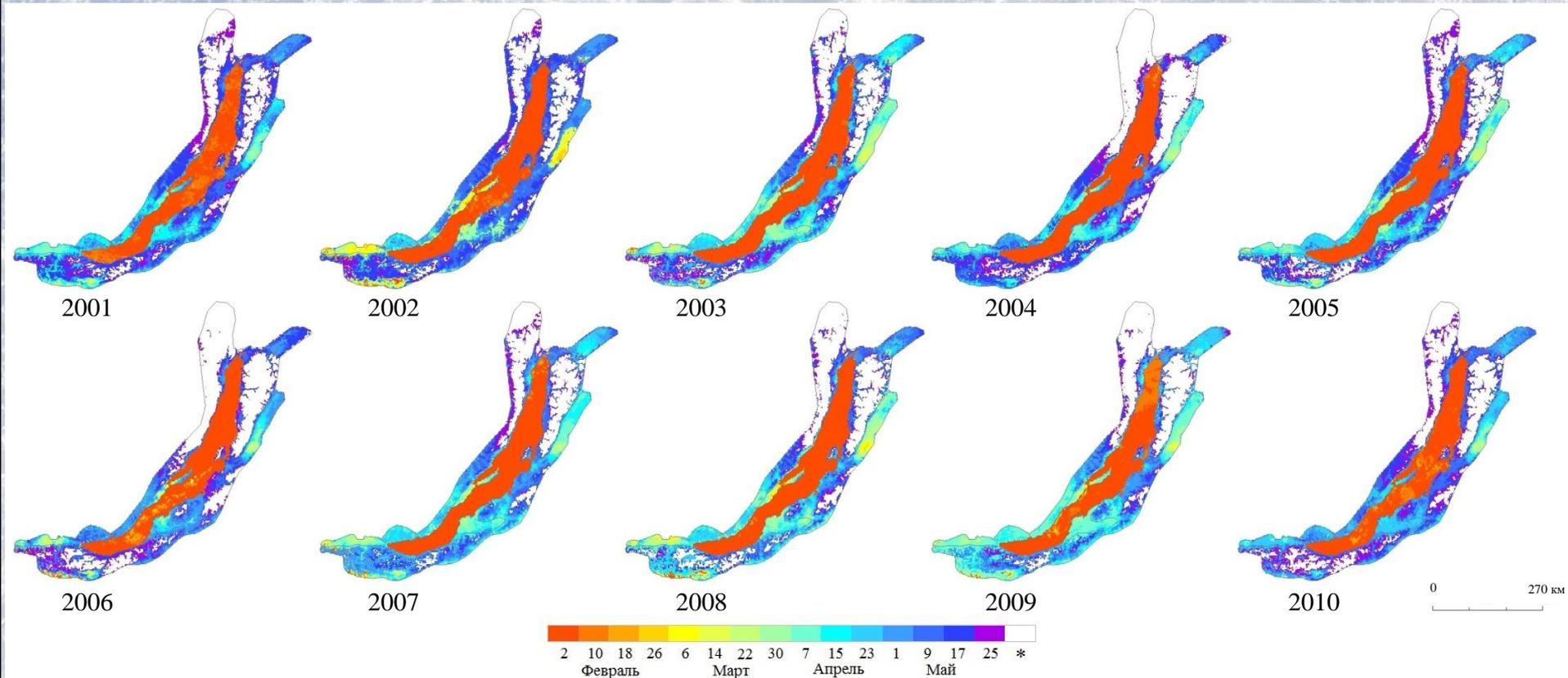
Картографирование
дат установления и
разрушения УСП
Прибайкалья
в *2000-2010* гг.

Даты установления устойчивого снежного покрова Прибайкалья в 2000-2009 гг.



* - Снежный покров не установился до 31 декабря.

Даты разрушения устойчивого снежного покрова Прибайкалья в 2001-2010 гг.

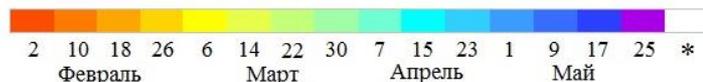
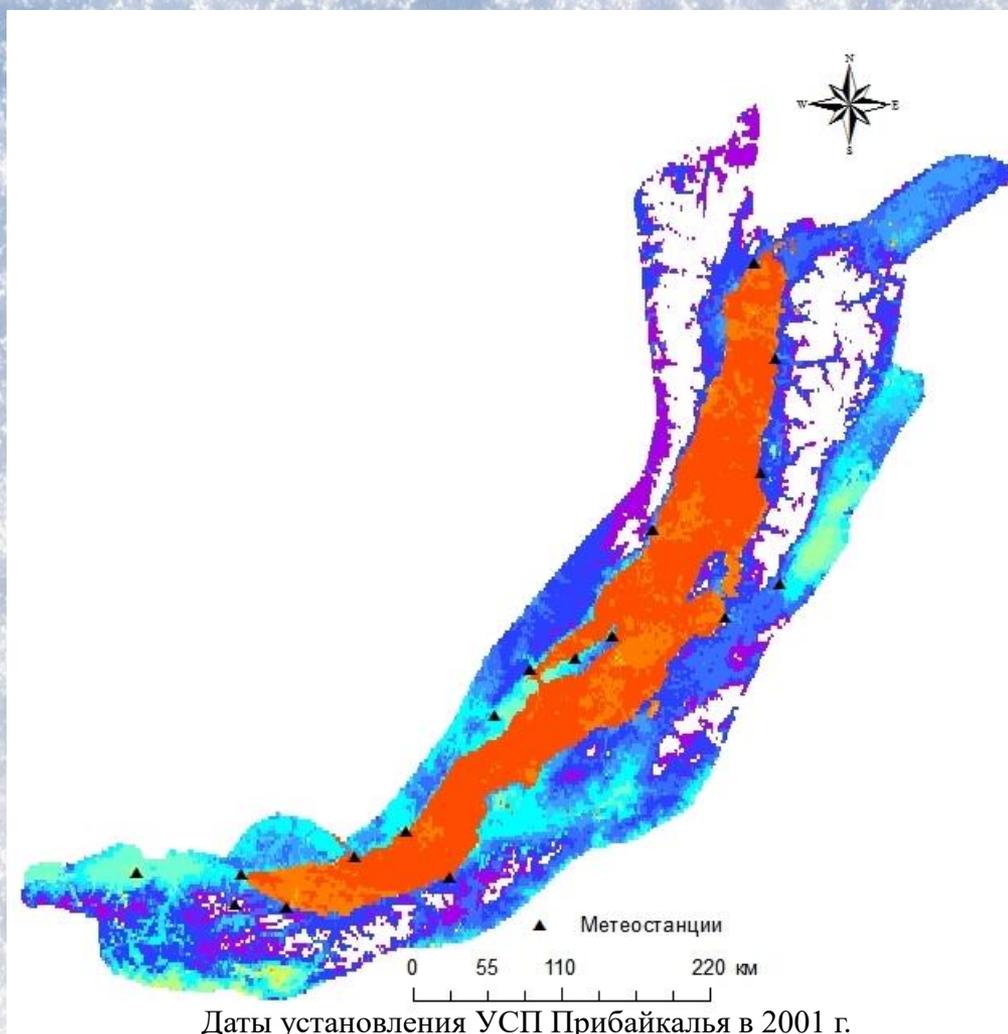


* - Разрушение снежного покрова после 1 июня.



Верификация
созданных карт с
помощью данных
метеорологических
станций

Расположение метеостанций



№	Метеорологическая станция	Широта, с. ш.	Долгота, в. д.
1	Байкальск	51,55	104,00
2	Баргузинский заповедник	54,33	109,53
3	Большое Голоустное	52,03	105,42
4	Еланцы	52,92	106,37
5	Исток Ангары	51,83	104,90
6	Култук	51,70	103,70
7	Сарма	53,15	106,80
8	Солнечная	54,03	108,27
9	Томпа	55,12	109,75
10	Узур	53,35	107,73
11	Хамар-Дабан	51,53	103,60
12	Хужир	53,20	107,30
13	Бабушкин	51,72	105,85
14	Баргузин	53,60	109,60
15	Нижеангарск	55,78	109,55
16	Тунка	51,73	102,53
17	Усть-Баргузин	53,42	109,02

Модули разностей между датами установления УСП по полученным картам и по данным метеостанций

№	Метеостанции	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Среднее по станции
1	Байкальск	7	1	12	4	5	8	7	14	7	4	7
2	Баргузинский запов-к	3	5	2	15	2	0	6	7	2	27	7
3	Большое Голоустное	3	1	1	2	1	5	21	2	4	1	4
4	Еланцы	1	5	0	5	33	6	2	10	26	9	10
5	Исток Ангары	25	25	5	4	34	2	20	14	2	7	14
6	Култук	16	23	1	4	6	8	21	18	9	1	11
7	Сарма	-	5	28	5	29	6	1	35	1	6	13
8	Солнечная	1	3	7	36	26	5	9	17	-	6	12
9	Томпа	11	13	10	16	26	34	10	1	3	11	14
10	Узур	17	13	17	22	20	4	6	3	25	17	14
11	Хамар-Дабан	2	1	4	4	0	9	6	8	5	1	4
12	Хужир	24	5	14	11	4	15	1	3	8	5	9
13	Бабушкин	7	6	0	12	1	9	9	2	2	3	5
14	Баргузин	-	13	8	8	1	0	9	7	8	3	6
15	Нижнеангарск	1	7	3	8	26	3	5	0	6	11	7
16	Тунка	6	1	1	4	2	8	1	11	6	4	4
17	Усть-Баргузин	1	4	5	18	7	2	6	7	6	2	6
	Среднее по годам	8	8	7	10	13	7	8	9	8	7	9

Модули разностей между датами разрушения УСП по полученным картам и по данным метеостанций

№	Метеостанции	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Среднее по станции
1	Байкальск	15	11	4	16	5	8	11	8	2	0	8
2	Баргузинский запов-к	5	2	0	10	6	13	5	19	13	1	7
3	Большое Голоустное	4	1	2	2	2	35	1	2	2	5	6
4	Еланцы	5	6	7	2	2	17	4	21	4	5	7
5	Исток Ангары	23	17	20	24	13	29	12	4	4	16	16
6	Култук	2	27	16	14	27	40	14	23	10	24	20
7	Сарма	7	1	0	0	9	4	15	2	7	12	6
8	Солнечная	7	13	21	34	27	-	17	-	-	-	20
9	Томпа	16	7	5	16	21	7	7	7	10	2	10
10	Узур	2	15	1	3	33	47	31	23	28	10	19
11	Хамар-Дабан	0	7	3	0	0	0	6	5	5	0	3
12	Хужир	11	5	9	17	7	19	26	13	4	27	14
13	Бабушкин	22	19	17	5	5	10	12	1	9	5	11
14	Баргузин	3	12	1	3	3	6	6	2	10	10	6
15	Нижнеангарск	0	2	5	17	14	21	2	6	3	2	7
16	Тунка	0	8	5	13	6	0	4	9	1	4	5
17	Усть-Баргузин	16	17	18	13	1	3	9	13	9	1	10
	Среднее по годам	8	10	8	11	11	16	11	10	8	8	10

Результаты верификации

Даты установления УСП

Всего - 167 значений (100%)

- 0-4 дня - 38% отклонений
- 5-8 дней - 29% отклонений
- 9-16 дней - 16% отклонений
- >16 дней - 17% отклонений.

Вполне удовлетворительные отклонения (до 8 дней) – 67%

Допустимые отклонения (до 16 дней) - 83%

Даты разрушения УСП

Всего - 167 значений (100%)

- 0-4 дня - 34% отклонений
- 5-8 дней - 21% отклонений
- 9-16 дней - 24% отклонений
- >16 дней - 21% отклонений.

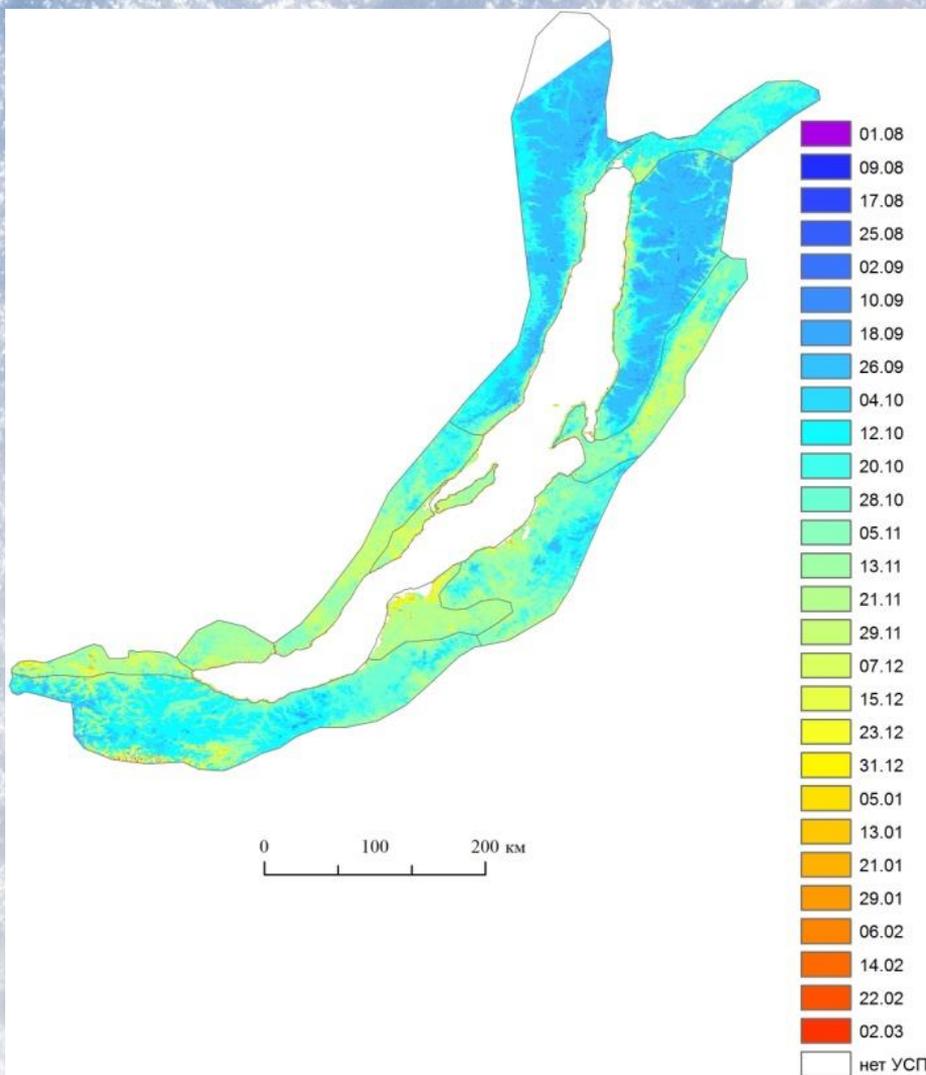
Вполне удовлетворительные отклонения (до 8 дней) – 55%

Допустимые отклонения (до 16 дней) - 79%

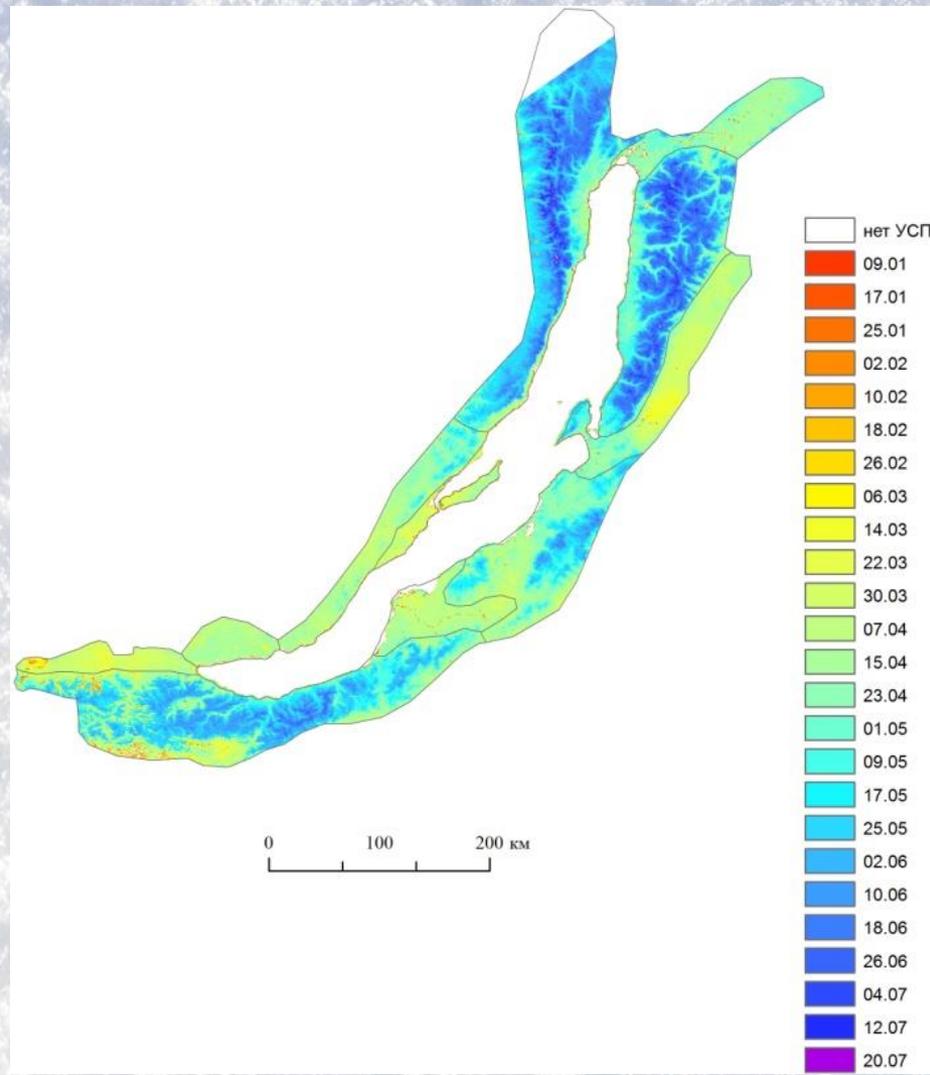


Корректировка
методики
и создание карт
за *2010-2011* гг.

Даты установления УСП в 2010 г



Даты разрушения УСП в 2011 г



Продолжительность
залегания устойчивого
снежного покрова
Прибайкалья
в *2000-2011* гг.

Продолжительность залегания устойчивого снежного покрова Прибайкалья

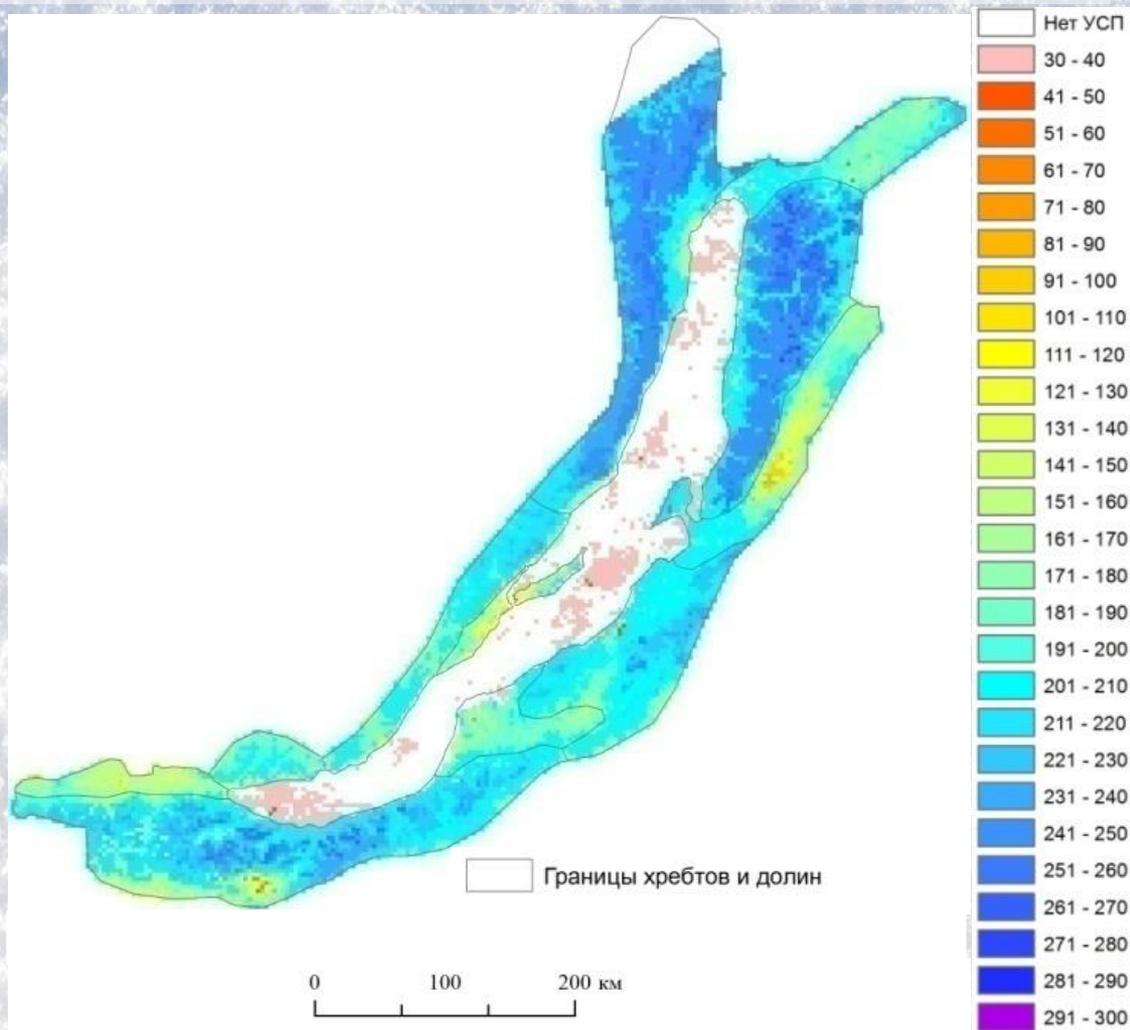
$$П = 365 - У + Р$$

П - продолжительность (дни)

У – дата установления УСП в числовом формате (день года от 213 до 365)

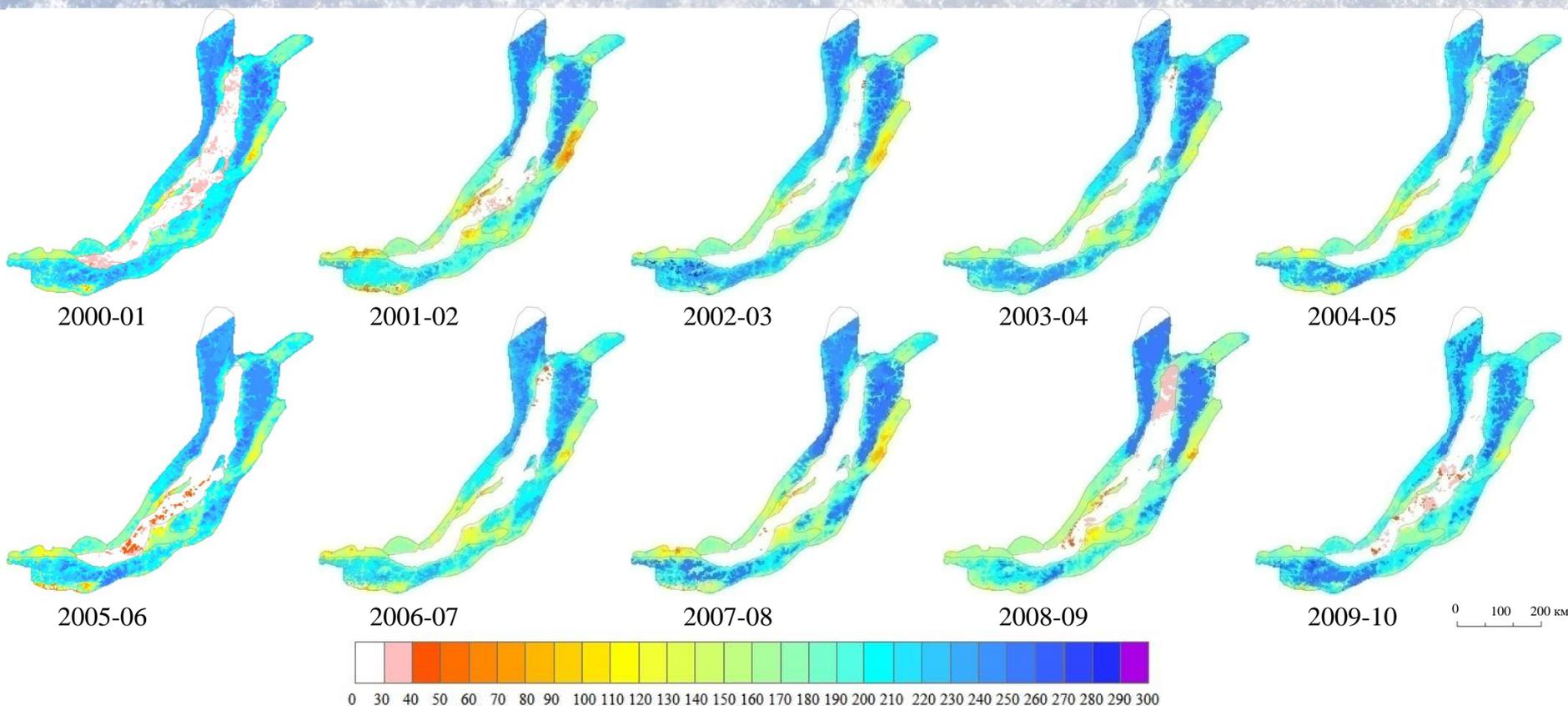
“365 – У” - количество дней с даты установления УСП по 31 декабря,

Р – дата разрушения УСП в числовом формате (день года от 33 до 145); количество дней с 1 января по дату разрушения УСП).

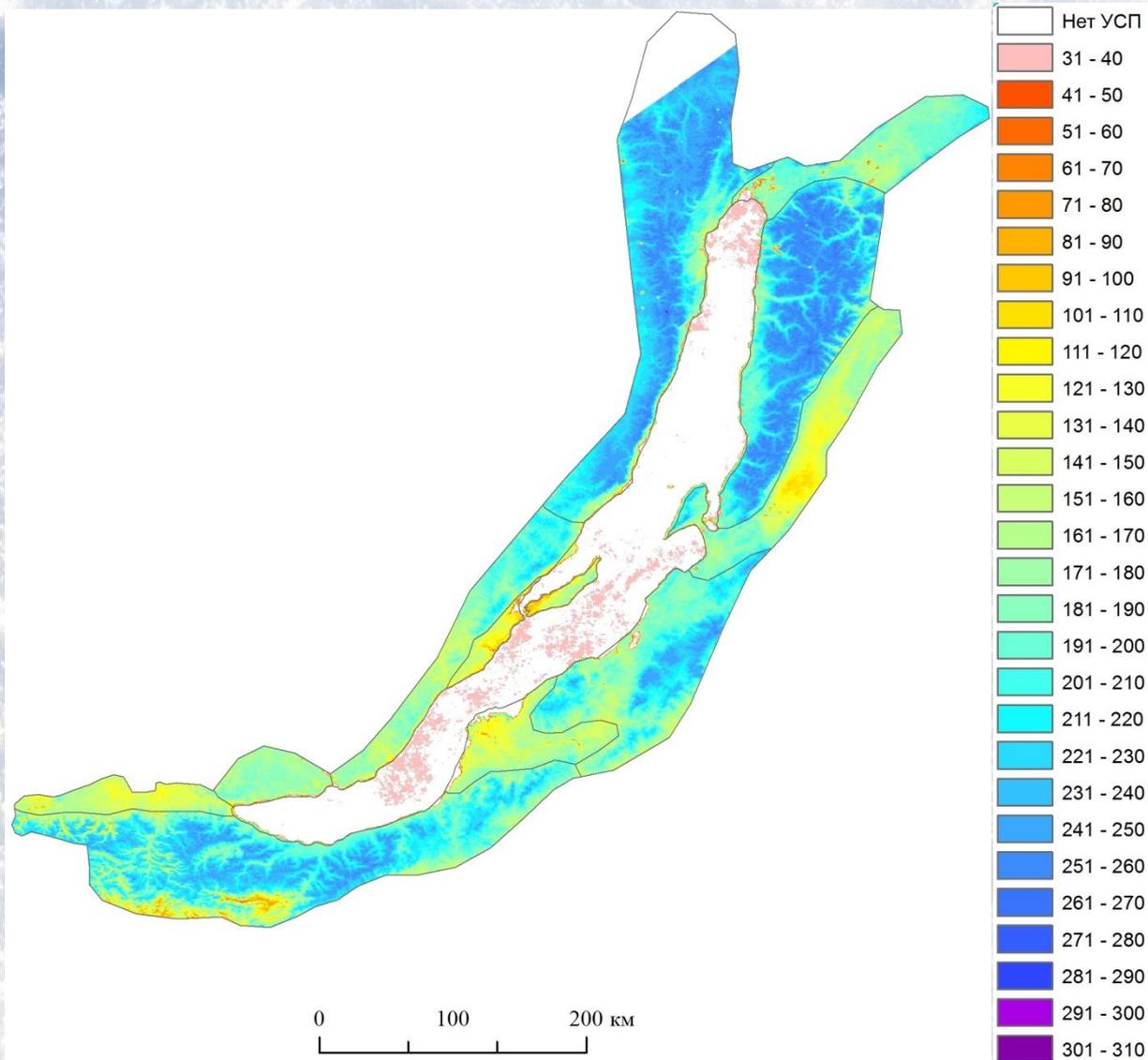


Пример карты продолжительности (в днях) залегания УСП (2000-2001 гг.)

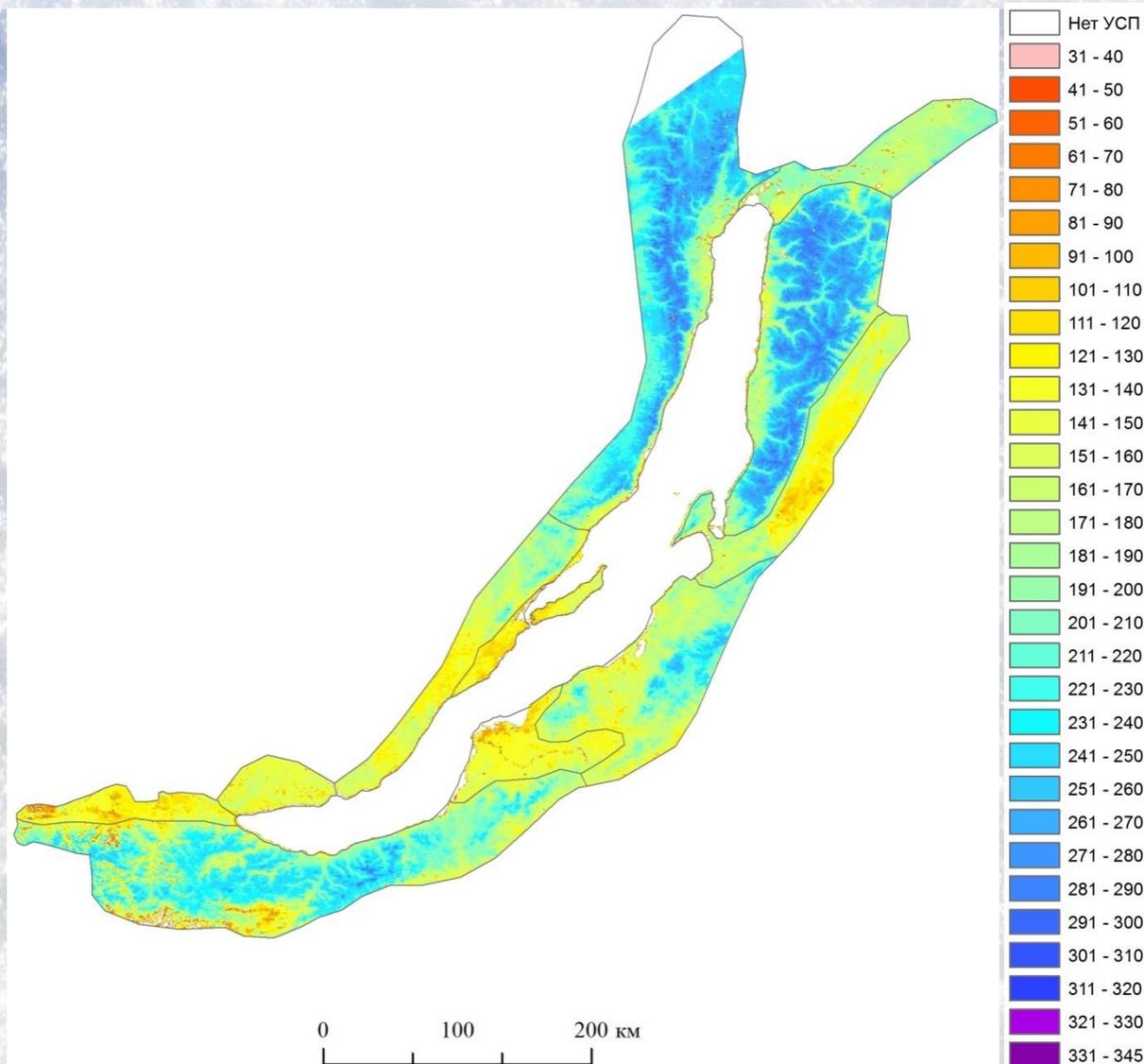
Продолжительность (в днях) залегания устойчивого снежного покрова Прибайкалья в 2000-2010 гг.



Средняя продолжительность (в днях) залегания УСП Прибайкалья за зимы 2000-2010 гг.



Продолжительность (в днях) залегания УСП Прибайкалья в 2010-2011 гг.



**Пространственно-
временной анализ
продолжительности
залегания устойчивого
снежного покрова**

Средняя по территории продолжительность (в днях) залегания устойчивого снежного покрова

Объект	Зимы, гг.										средн ее
	2000- 2001	2001- 2002	2002- 2003	2003- 2004	2004- 2005	2005- 2006	2006- 2007	2007- 2008	2008- 2009	2009- 2010	
Селенгинская низменность	167	133	145	143	143	144	132	137	129	154	143
Верхнеангарская котловина	188	178	177	199	176	190	189	181	174	186	184
Приольхонье	148	92	127	134	123	128	122	114	116	150	125
Баргузинская долина	178	142	144	164	161	174	167	143	158	176	161
Тункинская долина	163	124	156	162	155	150	138	133	160	174	151
Олхинское плато	187	167	173	175	177	177	164	164	160	186	173
Приморский хребет	199	168	182	188	177	192	175	173	166	193	181
хр. Улан-Бургасы	205	186	196	200	198	202	193	193	186	196	195
хр. Хамар-Дабан	210	188	213	211	207	201	190	202	190	218	203
Байкальский хребет	228	228	226	232	220	230	225	232	234	226	228
Баргузинский хребет	231	233	227	239	226	229	229	233	231	229	231
Среднее за год	191	167	179	186	178	183	175	173	173	190	

Доля территории с различной средней многолетней (2000-2010 гг.) продолжительностью залегания УСП

УСП*	СН	ВК	ПО	БД	ТД	ОП	ПХ	УБ	ХБ	Байк.Х	Барг.Х
нет УСП	7,3	0,6	1,4	0,1	0,0	1,2	0,3	0,9	0,1	0,2	0,2
до 2 мес.	1,4	1,7	3,4	0,3	0,0	1,9	0,5	0,6	0,1	0,4	0,4
2-3 мес.	0,9	0,7	4,9	0,2	0,1	0,7	0,4	0,2	0,7	0,2	0,2
3-4 мес.	2,3	0,9	22,3	6,2	2,3	0,8	0,8	0,2	2,3	0,3	0,1
4-5 мес.	28,0	1,6	39,1	27,0	49,1	3,5	5,9	1,4	4,6	0,6	0,4
5-6 мес.	52,9	24,2	27,2	40,7	44,9	59,6	38,4	20,9	13,8	3,7	3,3
6-7 мес.	7,1	66,5	1,8	23,5	3,6	32,3	45,0	47,9	34,3	12,9	19,2
7-8 мес.	0,0	3,6	0,0	1,9	0,1	0,0	8,8	23,4	36,4	44,8	26,9
8-9 мес.	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	4,6	7,8	37,0	49,3
9-10 мес.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

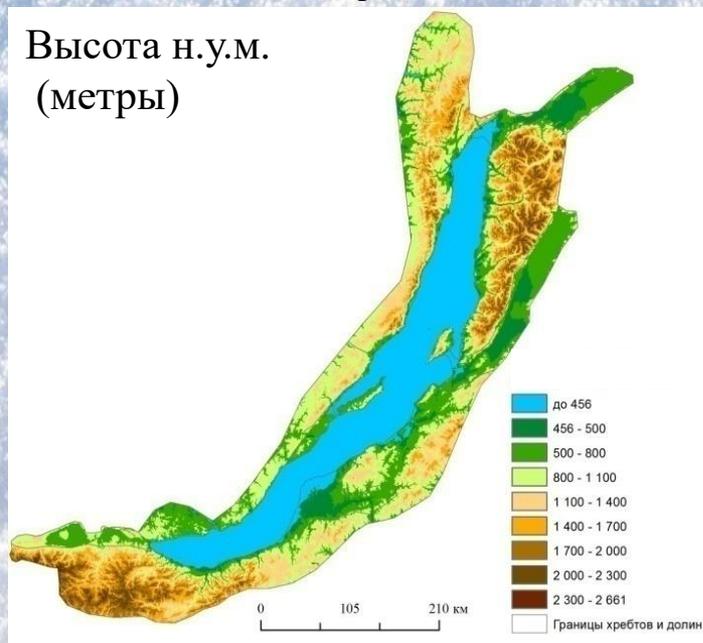
* УСП – устойчивый снежный покров ОП – Олхинское плато
 СН – Селенгинская низменность ПХ – Приморский хребет
 ВК – Верхнеангарская котловина УБ – хр. Улан-Бургасы
 ПО – Приольхонье ХБ – хр. Хамар-Дабан
 БД – Баргузинская долина Байк.Х – Байкальский хребет
 ТД – Тункинская долина Барг.Х – Баргузинский хребет



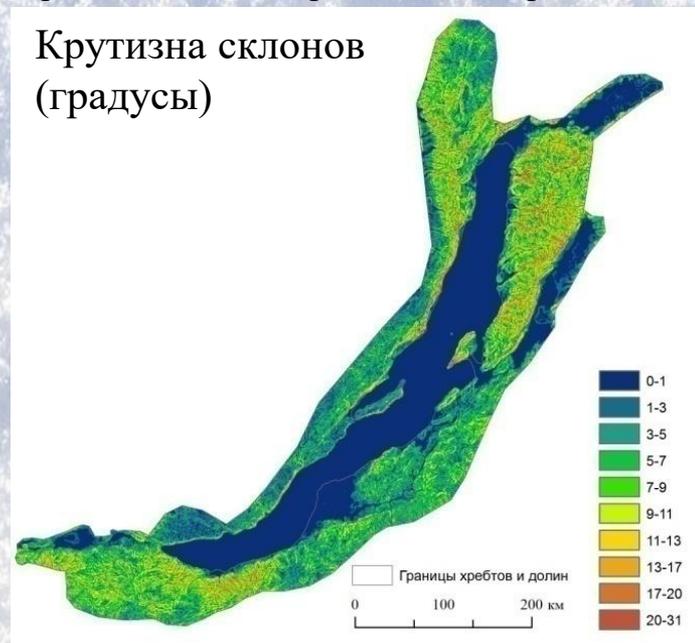
**Влияние факторов
среды на
продолжительность
залегания устойчивого
снежного покрова**

Рассматриваемые факторы среды

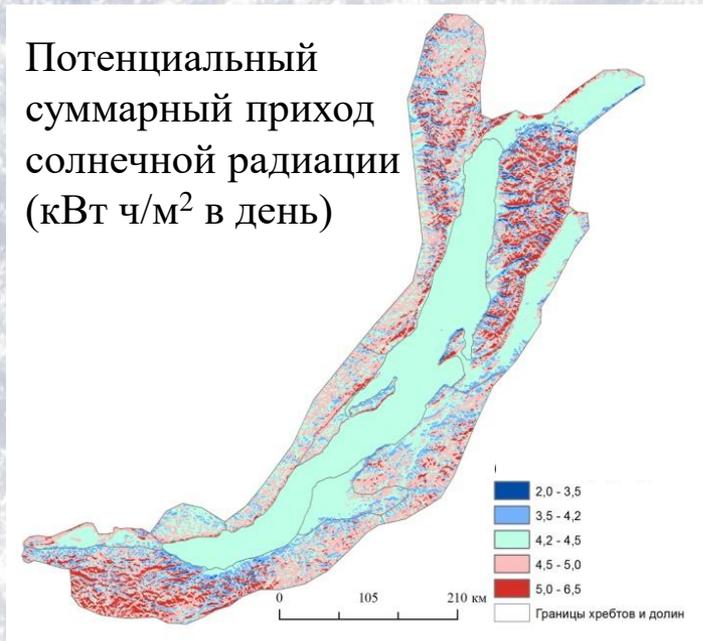
Высота н.у.м.
(метры)



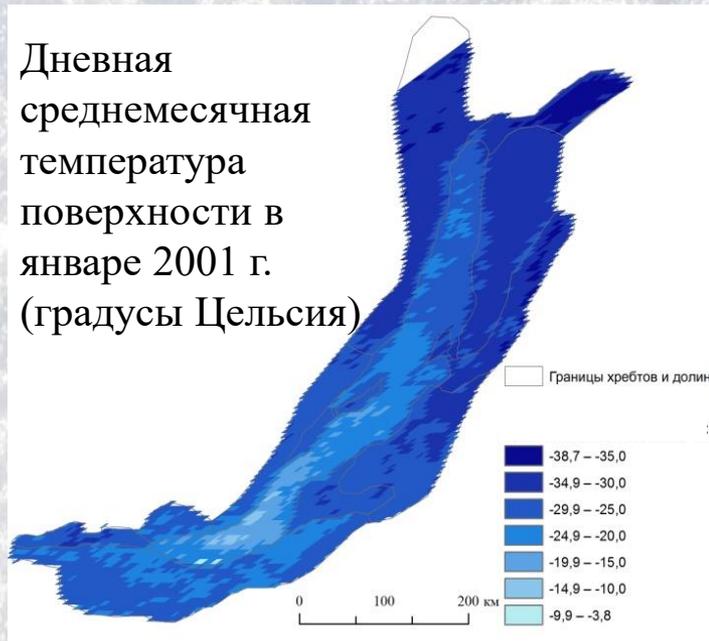
Крутизна склонов
(градусы)



Потенциальный
суммарный приход
солнечной радиации
(кВт ч/м² в день)



Дневная
среднемесячная
температура
поверхности в
январе 2001 г.
(градусы Цельсия)



Зависимость продолжительности залегания устойчивого снежного покрова от факторов среды

Объект	Парная корреляция				Множественная регрессия	Коэффициенты для уравнения регрессии				
	alt	slope	ins	t		Intercept	alt	slope	ins	t
Прибайкалье (в целом)	0,73	0,63	0,22	-0,56	0,83	1557,2	0,083	4,465	-14,578	-0,114
Баргузинский хребет	0,77	0,07	0,00	-0,42	0,78	346,5	0,048	0,140	1,013	-0,015
Байкальский хребет	0,68	0,08	0,01	-0,60	0,79	1568,1	0,048	0,050	-7,216	-0,110
Хамар-Дабан	0,29	-0,03	-0,06	0,14	0,29	271,5	0,025	0,097	0,928	-0,009
Улан-Бургасы	0,70	0,27	0,13	-0,34	0,74	1118,2	0,071	0,739	-10,534	-0,075
Приморский хребет	0,80	-0,15	-0,05	-0,55	0,84	679,1	0,097	-0,595	-16,202	-0,041
Олхинское плато	0,44	-0,36	-0,31	-0,39	0,72	2239,7	0,110	-1,754	-36,431	-0,156
Тункинская долина	0,31	0,19	-0,29	0,35	0,54	-208,8	0,031	-0,195	-24,356	0,035
Баргузинская долина	0,59	0,48	0,06	0,53	0,67	-642,7	0,071	-0,012	-15,047	0,067
Приольхонье	0,74	0,18	-0,01	-0,05	0,78	571,7	0,173	1,217	-31,990	-0,033
Верхнеангарская котловина	0,38	0,27	0,01	-0,01	0,44	943,1	0,084	0,516	-13,663	-0,061
Селенгинская низменность	0,46	0,45	-0,06	-0,16	0,59	2200,5	0,118	4,437	-21,414	-0,162

Шкала Чеддока:

0 - 0,3 – связь очень слабая,

>0,3-0,5 – слабая,

>0,5-0,7 – средняя,

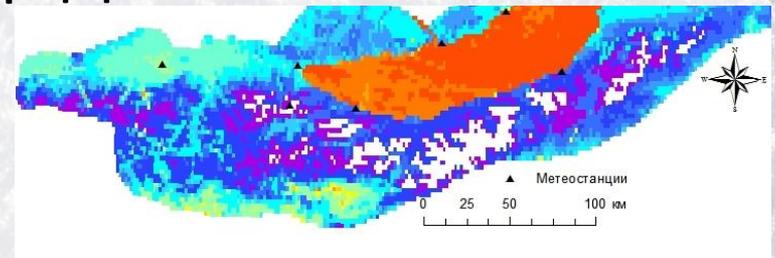
>0,7-0,9 – высокая,

>0,9-1 – очень высокая.

- alt - высота местности над уровнем моря
- slope - крутизна склонов
- ins - потенциальный суммарный приход солнечной радиации
- t - температура поверхности
- Intercept – свободный член для уравнения регрессии

Возможности практического применения карт

Полученные в работе данные и карты используются для анализа влияния снежного покрова на формирование рефугиумов неморальной флоры хр. Хамар-Дабан.

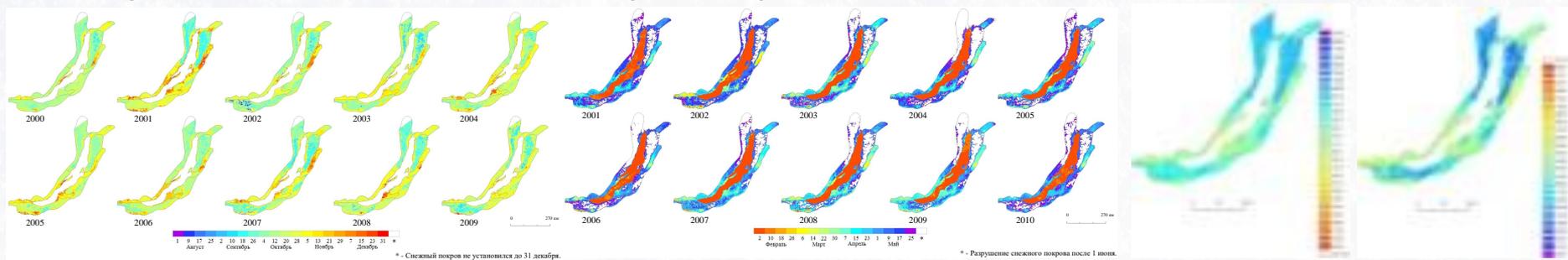


Могут быть применены:

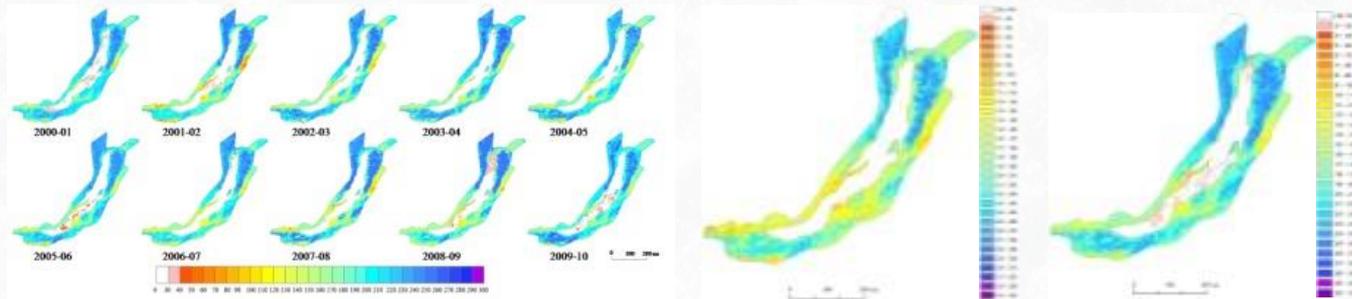
- при картографировании ландшафтов,
- при исследовании «островов тепла», формируемых вблизи городов,
- для решения других прикладных задач.

Результаты

- ✓ Выполнено картографирование сроков залегания УСП за 2000-2011 гг.:
 - ✓ Собрано и обработано 396 снимков MODIS «snow cover».
 - ✓ Создано и проанализировано: 22 карты дат установления и разрушения устойчивого снежного покрова Прибайкалья.



- ✓ Выполнено картографирование продолжительности залегания УСП за 2000-2011 гг.:
 - ✓ Создано и проанализировано: 12 карт продолжительности залегания УСП.



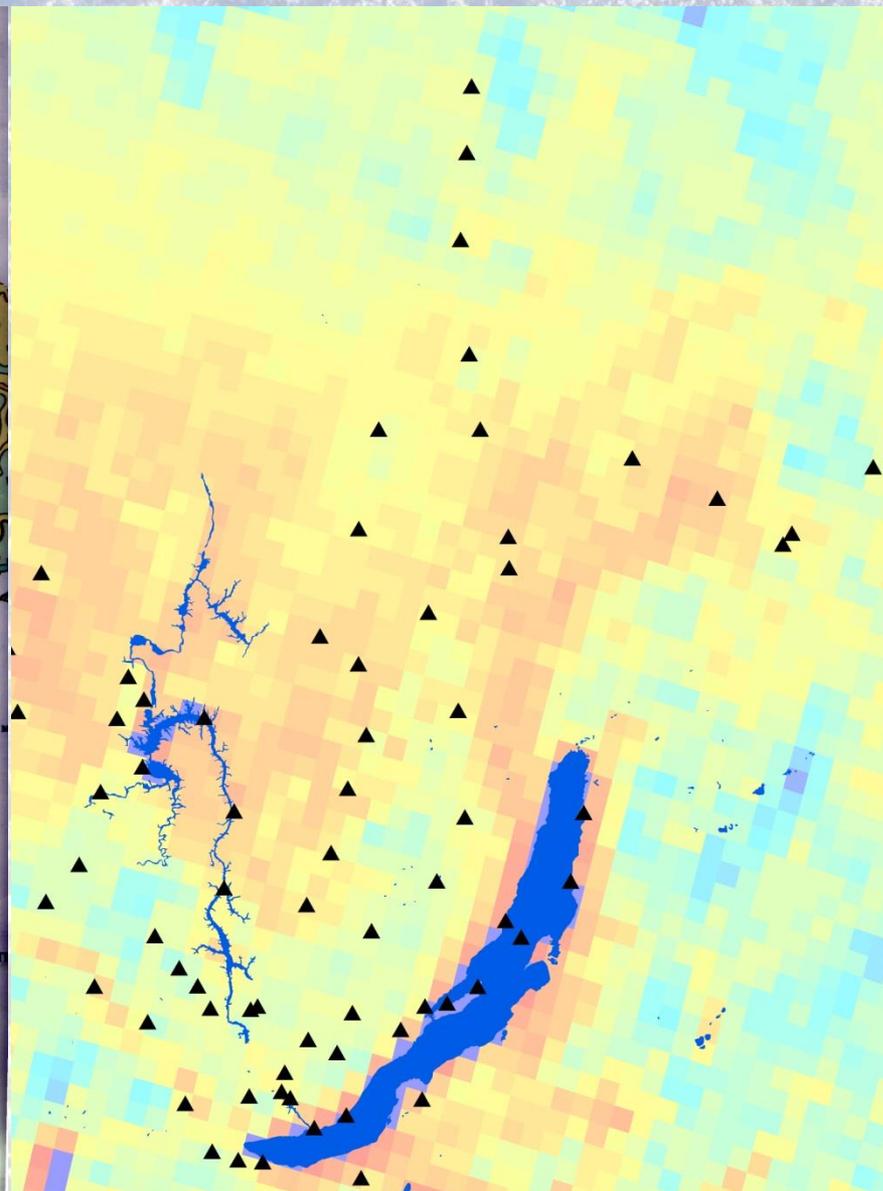
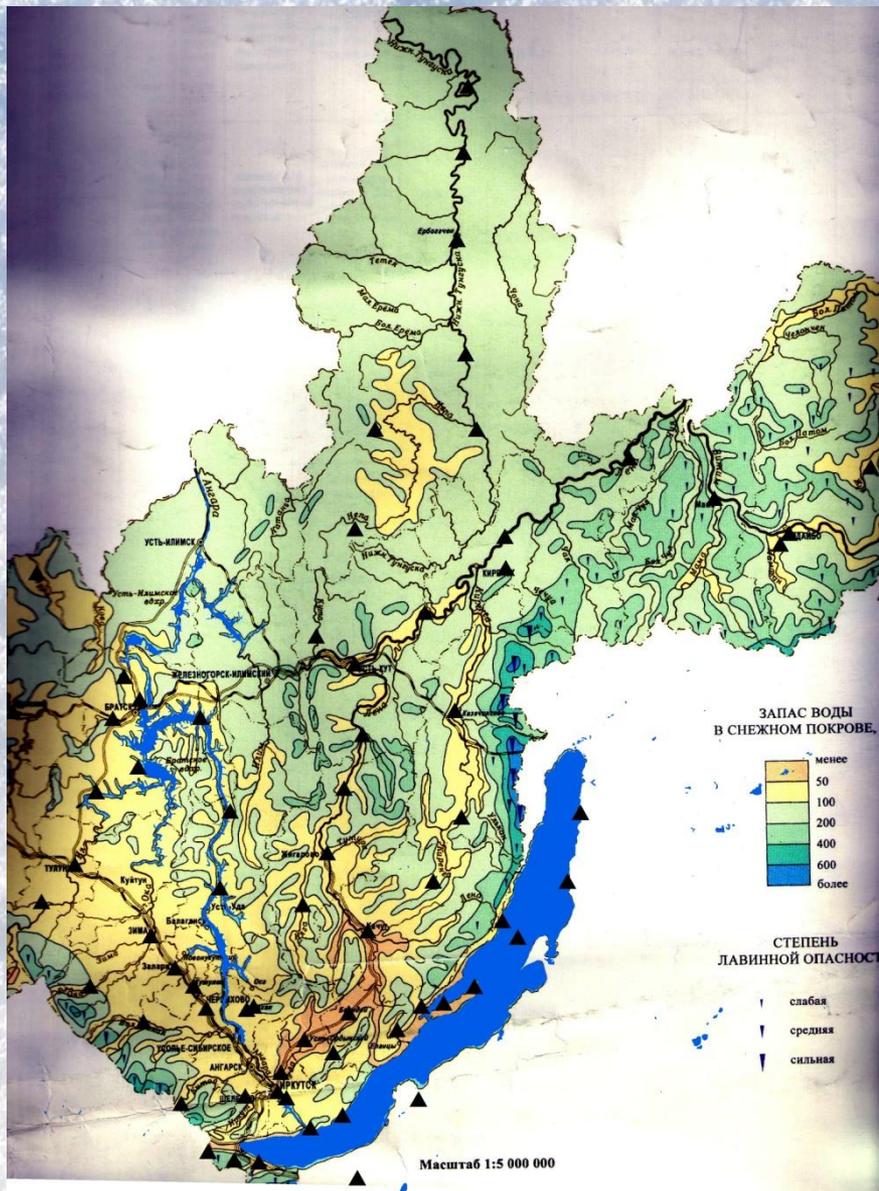
- ✓ Проведена верификация полученных карт на основе данных 17 метеостанций.

Выводы

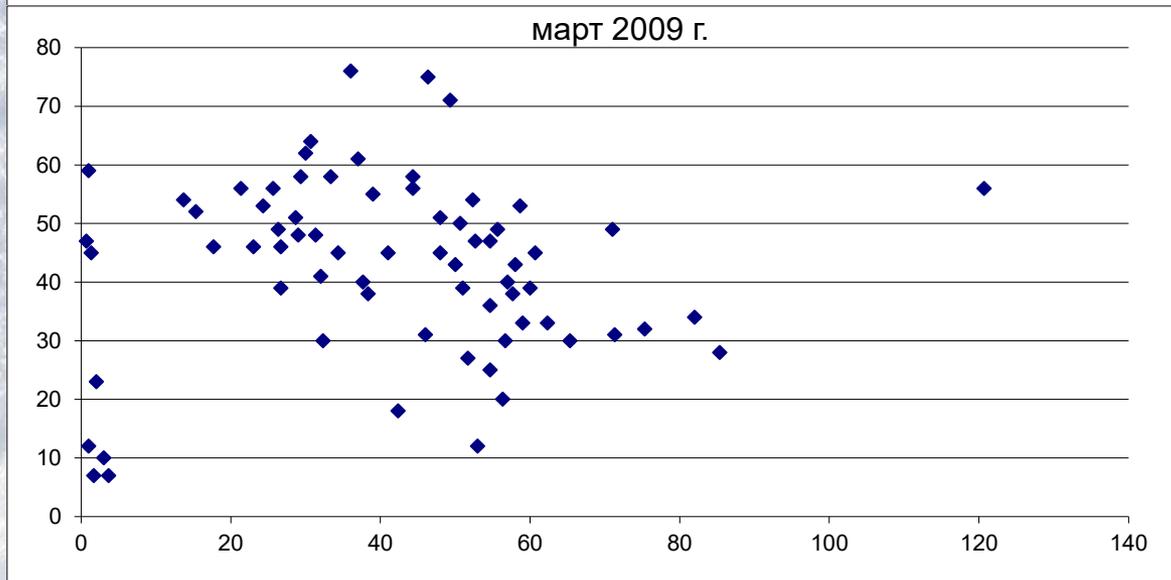
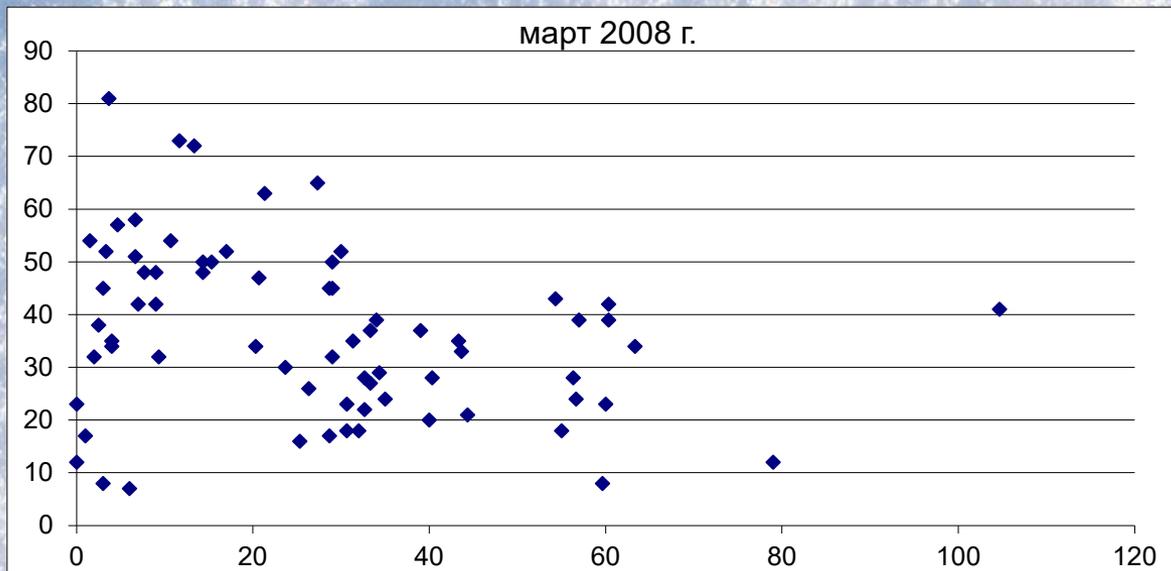
- ✓ **Анализ дат установления и разрушения УСП за 2000-2010 гг. показал, что:**
 - Преобладающая часть Прибайкалья покрывается снежным покровом в октябре, а освобождается от него с конца апреля по середину мая.
 - На равнинных участках даты разрушения от года к году сильно меняются, начиная с середины февраля, и до середины апреля в отдельные годы.
 - Хребты освобождаются от снега в конце мая, а их высокогорные районы - летом.
- ✓ **Результаты верификации:**
 - Допустимыми можно считать 83% случаев для дат установления и 79% случаев для дат разрушения УСП. Карты достаточно достоверны и могут быть использованы.
- ✓ **Анализ продолжительности залегания УСП за 2000-2010 гг. показал, что:**
 - Наибольшей продолжительностью залегания УСП (более 200 дней) характеризуются Байкальский, Баргузинский хребет и хребет Хамар-Дабан, ниже 200 дней продолжительность на хр. Улан-Бургасы и Приморском, а также Олхинском плато.
 - Самым непродолжительным периодом залегания УСП характеризуется Приольхонье (92-150 дней), а также котловины и низменности (124-178 дней), среди которых выделяется лишь Верхнеангарская котловина (174-199 дней), ввиду ее северного расположения.
 - Зимы с наибольшим периодом залегания: 2000-2001, 2001-2002, 2004-2005, 2009-2010 гг.
- ✓ **Влияние факторов среды на продолжительность залегания УСП:**
 - Высокая положительная линейная связь с высотой местности для всей территории в целом, а также для всех хребтов, кроме хр. Хамар-Дабан.
 - Прирост периода залегания УСП с высотой составляет около 12 дней на каждые 100 м.
 - Отмечена средняя отрицательная линейная связь с температурой.
 - Коэффициенты множественной корреляции высоки для территории хребтов (исключая Хамар-Дабан) и ниже для котловин и низменностей.

Водный эквивалент снега

По данным атласа (средние многолетние данные) По данным AMSR-E/Aqua (март 2009 г.)



Валидация данных AMSR-E за зимы 2007-2008/2008-2009 гг.



Коэффициенты корреляции		
месяц	2007-08	2008-09
Сентябрь	-0,017	-0,029
Октябрь	-0,084	-0,054
Ноябрь	-0,099	-0,135
Декабрь	-0,116	-0,131
Январь	-0,066	-0,082
Февраль	-0,116	-0,086
Март	-0,256	-0,154
Апрель	0,070	-0,007
Май	0,036	-0,071
общая	0,223	0,313



Благодарю Вас
за внимание!