Программа ОНЗ-12

Процессы в атмосфере и криосфере как фактор изменений природной среды

Подпрограмма «Криогенные и гляциальные системы: вопросы реконструкции, динамики, прогноза»

Проект 2. Устойчивость криогенных геосистем и экосистем Арктики и Субарктики при естественных и техногенных воздействиях: криогенные процессы, особенности реакции водораздельных, долинных и приморских ландшафтов на меняющиеся климатические и гидрологические факторы

Блок 1 «Моделирование теплового состояния многолетнемерзлых пород с использованием полевых, лабораторных и дистанционных методов исследования»

Исполнители: М.О.Лейбман, А.В.Хомутов, Д.Р.Муллануров, К.А.Ермохина, Ю.А.Дворников

Цель: составить модель теплового поля криолитозоны ключевого участка Центрального Ямала с учетом колебаний метеорологических параметров, свойств растительного и снежного покровов, состава и влажности пород.

Задачи:

1. Составление базы данных климатических параметров.
2. Продолжение мониторинга за тепловым состоянием сезонноталого слоя и верхней части многолетнемерзлых пород с использованием существующих термометрических скважин.
3. Изучение влияния перераспределения снежного покрова на формирование температурного поля пород.
4. Моделирование теплового поля криолитозоны ключевого участка на Центральном Ямале на глубине 1 м.

Аннотация.

Климатические параметры как основополагающие для характеристики теплового поля пород используются при моделировании, количество различных используемых параметров велико. База климатических данных включает сведения о температуре воздуха, атмосферных осадках, снежном покрове, а также скорости и направлении ветра.

Межгодовая динамика температуры воздуха определяет в значительной степени динамику температуры пород. Большее значение имеют суммы отрицательных температур воздуха в сочетании с толщиной снега. Толщина снежного покрова, в свою очередь, зависит от скорости и направления ветра, от элемента рельефа и растительного покрова, главным образом, кустарникового.

Мониторинг температуры пород в скважинах и сопоставление полученных данных с климатическими параметрами послужили основанием для некоторых выводов о влиянии климата и других факторов природной среды на температуру пород верхних горизонтов.

На ключевом участке с высокой расчлененностью рельефа и характерными зимними ветрами высокой скорости, зимой, как правило, превышающей 5 м/сек, перевевание снега

является одним из факторов дифференциации параметров снежного покрова, а следовательно и теплового состояния мерзлоты. На участках практически полного сдувания снега температура пород близка к температуре воздуха. В то же время, на участках скопления снега толщиной более 80 см она имеет значения близкие к 0°С на глубинах до 1 м.

Полевые измерения толщины и плотности снега использованы для моделирования распределения снега по площади. Карта распределения снегонакопления использована для построения карты теплового поля пород деятельного слоя на глубине 1 м.

Базы данных климатических параметров

Источником исходной информации для составления базы данных климатических параметров служит метеостанция Марре-Сале, расположенная в 100 км к юго-западу от исследуемого района.

База данных климатических параметров включает в себя массивы:

1. Среднесуточная температура воздуха
2. Среднемесячная температура воздуха
3. Среднегодовая температура воздуха
4. Сумма месячных осадков
5. Толщина снежного покрова
6. Направление и скорость ветра

Таблица 1. Среднемесячная температура воздуха (расчет произведен из срочных наблюдений м/с Марре-Сале, http://rp5.ru/Погода_в_Бованенковском)

Год/ мес	**янв**	**фев**	**мар**	**апр**	**май**	**июн**	**июл**	**авг**	**сен**	**окт**	**ноя**	**дек**	**год**
1999	-27,4	-18,7	-22,2	-15,8	-6,4	0,8	4,7	3,8	2,4	-2,5	-12,6	-11,9	-8,8
2000	-24,2	-17,3	-12,6	-9,6	-3,1	2,5	8,5	10,9	3,1	-2,7	-15,5	-23,4	-7,0
2001	-25,4	-27,6	-23,5	-13,2	-3,3	4,3	4,9	9,3	5,3	-2,7	-9,0	-13,8	-7,9
2002	-26,1	-21,7	-18,1	-10,2	-4,7	2,4	6,0	8,6	2,1	-2,1	-12,0	-21,5	-8,1
2003	-23,8	-21,6	-19,8	-10,6	-3,2	3,0	4,5	13,5	4,9	-2,6	-14,0	-15,0	-7,1
2004	-17,9	-20,9	-20,8	-17,9	-6,1	4,5	10,8	6,8	3,4	-3,2	-8,9	-22,0	-7,7
2005	-14,8	-16,6	-21,8	-15,3	-3,2	2,9	7,7	8,7	7,0	-0,6	-5,3	-14,0	-5,4
2006	-25,0	-17,9	-18,2	-19,4	-2,9	3,3	9,0	7,3	3,4	-6,5	-14,9	-14,6	-8,0
2007	-12,0	-27,8	-12,6	-6,3	-6,2	2,8	11,7	6,6	5,2	2,2	-10,0	-14,5	-5,1
2008	-10,4	-18,5	-18,4	-11,9	-6,0	2,1	9,6	8,1	5,3	-1,2	-10,6	-8,3	-5,0
2009	-18,8	-24,9	-17,5	-11,8	-6,9	1,8	7,8	8,8	6,2	-1,8	-17,0	-25,4	-8,3
2010	-18,6	-30,2	-18,5	-10,8	-3,7	1,3	5,7	6,5	2,6	0,3	-13,1	-19,2	-8,2
2011	-18,7	-22,2	-9,5	-7,0	-1,9	4,6	4,0	6,5	6,3	0,5	-9,1	-6,3	-4,4
2012	-15,3	-12,6	-18,3	-9,0	-3,5	8,4	10,0	8,5	5,9	-0,4	-9,4	-14,0	-4,1
2013	-24.0	-15.4	-26.4	-8.4	-3.7	2.0	10.3	8.3	3.4	-4.6	-8.9	-20.6	-7.3
2014	-26.5	-24.7	-10.9	-8.9	-3.6	3.8	3.7	5.1	3.1	-7.0			
max	-10.4	-12.6	-9.5	-6.3	-1.9	8.4	11.7	13.5	7.0	2.2	-5.3	-6.3	-4.1
min	-27.4	-30.2	-26.4	-19.4	-6.9	0.8	3.7	3.8	2.1	-7.0	-17.0	-25.4	-8.8
сред	-20.6	-21.2	-18.1	-11.6	-4.3	3.2	7.4	8.0	4.4	-2.2	-11.3	-16.3	-6.8

В течение большей части года среднемесячная температура воздуха отрицательна. Минимальные значения устанавливаются в январе. Максимальные положительные температуры воздуха устанавливаются в разные годы в августе или июле. Среднегодовая температура воздуха характеризуется отрицательными значениями, и в период с 1999 по 2013 гг. изменялась в диапазоне -4,1°С — -8,8°С. За период с 1999 по 2013 гг. положительный тренд составил примерно 2,5°С (рис.1).

Атмосферные осадки рассчитывались по сезонам (не по календарным годам), соответствено, зимние осадки определялись за период, охватывающий два смежных года. Суммы летних осадков соответствуют одному году.

Сумма атмосферных осадков в разные годы изменяется в широком диапазоне (таблица 2). за весь сезон отрицательных температур на стыке 2-х лет (рис.2). Сумма годовых осадков варьирует в основном в диапазоне 300-470 мм. Наибольшее количество осадков за последнее десятилетие относится к 2008 году - 613 мм. Основная масса выпадает в летне-осенний период (в среднем 60% от общей суммы осадков за год).

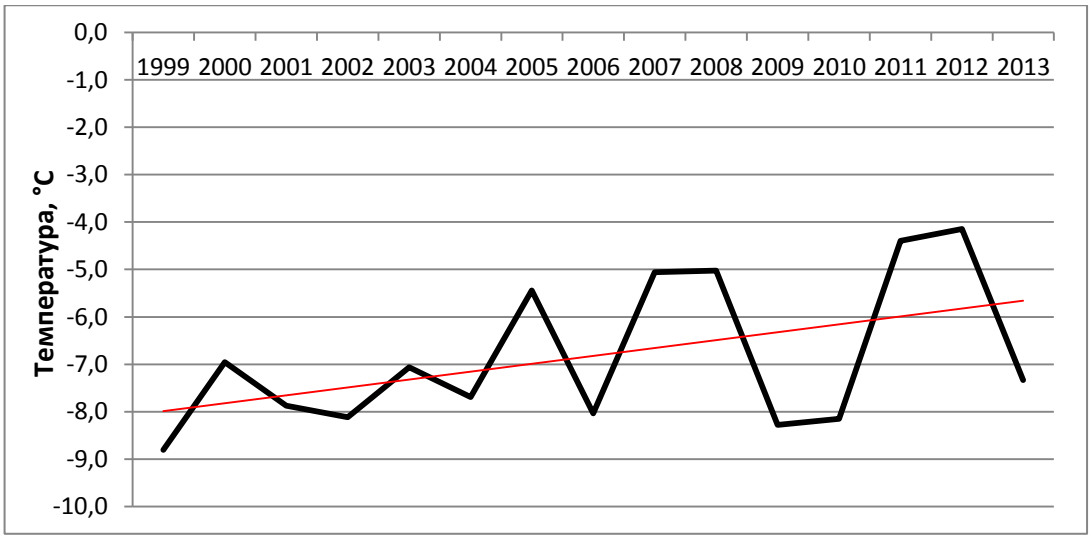


Рис. 1. График изменения среднегодовой температуры и линия тренда изменения

Таблица 2. Суммы атмосферных осадков за период с 2005 по 2014 гг. (по данным м/с Марре-Сале, http://rp5.ru/Погода_в_Бованенковском).

	2005	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**
янв	н/д	31,8	31,9	20	44,8	28,9	15,7	24,4	16,5	14
фев	8,8	23,1	5,8	24,8	41,5	10,6	16,2	22,6	34,5	3,6
мар	3,6	37,7	13,5	37,8	15,6	12,6	69,1	6,8	13,2	27
апр	25,9	6,6	12,1	18,9	36	19,6	44,2	18,8	12,9	22
май	23,9	12,4	9,9	33	30,5	18,2	29,3	51	12,7	34
июн	66,2	27,1	18,4	17	9,9	46	48,3	72,1	37,2	31
июл	44,3	43,5	25,3	201,7	53,3	30,6	28,7	87,1	112,5	48
авг	25	11	39,1	38,7	66,9	51,6	30,7	85,3	65,3	46
сен	75,4	108,2	29,5	61,9	65,4	43,9	23,3	36,4	29,2	36
окт	71,4	37	35,3	82,3	67,5	38	69,6	14,4	31,0	34
ноя	45,4	8,3	25,7	20,5	14,1	26,5	40,1	12,3	26	
дек	31,8	21,3	51	57	19,4	40,8	25,1	39,3	32	
год	**421,7**	**368**	**297,5**	**613,6**	**464,9**	**367,3**	**440,3**	**470,5**	**423**	

Для анализа теплового поля пород важно отметить, что наиболее "сухими" были летние сезоны 2006, 2007 и 2011 годов (менее 200 мм). Наиболее снежные зимы приходились на сезоны 2008-2009 и 2010-2011 гг. (таблица 3, рис. 2)

Таблица 3. Сумма осадков за теплый и холодный периоды

Сезон	**2005-2006**	**2006**	**2006-2007**	**2007**	**2007-2008**	**2008**	**2008-2009**	**2009**	**2009-2010**	**2010**	**2010-2011**	**2011**	**2011-2012**	**2012**	**2012-2013**	**2013**	**2013-2014**	**2014**
Летний		**201**		**146**		**384**		**243**		**204**		**188**		**305**		**243**		**151**
Зимний	**213**		**135**		**218**		**252**		**139**		**247**		**189**		**144**		**203**	

Рис.2. Сумма осадков за теплый и холодный периоды.

Устойчивый снежный покров формируется в октябре. Разрушение снежного покрова происходит в мае-июне. В таблице 4 приведена средняя толщина снежного покрова по декадам месяца за разные годы. Данные приводятся по измерениям рейкой на метеостанции.

Таблица 4. Толщина снежного покрова по данным метеостанции Марре-Сале (измерения по рейке)

мес.	**декада**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**

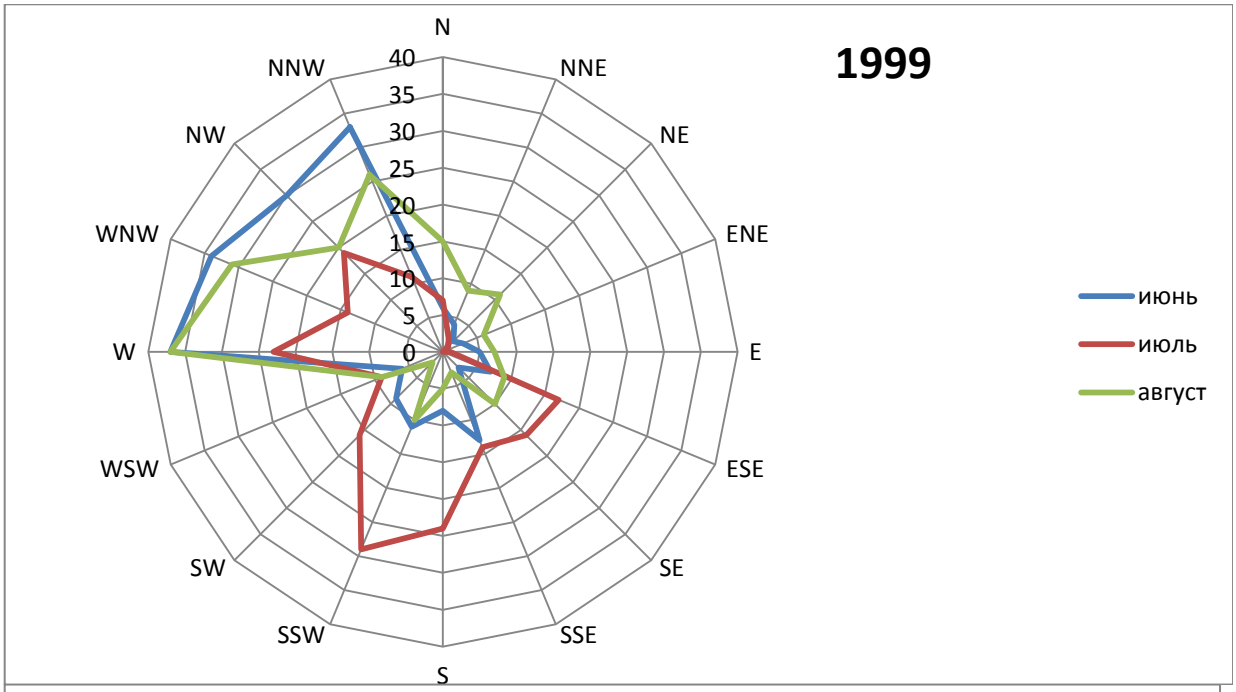
мес.	декада	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
янв	1		18		8	8	12	5	10	7	17
	2		18		9	7	11	7	11	7	16
	3		20		14	6	11	6	10	6	16
фев	1		19		15	7	13	6	9	7	17
	2		17		18	6	13	6	9	7	19
	3		17		18	7	12	6	11	6	23
мар	1		18	65*	18	7	12	7	12	12	17
	2		23		19	6	13	12		10	21
	3		23		19	7	12	13	14	7	28
апр	1		24		17	8	11	12	15	1	28
	2		19		17	7	10	10	17	4	28
	3		16	60*	18	9	12	8	15	1	18
май	1		16		21	10	11	7	15	1	7
	2		8		29	10	7	7	11		0
	3		1		29	7	4	4	10		0
июн	1			2	29	2	3				
	2			1	4		1				
	3				0						
июл	1										
	2										
	3										
авг	1										
	2										
	3									1	
сен	1									4	
	2		1							11	12
	3		1		1		1			12	15
окт	1		3		5					16	
	2		5		4	2	1			16	
	3		5	3	2	5	4	3	4	18	
ноя	1	7	7	3	4	5	6	5	4	19	
	2	12		4	5	7	6	7	5	17	
	3	17		6	6	9	6	7	6	16	
дек	1	16		8	6	12	6	7	6	7	
	2	15	1	10	7	13	6	7	6	7	
	3	17		8	8	12	6	12	8	6	
Max		**17**	**24**	**65**	**29**	**13**	**13**	**13**	**17**	**19**	
Min		**7**	**1**	**1**	**0**	**2**	**1**	**3**	**4**	**1**	

*По данные метеостанции приведено 2 значения высоты снега, имеющих большое отличие от средних данных.

Скорость ветра изменяется от 0 до 25 м/с. Согласно графикам повторяемости ветров за летние сезоны (рис.3) в самый холодный летний сезон 1999 г. в основном преобладали ветра западных и северо-западных румбов кроме июля, когда отмечалось

преобладание ветров юго-западных и южных румбов. В самый теплый летний сезон 2012 г. отмечается преобладание ветров западных румбов, которые видимо и приносили обильные осадки в июле и августе, а в июне преобладали ветра юго-восточного румба. Что касается зимнего периода, то в самый холодный зимний период 2000-2001 гг (рис.4а) господствовали ветра восточных и северо-восточных румбов, а в самый теплый зимний период 2011-2012 гг (рис.4б) в основном господствовали ветра юго-западного румба, за исключением января, когда преобладали ветра юго-восточного и восточного направления.

а



б

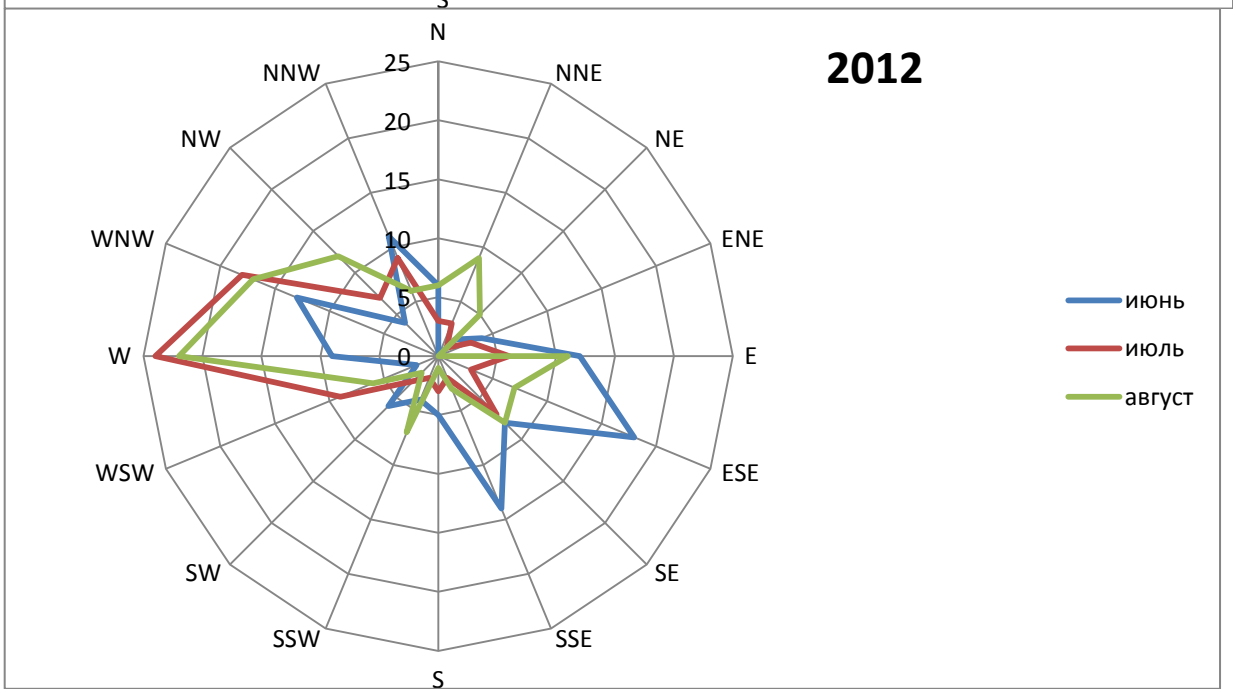
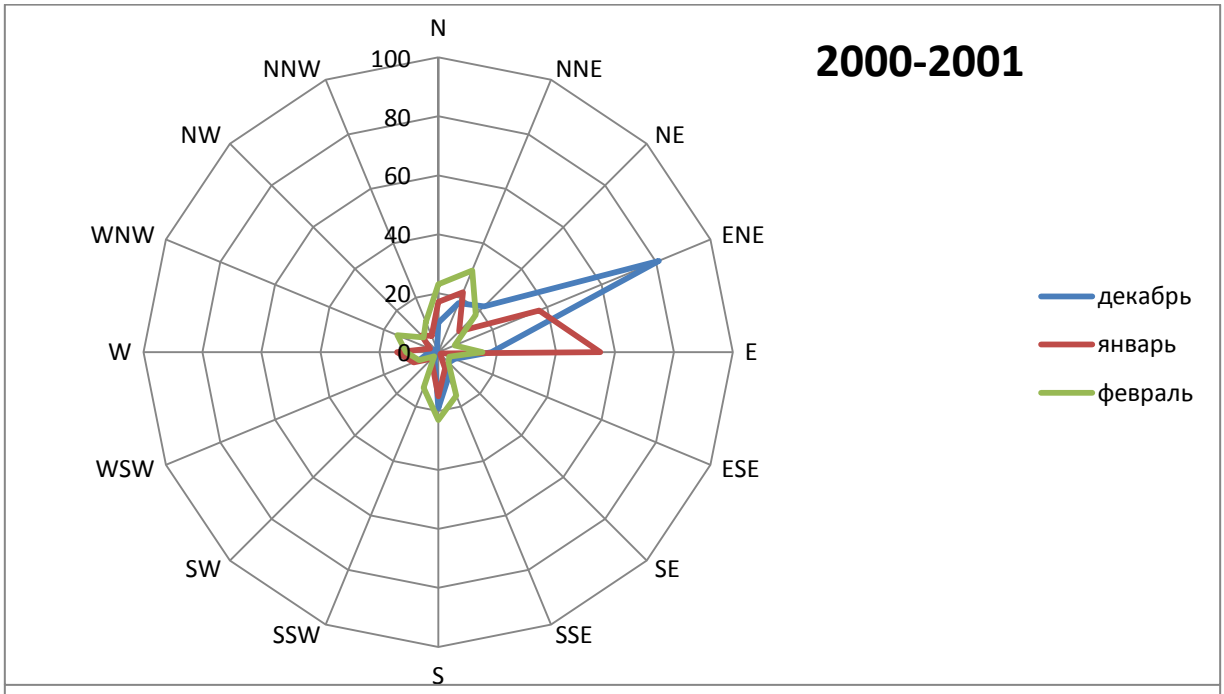


Рис.3 Розы ветров (направление ветра) самого холодного (а) и самого теплого (б) летнего сезона (по данным м/с Марре-Сале)

а



б

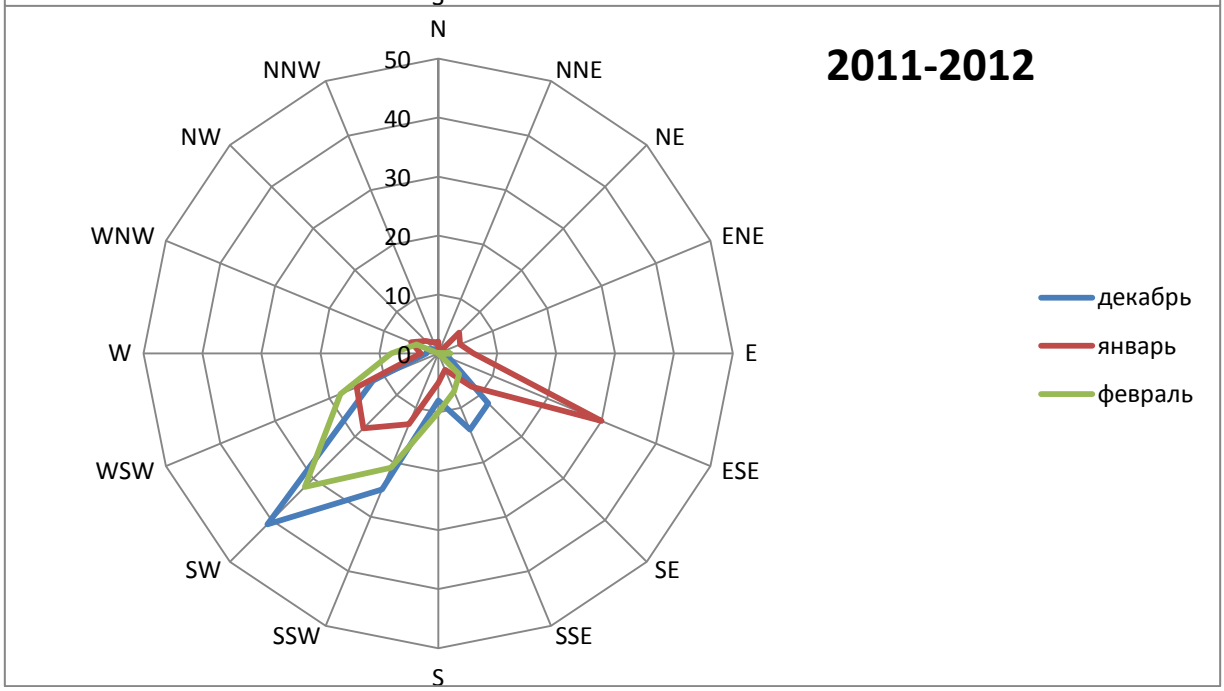


Рис.4 Розы ветров (направление ветра) самого холодного (а) и самого теплого (б) зимнего сезона (по данным м/с Марре-Сале)

2. Мониторинг за тепловым состоянием деятельного слоя и верхней части мерзлоты

В 2014 г. продолжен мониторинг за температурой пород в термометрических скважинах. Средние за период значения температуры пород, начиная с 2006 г.,

представлены в таблицах 5 и 6. На графиках (рис.5-9) представлены температурные кривые за разные годы для каждой скважины.

Таблица 5. Температура пород (средняя за период) по данным термометрических скважин глубиной до 1,5-1,7 м

Скважина (год основания)	Глубина, см	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014
VD CALM (до 2006)	3	-6,3	-4,8			-5,2	-3,4	-6,2	-5.2
	50	-5,7	-5,0			-5,3	-3,9	-6,3	-5.2
	100	-6,1		-6,4	-7,1	-5,1	-4,0	-5,8	-5.2
	150	-5,4		-6,3	-7,0	-5,2	-4,1	-5,6	-5.2
VD-1 (2007)	6		-6,3	-7,5	-7,0	-4,3	-2,5	-5,4	-5.5
	25		-6,1	-7,0	-7,5	-4,6	-2,5	-5,1	-5.2
	50					-5,1		-5,4	-5.3
	90					-5,2			-5.3
VD-2 (2007)	3,5		-3,9	-6,5	-7,4		-2,1	-5,8	
	25		-4,1	-6,7	-7,2		-2,4	-5,6	
	50		-4,2	-7,5		-4,8			-5.0
	100		-4,4	-7,0		-4,8			-4.8
VD-3 (2007)	0		-2,8	-5,7	-6,8	-3,4	-1,5		-4.9
	25		-3,0	-5,7	-6,9	-3,5	-1,5	-4,9	-4.8
	50		-3,2	-5,6	-6,8	-3,7	-1,8	-5,0	-5.0
	100		-3,3	-5,4	-6,5	-3,8	-2,2	-4,9	-4.8
AG19/3 (2007)	0		0,7	1,0	0,1	1,2	2,2	1,0	0.3
	10		0,7	0,7	0,3	1,1	2,1	1,4	0.5
	100		-0,1	-0,1	-0,4	0,1	0,7	0,3	0.0
	150		-0,3	-0,3	-0,7	-0,4	-0,2	-0,4	-0.9
AGG1 (2011)	25						-4,0	-5,3	-4.4
	50						-4,0	-4,7	-3.3
	70						-4,2	-5,0	
	100						-4,2	-5,4	
AGG2 (2011)	2						-0,7	-1,7	-3.0
	80						-1,9	-3,5	-3.3
Gully (2012)	0							1,1	
	170							0,6	
	0								-0.3
	2								0.5
	40								0.0

LCwillow (2013)	90								0.0
	140								-0.1

Таблица 6. Температура пород (средняя за период) по данным термометрических скважин глубиной 7-10 м

Скважина	Глубина, см	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014
LGT	0	-3,5	-0,9	-4,2	-4.7
	20	-3,2		-3,8	-3.7
	50	-3,6	-1,6	-4,2	-4.1
	150	-3,6		-4,3	-4.1
	300	-4,1		-4,2	-4.3
	400	-4,3		-4,1	-4.4
	500	-4,5		-4,0	-4.4
	600	-4,7		-4,0	-4.4
	700	-4,7		-3,9	-4.3
VD CALM_10m	0			-6,5	-5.9
	50			-5,8	-5.7
	100			-5,7	-5.4
	150			-5,6	-5.3
	200				-5.6
	300		-4,9	-5,5	-5.5
	400				-5.9
	500		-5,5	-5,5	-5.6
	600				-5.9
	700		-5,9	-5,6	-5.6
	800				-5.9
	1000		-6,1	-5,9	-5.8

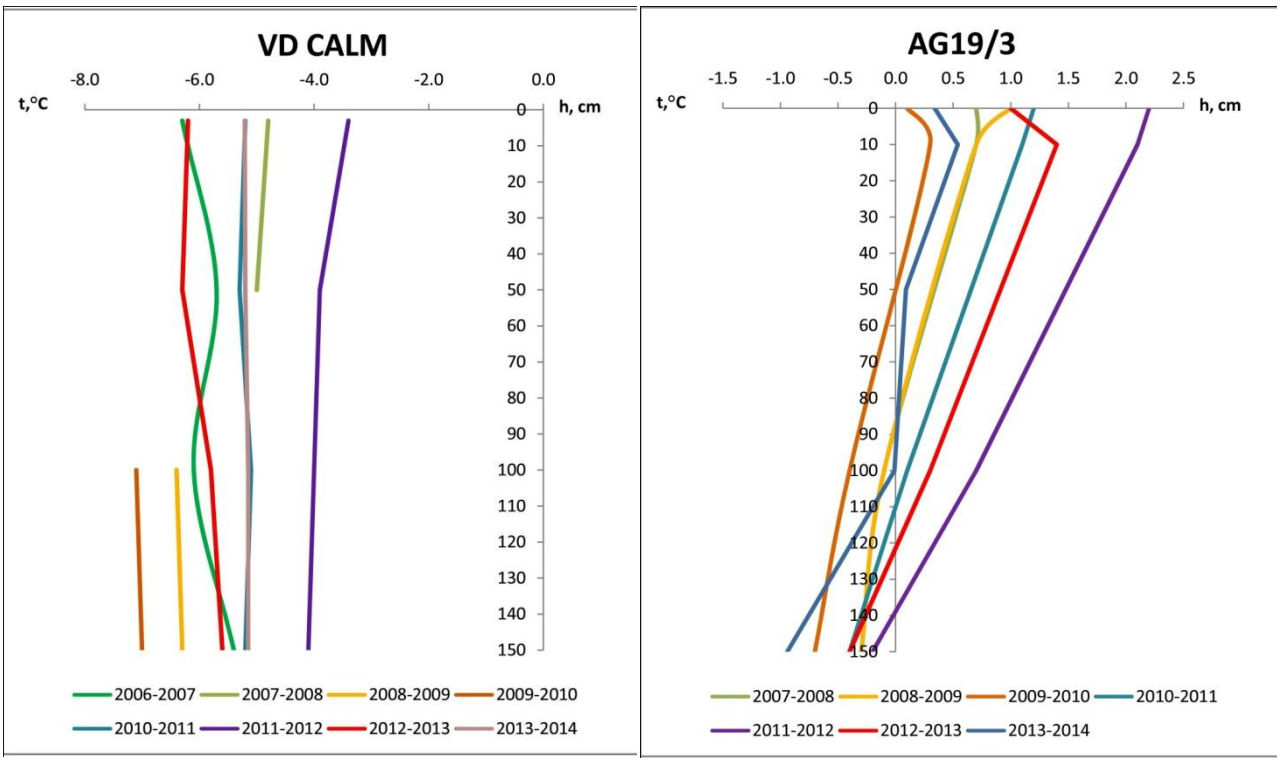


Рис.5 Средняя за период температура пород по данным 1,5-метровых скважин VD CALM и AG19/3

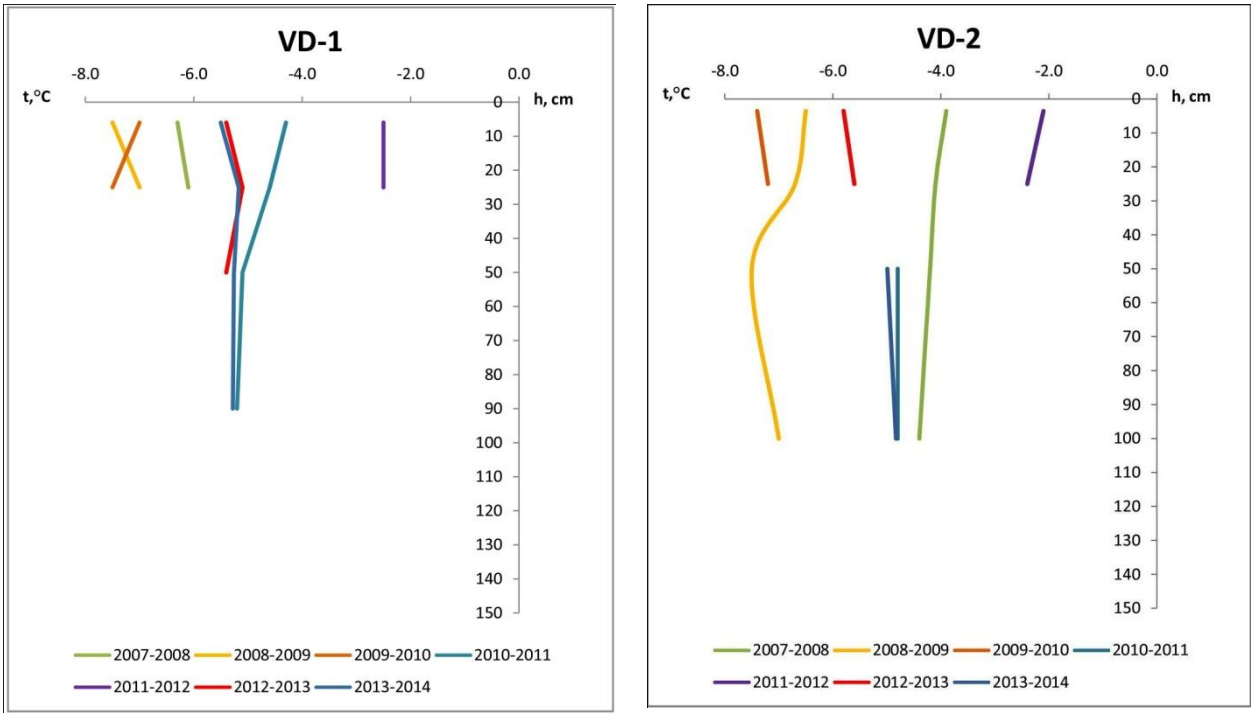


Рис.6 Средняя за период температура пород по данным скважин VD-1 и VD-2

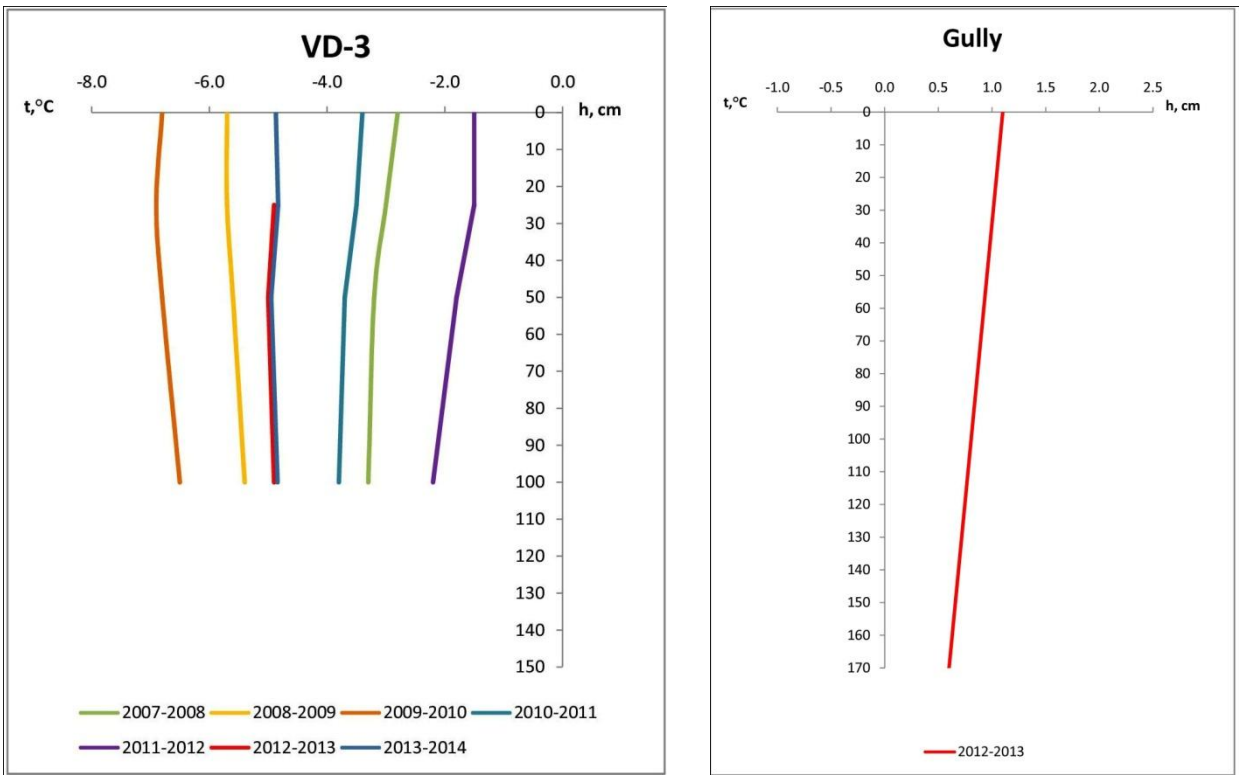


Рис.7 Средняя за период температура пород по данным скважин VD-3 и Gully

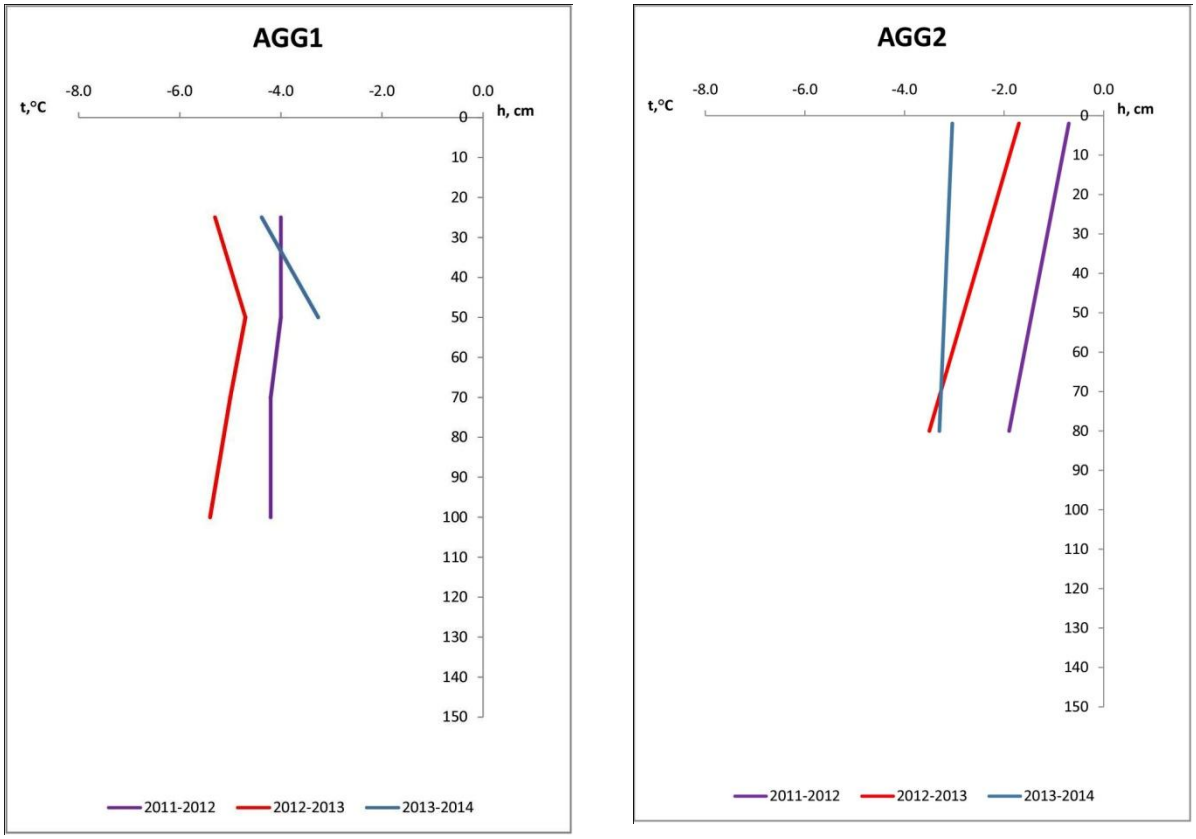
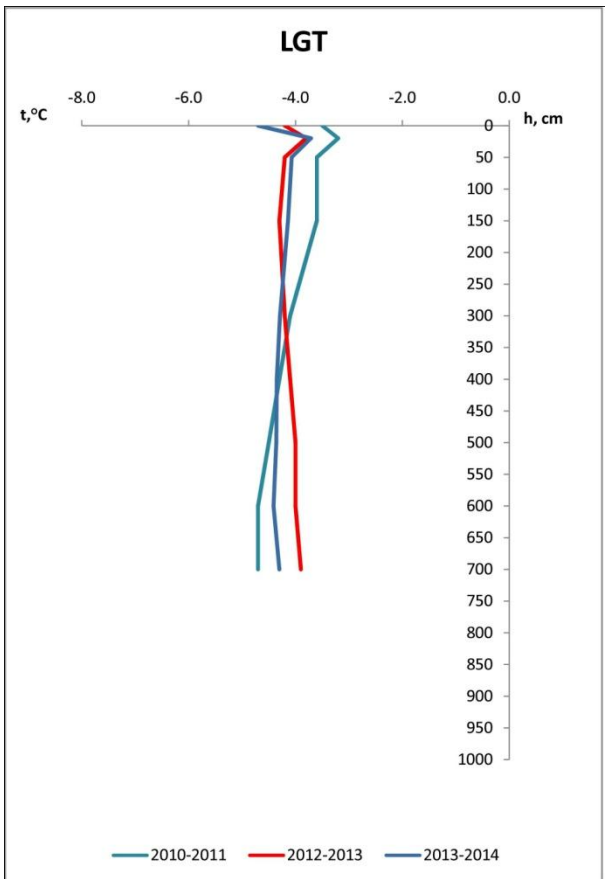


Рис.8 Средняя за период температура пород по данным скважин AGG1 и AGG2



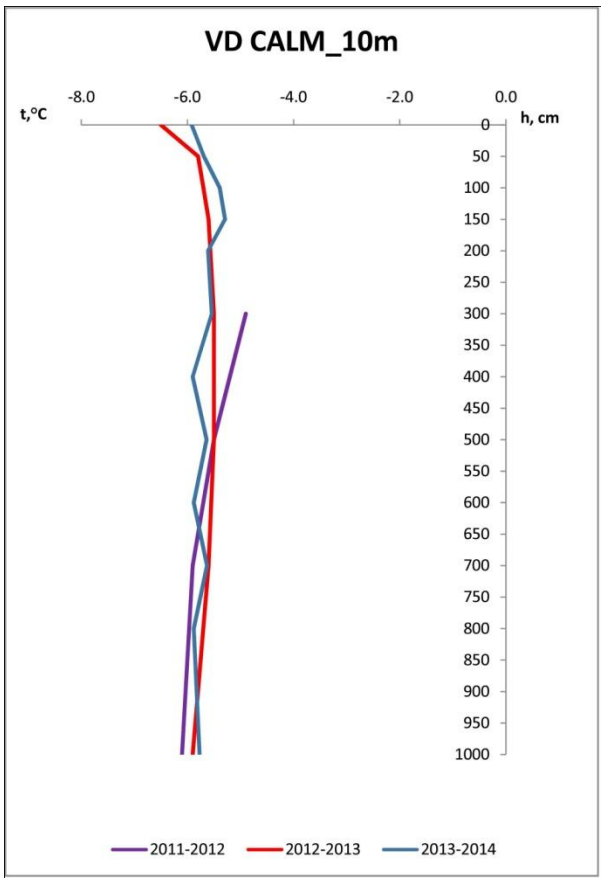


Рис.9 Средняя за период температура пород по данным скважин LGT и VD CALM_10m

Из анализа климатических параметров за последние годы (табл.7) следует, что за период с 2006 г. 2012 год отличался наиболее теплым летом, которому предшествовала наиболее теплая зима. Летние атмосферные осадки, в большей степени влияющие на глубину сезонного протаивания, были близки к максимальным, в то время как зимние осадки предшествующего года, главным образом, определяющие температуру пород, были близки к минимальным. При рассмотрении межгодовой динамики температуры пород в мелких скважинах указанные закономерности реализуются следующим образом. Межгодовая динамика температуры деятельного слоя неоднородна в зависимости от местоположения скважины в пределах определенного ландшафта. Также имеются различия в средних значениях температуры на одной глубине в разных скважинах. Средняя температура за период 2011-2012, когда зима была самой теплой за рассматриваемый период (табл.7), в скважине VD CALM практически не отличается на глубинах от 0 до 1,5 м (от -3,4 до -4,1ºС), когда как в скважине AG19/3 от 0 до 1,5 м температура изменяется от 2,2 до -0,2ºС (рис.5). В основном это связано с различиями в местоположении этих скважин. Скважина VD CALM расположена на выпуклой вершине, с которой практически полностью сдувается снег в холодный период, и теплая зима 2011-

2012 г. оказала влияние на весь профиль скважины. Скважина AG19/3 располагается на вогнутом закустаренном склоне, на котором аккумулируются большие запасы снега, не дающие в зимний период породам деятельного слоя охлаждаться до температур, близких к температурам воздуха.

Что касается других мелких скважин с глубинами до 1 м (рис.6-8), то динамика температуры пород в этих скважинах в большей степени зависит от суммы отрицательных температур воздуха за холодный период чем от количества зимних осадков и даже от суммы летних температур воздуха. В теплые малоснежные зимы, как например зима 2011-2012 гг., температура пород также выше средней. Количество выпавшего снега практически не влияет на температуру пород. И в годы с малым количеством снега и в годы с большим количеством снега температура пород на изменение количества зимних осадков реагирует слабо.

Прослеживать динамику в более глубоких 7- и 10-метровой скважинах (рис.9) пока некорректно из-за непродолжительного ряда наблюдений, однако уже прослеживается отстающая на год реакция на глубинах более 3 м для скважины LGT и более 5 м для скважины VD CALM_10m на теплую зиму 2011-2012 г. и лето 2012 г. Основным отличием этих двух скважин в их ландшафтном местоположении являются условия снегонакопления, определяемые рельефом поверхности: скважина LGT расположена на склоне выпуклой гряды со средним снегонакоплением, скважина VD CALM_10m расположена на выпуклой вершине, с которой снег полностью сдувается. Этим и объясняются отличия в характере изменений температур нижней части профиля скважин в зависимости от температур воздуха.

Также в 2012 г. заложена термометрическая скважина в отвершке глубоковрезанного оврага (рис.7 Gully), в ней средняя температура за неполный (по тех.причинам) период с 4 сентября 2012 по 1 июля 2013 г. осталась положительной и составила 1,1 и 0,6ºС на глубине 0 и 1,7 м соответственно. Как показывает график (рис.10), температура пород в овраге, занесенном снегом толщиной более 3 м, в течение всей зимы опустилась незначительно ниже нуля, а на глубине 1,7 м к концу зимы держалась на уровне -0,1ºС, несмотря на то, что среднесуточная температура воздуха опускалась ниже -25ºС.

Таблица 7. Основные климатические параметры, определяющие температуру пород на ключевом участке "Васькины Дачи", голубым цветом отмечены более холодные или сухие годы, желтым более теплые или влажные (по данным метеостанции Марре-Сале, (http://rp5.ru/Погода_в_Бованенковском).

Год/Летний сезон	Средняя годовая температура воздуха, °C	Сумма положительных температур воздуха, °C*сут	Летние атмосферные осадки, мм	Зимний сезон	Сумма отрицательных температур воздуха, °C*сут	Зимние атмосферные осадки, мм
2004	-7.7	720	nd	2004-2005	-2710	nd
2005	-5.4	661	146	2005-2006	-3181	213
2006	-8,0	645	112	2006-2007	-3049	136
2007	-5,0	654	68	2007-2008	-2748	218
2008	-5,0	679	307	2008-2009	-2974	253
2009	-8,3	343	61	2009-2010	-3785	140
2010	-8,1	465	151	2010-2011	-2788	247
2011	-4,4	496	108	2011-2012	-2271	190
2012	-4,1	854	257	2012-2013	-3105	144
2013	-7,3	656	114	2013-2014	-3262	203
2014	-	393	115	-		
Mean	-6,4	597	144	-	-2987	194

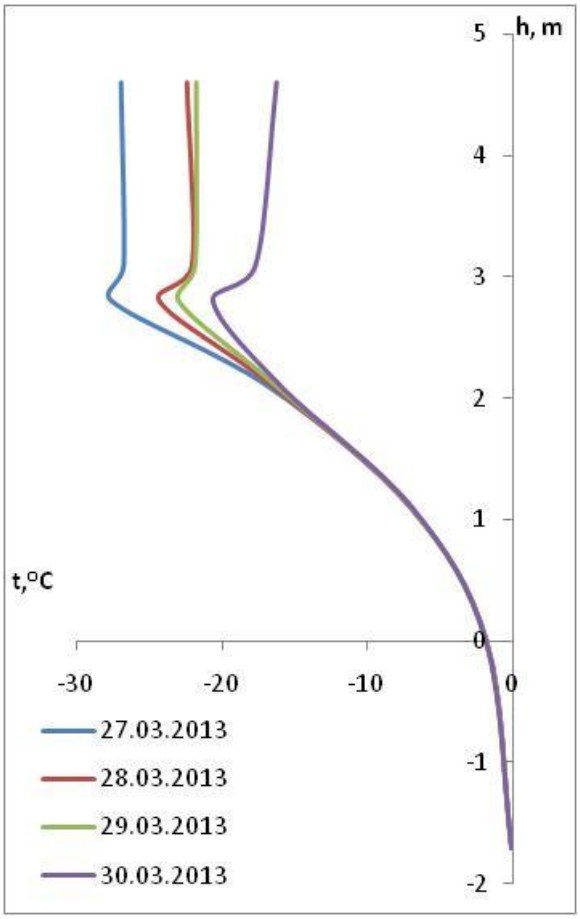


Рис.10. Среднесуточные температуры воздуха над снежным покровом (выше 3,15 м), в снежном покрове (0 до 3,15 м) и пород (ниже 0 м) по данным временно установленных термодатчиков и логгеров в скважине Gully за период 27-30 марта 2013 г. во время проведения снегомерной съемки на ключевом участке.

Распределение снежного покрова и его влияние на температуру пород на Центральном Ямале

В марте 2013 г. на ключевом участке «Васькины Дачи», расположенном на Центральном Ямале в условиях сплошного распространения многолетнемерзлых пород, проведена снегомерная съемка, включающая измерения толщины и плотности снежного покрова на основных мониторинговых площадках, 1,5-километровой трансекте и характерных ландшафтах (рис.11).

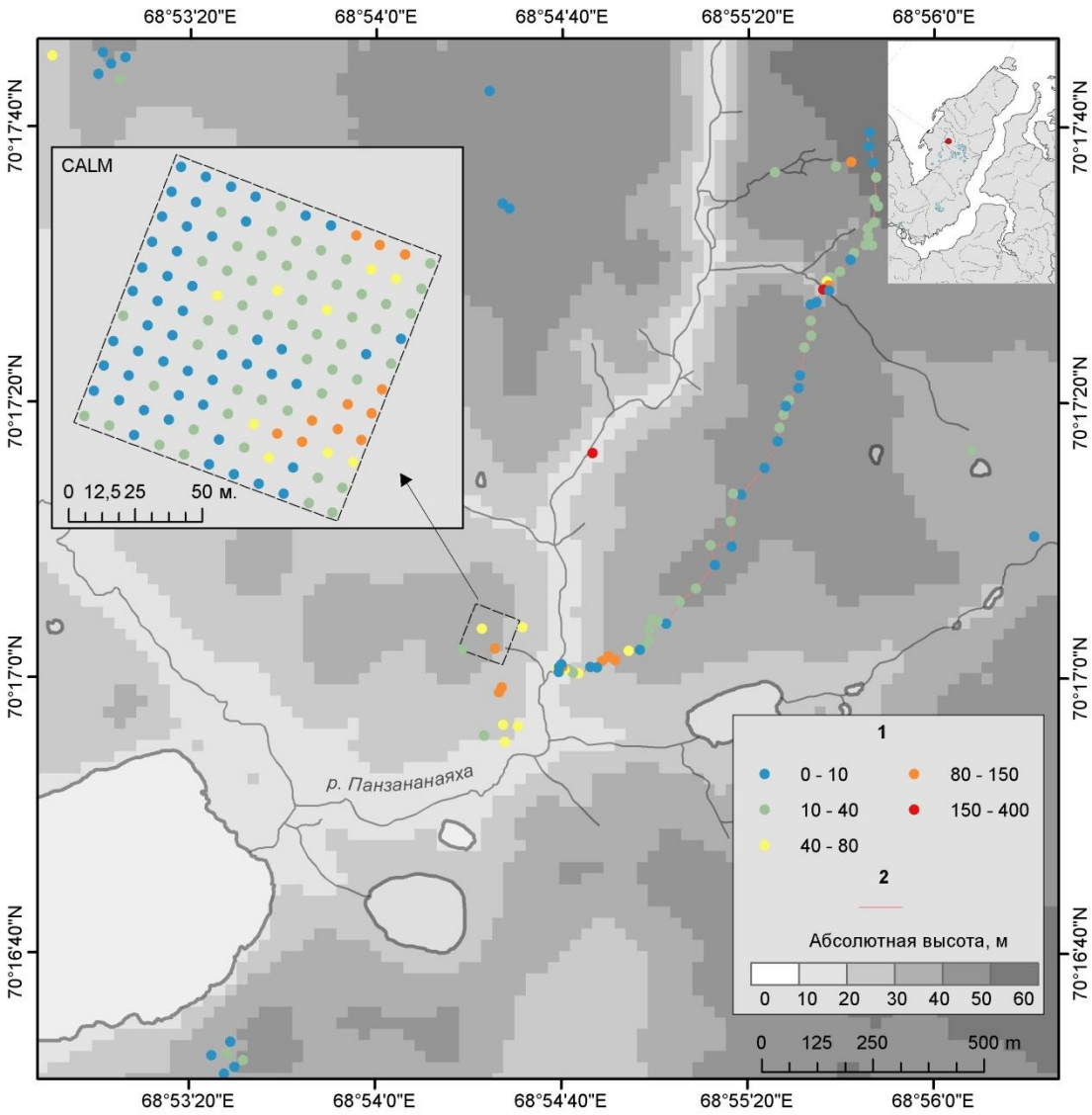


Рис.11 Карта фактического материала снегомерной съемки. 1 - точки измерения толщины снежного покрова и диапазон толщины снежного покрова в каждой точке; 2 - 1,5-километровая геокриологическая трансекта

На плоских поверхностях и протяженных склонах, подверженных ветровому воздействию, в том числе поверхностях скольжения и телах крупных современных оползней, толщина снежного покрова редко достигает 50 см, находясь в основном в диапазоне 10-40 см при средней плотности 0,25 г/см3 и максимальной 0,67 г/см3 на участках снежных гряд, сформированных за счет ветрового переноса. С выпуклых вершин снег, как правило, сдувается полностью, задерживаясь только в понижениях нанорельефа. В этом случае толщина снежного покрова зависит от глубины этих понижений и составляет не более 5-10 см. Снег, не задерживающийся на плоских поверхностях, откладывается в отрицательных формах рельефа, либо у подножий склонов бугров. В этих условиях толщина снежного покрова зависит от вреза отрицательной формы рельефа. В одном из оврагов измеренная глубина снежной толщи достигала 315 см.

Из анализа климатических параметров за последние годы следует, что за период с 2006г. 2012 год отличался наиболее теплым летом, которому предшествовала наиболее теплая зима. Летние атмосферные осадки, в большей степени влияющие на глубину сезонного протаивания, были близки к максимальным, в то время как зимние осадки предшествующего года, главным образом, определяющие температуру пород, были близки к минимальным. Межгодовая динамика температуры сезонно-талого слоя неоднородна в зависимости от местоположения скважины в пределах определенного ландшафта. Средняя температура пород за период 2011-2012, когда зима была самой теплой за рассматриваемый период, в скважине, расположенной на выпуклой вершине, на глубинах 0 и 1,5 м практически не отличается (-3,4 и -4,1ºС соответственно), когда как в скважине на вогнутом закустаренном склоне температура пород на этих же глубинах составляет -2,2 и -0,2ºС соответственно. В основном это связано с различиями в местоположении этих скважин. Как показала снегомерная съемка 2013 г., с выпуклой вершины практически полностью сдувается снег в холодный период, и теплая зима 2011-2012 г. оказала влияние на весь профиль скважины. На вогнутом закустаренном склоне аккумулируются большие запасы снега, не дающие в зимний период породам сезонноталого слоя охлаждаться до температур, близких к температурам воздуха.

Что касается других мелких скважин с глубинами до 1 м, то динамика температуры пород в этих скважинах в большей степени зависит от суммы отрицательных температур воздуха за холодный период, чем от количества зимних осадков и даже от суммы летних температур воздуха. В теплые малоснежные зимы, как например зима 2011-2012 гг., температура пород также выше средней. Количество выпавшего снега практически не влияет на температуру пород. И в годы с малым количеством снега и в годы с большим количеством снега температура пород на изменение количества зимних осадков реагирует слабо.

Для составления карты распределения снежного покрова на ключевом участке в качестве тестового участка была выбрана трансекта 1,5 км, заложенная в 2011 году для проведения регулярных наблюдений за геокриологическими условиями. Проанализированы: свойства поверхности (кривизна, высотное положение, угол наклона, экспозиция), наличие кустарниковой растительности, направление ветра. В качестве основного фактора, от которого зависит толщина снежного покрова, был выбран параметр «кривизна поверхности», который описывает поверхность с точки зрения степени ее выпуклости и вогнутости. Анализ зависимости толщины снежного покрова от значения индекса кривизны поверхности показал достаточно тесную взаимосвязь (рис.12), поэтому фактор кривизны стал основой для расчета первичного значения толщины снега для

трансекты. Рассчитана пространственная статистика индекса кривизны с использованием ГИС-пакета и выявлена математическая закономерность увеличения толщины снежного покрова при уменьшении индекса. Зависимость толщины снега от наличия и высоты кустарников исследовалась так же, как и в случае с ветром: сравнение данных производилось с учетом выпуклости/вогнутости поверхности. На графике (рис.13) приведена зависимость между высотой кустарников и толщиной снега с учетом различий индекса кривизны поверхности. Разделение массива данных в соответствии с этим индексом было сделано для того, чтобы оценить влияние кустарников на распределение снежного покрова именно для выпуклых участков поверхности, поскольку на вогнутых участках это влияние полностью нивелируется фактором рельефа, что видно из графика (см. рис.5). В первом случае наблюдается явная зависимость толщины снега от высоты кустарников и толщины снега, во втором случае разброс точек велик и такая зависимость отсутствует. Это связано с биологической невозможностью достижения кустарником высоты более 1,5 м на участках, где толщина снега превышает это значение [12]. На графике (рис.14) показаны отсортированные значения массива данных для выпуклых склонов. На основании этого графика можно говорить о том, что растительность оказывает задерживающее влияние на снежный покров при перевевании. При этом для участков с невысокими кустарниками (менее 15 см), высота кустарников определяют толщину снега, а более высокие (выше 15 см) - лишь служат «ловушкой» [22], но толщину снега не определяют. Пороговое значение между этими двумя группами зависит, скорее всего, от количества выпавших осадков и варьирует от сезона к сезону. Согласно уравнению регрессии (рис.13) вычислялось лимитирующее значение толщины снежного покрова при наличии кустарников определенной высоты:

$$X = (Y - 10.531)/1.0562,$$

где X-толщина снега, Y- высота кустарников. Значение, полученное для каждой модельной точки, которая попала в контур с кустарниковыми сообществами сравнивалось с первичным значением толщины снега, с введенной поправкой на влияние ветра. В случае, если лимитирующее значение X оказывалось ниже, чем ранее смоделированное, то сохранялось смоделированное значение. Если лимитирующее значение оказывалось выше, то модельное значение толщины снега приравнивалась к лимитирующему. В этом случае кустарниковый покров устанавливал лимит снегонакопления в соответствии с данными полевых наблюдений. Исправленные значения являлись окончательными.

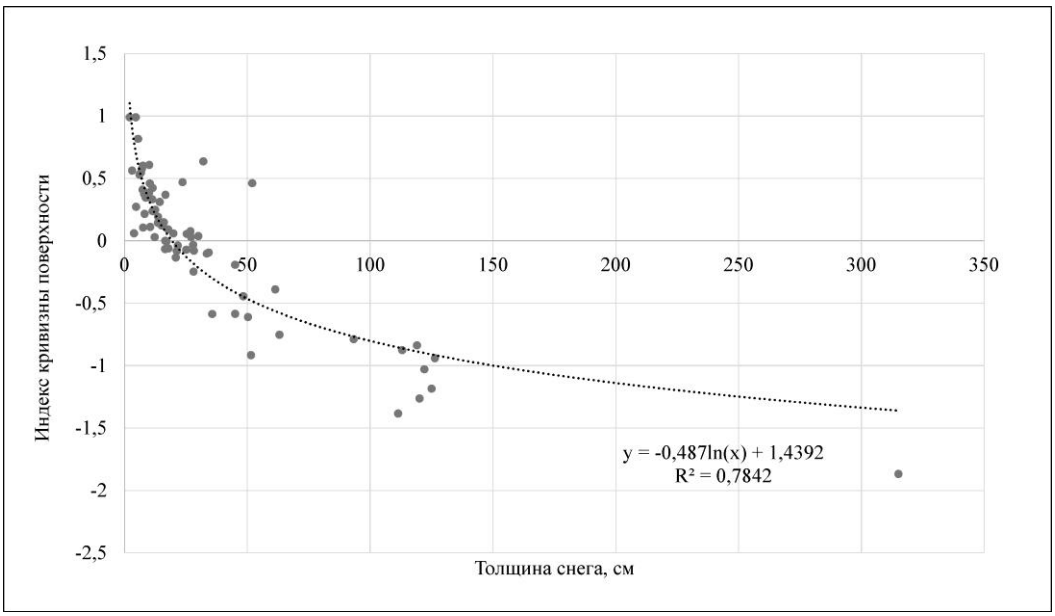


Рис.12 Зависимость между толщиной снежного покрова (см), полученного в результате полевой снегомерной съемки по трансекте и индексом кривизны поверхности.

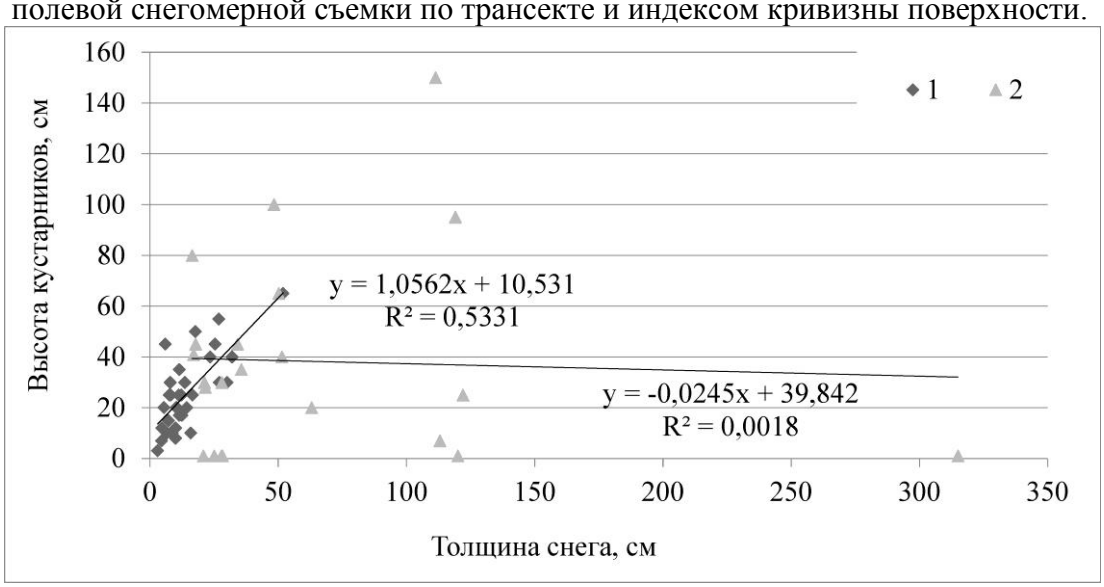


Рис.13 Зависимость толщины снежного покрова от высоты кустарников. Массив данных разбит на две группы: 1 - точки, расположенные на выпуклых участках (индекс кривизны>0); 2 - точки, расположенные на вогнутых участках (индекс кривизны<0).

Рис.14 Зависимость толщины снега (1) от высоты кустарников (2) в условиях сходного рельефа

После введения поправок на уклон поверхности и экспозицию склонов модель распределения снежного покрова на 1,5-км трансекте была экстраполирована на всю территорию ключевого участка. При сопоставлении участка полученной карты (100x100 м) с картой-схемой этого же участка, построенной по полевым измерениям (рис.15), разница между рассчитанными объемами снега (2684 м^3) и полученными по полевым наблюдениям (2931 м^3) не превысила 10%.

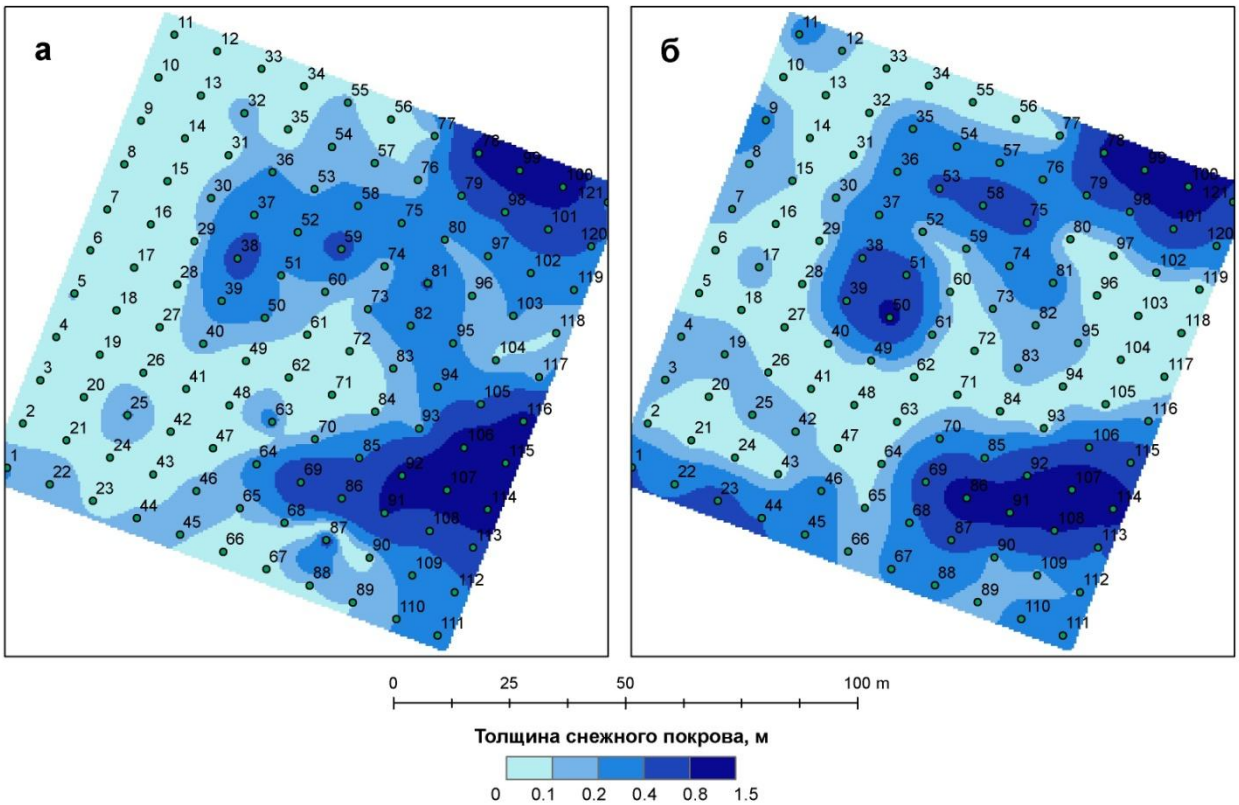


Рис.15 Толщина снежного покрова на площадке CALM, 100x100 м по результатам полевых измерений (а), по результатам моделирования (б).

При сопоставлении данных моделирования толщины снежного покрова с контурами ландшафтов, выделенных на ключевом участке, получилось, что большая часть ландшафтов покрывается снегом толщиной в среднем не превышающей 40 см, 50% из всех ландшафтов (по площади) имеет толщину снежного покрова 20-30 см (рис.16). При наложении контуров ландшафтов на модельную карту снежного покрова (рис.16а) четко видно увеличение толщины снежного покрова в пределах закустаренных поверхностей, вогнутых склонов и значительное увеличение толщины снежного покрова в узких оврагах и долинах. В результате была построена карта распределения снега по ландшафтам (рис.16б). Ландшафты были сгруппированы в соответствии с изменением средней

толщины снежного покрова с шагом 10 см. Сравнение показывает, что моделированные абсолютные значения толщины снежного покрова не всегда равномерно распределяются в контуре ландшафта с заданным диапазоном средней толщины снежного покрова.

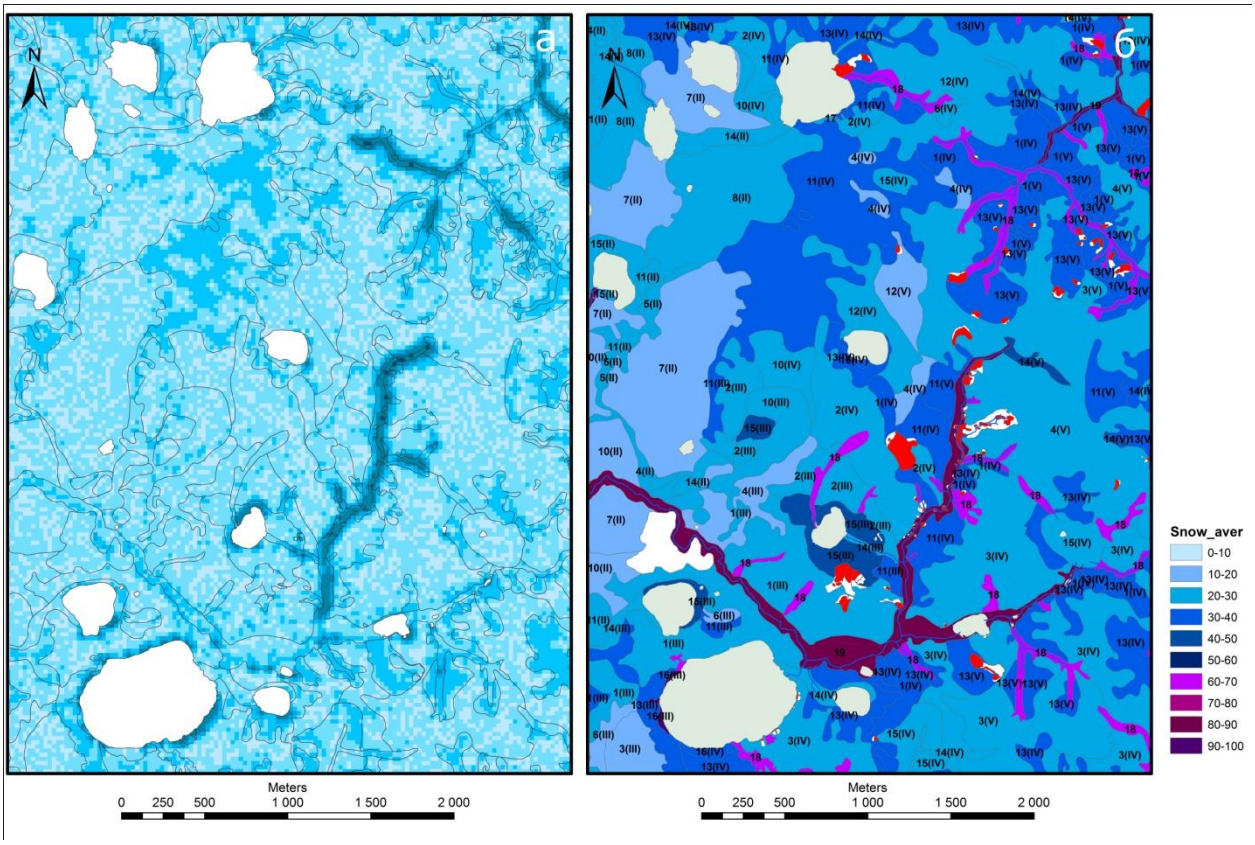


Рис.16. Толщина снежного покрова на ключевом участке по результатам моделирования (raw) с нанесенными контурами ландшафтов (а), карта распределения снега по ландшафтам

Далее рассмотрен процесс формирования температурного поля пород под влиянием перераспределения снега на полигоне Васькины Дачи (Центральный Ямал). В результате снегомерной съемки, проведенной в конце марта 2013 года, установлено фактическое перераспределение снега по площади полигона. В результате ветрового переноса на горизонтальных поверхностях толщина снега варьирует в пределах 0-30 см, реже 40 см. В таблице 8 приведен список термометрических скважин, соответствующей им характеристикой различных форм поверхности и измеренной толщиной снежного покрова.

Таблица 8. Характеристика форм поверхности и соответствующей им толщины снежного покрова

Номер скважины	**Форма рельефа, характер растительного покрова**	**Толщина мохового покрова, см**	**Толщина снежного покрова, см (по данным снегомерки 2013 г)**	**Описание ландшафта по карте (Khomutov&Leibman, 2014)**
Площадка VD-1	Плоская вершина, переходящая в пологий склон.	6	8	(3) Плоские субгоризонтальные водораздельные поверхности ***с травяно-кустарниково-моховыми тундрами на супесях и суглинках***, с участками полигональных травяно-кустарниково-лишайниково-моховых тундр на песках и супесях
Площадка VD-2	Плоская вершина, переходящая в пологий склон.	3	10	(2) Плоские субгоризонтальные водораздельные поверхности ***с мелкобугорковатыми травяно-кустарничково-мохово-лишайниковыми*** и кочковатыми кустарниково-травяно-моховыми ***тундрами на супесях и суглинках*** (местами с раздувами)
Площадка VD-3	II аллювиальная терраса	2	n/d	(5) Краевые части плоских субгоризонтальных поверхностей с ***мелкобугорковатыми полигональными травяно-кустарничково-мохово-лишайниковыми тундрами на супесях*** (местами с раздувами)
Площадка CALM	Выпуклая вершина	0	3	(1) Пологохолмистые субгоризонтальные водораздельные поверхности (выпуклые вершины холмов и их склоны) ***с полигональными кустарничково-травяно-лишайниковыми тундрами с раздувами на песках и супесях***, местами с травяно-кустарниково-моховыми тундрами на супесях и суглинках
AG 19/3	Вогнутый склон	10	83	(1) Пологохолмистые субгоризонтальные водораздельные поверхности (выпуклые вершины холмов и их склоны) с полигональными кустарничково-травяно-лишайниковыми тундрами с раздувами на песках и супесях, ***местами с травяно-кустарниково-моховыми***

Номер скважины	Форма рельефа, характер растительного покрова	Толщина мохового покрова, см	Толщина снежного покрова, см (по данным снегомерки 2013 г)	Описание ландшафта по карте (Khomutov&Leibman, 2014)
				тундрами на супесях и суглинках
LGT	Верхняя часть склона средней крутизны		16	(1) Пологохолмистые субгоризонтальные водораздельные поверхности (выпуклые вершины холмов и их склоны) ***с полигональными кустарничково-травяно-лишайниковыми тундрами*** с раздувами ***на песках и супесях***, местами с травяно-кустарниково-моховыми тундрами на супесях и суглинках
АГГ-1	Субгоризонтальная поверхность		8	(4) Плоские субгоризонтальные водораздельные поверхности ***с бугорковато-кочковатыми кустарниково-травяно-моховыми тундрами на супесях и суглинках***
Овраг	Днище оврага		315	(18) Лога, балки и ***овраги с плоским заболоченным травяно-моховым днищем и крутыми бугорковато-кочковатыми бортами*** с травяно-моховыми ивняками и ерниками ***на суглинках и глинах***
Оползневой цирк	Вогнутый склон		150	(13) Вогнутые пологие оползневые склоны с поверхностями скольжения древних оползней ***с разнотравно-злаковыми ивняками на суглинках и засоленных глинах***
Торфяник	Полигональный торфяник		n/d	(6) Плоские субгоризонтальные поверхности ***с полигональными плоскобугристыми морошково-осоково-лишайниково-сфагновыми торфяниками на оторфованных супесях, суглинках и торфе***

Установлено, что при толщине снега от 0 до 10 см влияние на формирование температурного режима пород не превышает 1,5°, среднегодовая температура пород до глубины 1 м повторяет ход среднегодовой температуры воздуха (рис. 17).

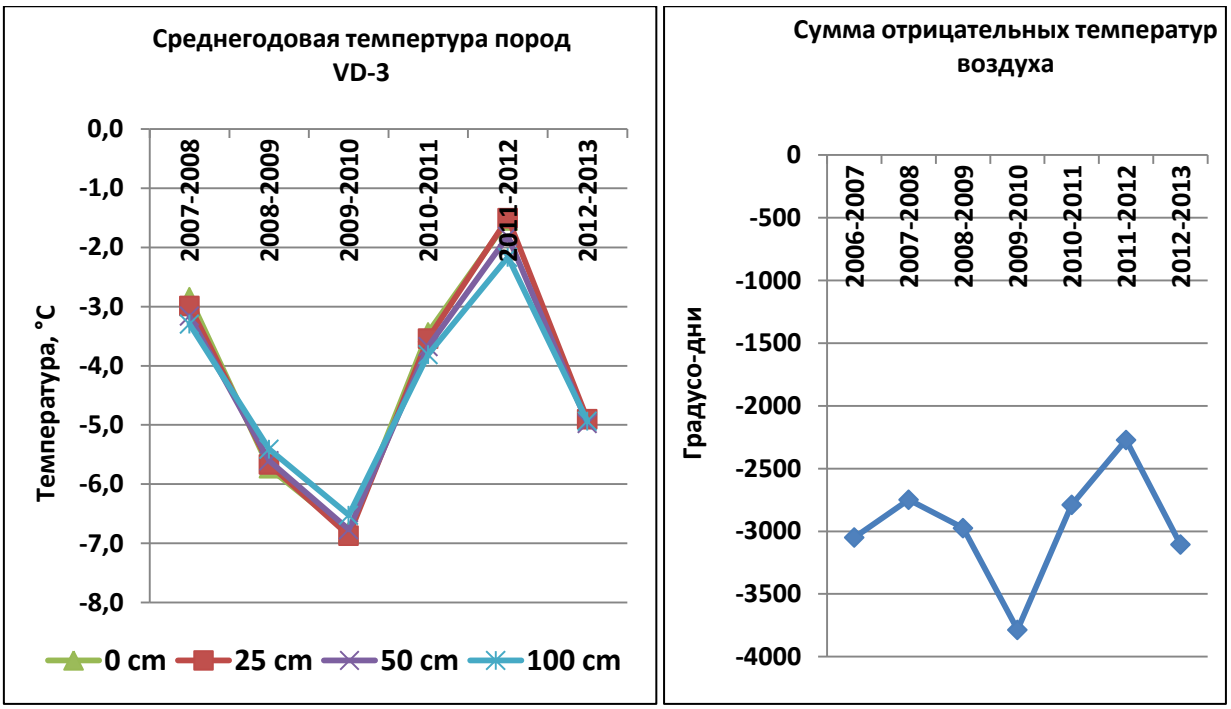


Рис. 17. Графики среднегодовой температуры пород на разной глубине в скважине VD-3 и изменение суммы отрицательных температур воздуха.

Для отрицательных форм рельефа установлено активное снегонакопление, а толщина снежного покрова достигает величин, превышающих 3 м. Также активное снегонакопление происходит на подветренных участках склонов холмов. Повышенная толщина снежного покрова в результате теплоизолирующего действия приводит к повышению среднегодовой температуры пород до значений, близких к 0°C. Измерения в скважине AG 19/3 (толщина снежного покрова 83 см) до глубины 10 см показали положительные значения среднегодовой температуры пород (0,1°C − 1,4°C). На глубинах ниже 10 до 100 см среднегодовая температура пород изменяется в пределах 0°C − -0,4°C (рис.18).

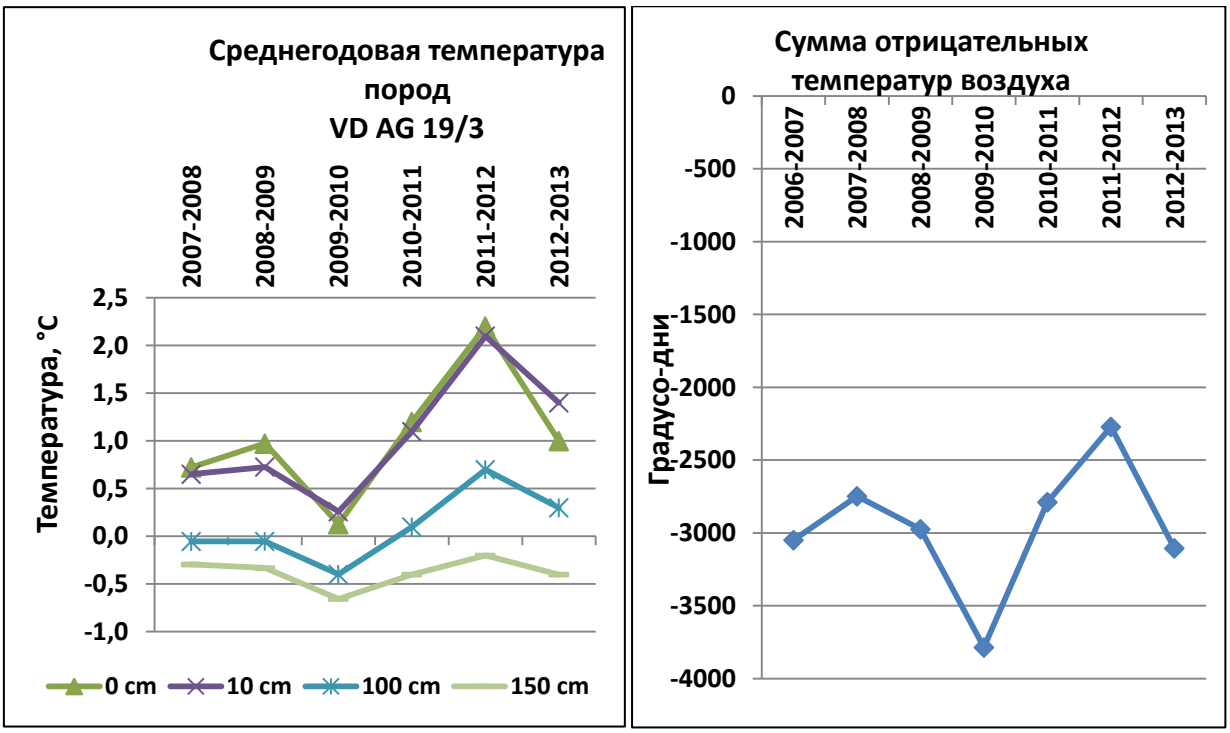


Рис. 18. Графики среднегодовой температуры пород на разной глубине и изменения суммы отрицательных температур воздуха по скважине AG-19/3.

Влияние перераспределения снежного покрова приводит к формированию латерального градиента среднегодовой температуры пород в пределах одного элемента рельефа, например, в пределах верхней части склона, с которой снег сдувается, и нижней части того же склона, на котором снег накапливается или по меньшей мере не сдувается. Такое различие влияет на развитие либо деградацию ММП.

На данном этапе показатели распределения снежного покрова за 1 год можно использовать как маркер преимущественного формирования теплового состояния пород деятельного слоя с учетом наличия данных о температуре по скважинам с глубинами до 1,5 м. После детального экспертного анализа данных по температурам пород в существующих на ключевом участке скважинах, характера снегонакопления в районе этих скважин, предпринята попытка экстраполировать полученные данные на всю площадь ключевого участка на основе построенной карты распределения снежного покрова. В результате построена карта теплового поля пород деятельного слоя на глубине 1 м (рис.19). Для определения контуров с различными температурами использовалось соотношение среднегодовой температуры пород на глубине 1 м по скважинам и толщины снежного покрова по карте (рис.16а). Соотношение данных приведено в таблице 9.

Таблица 9. Соотношение толщины снежного покрова и среднегодовой температуры пород

Диапазон толщины снежного покрова, см	**Диапазон среднегодовой температуры пород на глубине 1 м,ºС**
Менее 10	Ниже -3,0
10-40	От -3,0 до -1,5
40-80	От -1,5 до -0,1
Более 80	Выше -0,1

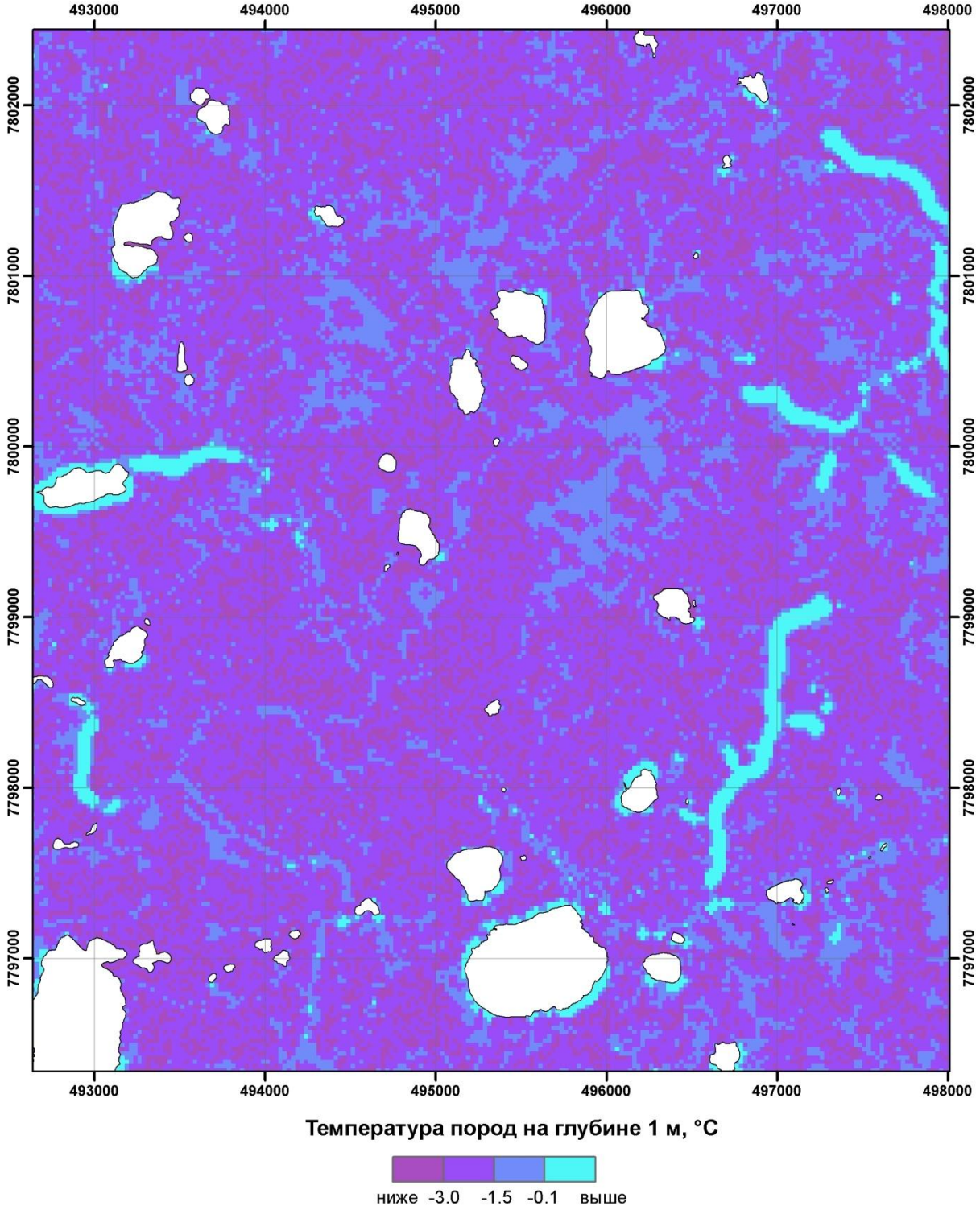


Рис. 19. Тепловое поле пород деятельного слоя на глубине 1 м (пределы изменения среднегодовой температуры).

Таким образом, на ключевом участке с высокой расчлененностью рельефа и характерными зимними ветрами с высокой скоростью, часто превышающей 5 м/сек (скорость метелевого переноса), перевевание снега является одним из факторов дифференциации параметров снежного покрова, а следовательно и теплового состояния пород. На плоских поверхностях накопление снега возможно только за счет снегозадерживающей роли нано- или микрорельефа и растительности. Основные объемы снега скапливаются в отрицательных формах рельефа и у подножий склонов с подветренных (западных, северо-западных) и частично наветренных (восточных, юго-восточных) сторон. Толщина снега определяет тепловое состояние пород. Так, в местах скопления снега толщиной более 80 см, среднегодовая температура пород на глубинах до 1 м будет иметь значения близкие к 0°С, а на глубинах до 10 см - положительные значения. На участках скопления снега толщиной до 80 см среднегодовая температура пород имеет отрицательные значения, а на участках сдувания снега она приближается к среднегодовой температуре воздуха.

Сопоставление ландшафтной карты с картой распределения толщины снежного покрова показало, что моделируемая толщина снежного покрова соответствует ожидаемой величине, зависящей от характера рельефа и распространения кустарниковой растительности.

Распределение теплового поля пород на глубине 1 м находится в зависимости от параметров снегонакопления на конкретной поверхности. Четко выделяются глубоковрезанные долины, овражная сеть и поверхности под обрывистыми уступами со среднегодовой температурой пород не опускающейся ниже -0,1°С и выпуклые вершины с низким растительным покровом без кустарников со среднегодовой температурой пород, не поднимающейся выше -3,0°С. На остальных поверхностях (от плоских водоразделов и террас с небольшим снегозадержанием до закустаренных водоразделов и склонов с повышенным снегозадержанием) среднегодовая температура пород изменяется от -0,1 до -3,0°С и условно делится на 2 группы: с изменением среднегодовой температуры в пределах -0,1_-1,5°С и -1,5_-3,0°С в зависимости от толщины снежного покрова.

Публикации по теме в 2012-2014 г.

Монографии, главы в монографиях

Leibman, M.O., Gubarkov, A.A., Khomutov, A.V. 2012. Research station Vaskiny Dachi. Excursion guidebook. Tenth International Conference on Permafrost, Salekhard, Russia, June 25-29, 2012. Tyumen: Pechatnik, 50 pp.

Gubarkov A., Leibman M., Andreeva M. Cryogenic landslides in paragenetic complexes of slope and channel processes in the Central Yamal Peninsula // W. Shan et al. (eds.), Landslides in Cold Regions in the Context of Climate Change, Environmental Science and Engineering, DOI: 10.1007/978-3-319-00867-7_11, Springer International Publishing, Switzerland, 2014, P. 291-308.

Khomutov A., Leibman M. Assessment of landslide hazards in a typical tundra of Central Yamal // W. Shan et al. (eds.), Landslides in Cold Regions in the Context of Climate Change, Environmental Science and Engineering, DOI: 10.1007/978-3-319-00867-7_11, Springer International Publishing, Switzerland, 2014, P. 271-290.

Leibman M., Khomutov A., Kizyakov A. Cryogenic landslides in the West-Siberian plain of Russia: classification, mechanisms, and landforms // W. Shan et al. (eds.), Landslides in Cold Regions in the Context of Climate Change, Environmental Science and Engineering, DOI: 10.1007/978-3-319-00867-7_11, Springer International Publishing, Switzerland, 2014, P. 143-162.

Статьи в российских рецензируемых журналах

Хомутов А.В., Лейбман М.О., Андреева М.В. Методика картографирования пластовых льдов Центрального Ямала // Вестник Тюменского Государственного Университета, №7, 2012, Науки о Земле, С. 76–84

Ермохина К.А., Мяло Е.Г. Фитоиндикационные признаки дефляции на Центральном Ямале // Вестник МГУ. Серия 5. География, М: Изд-во МГУ, 4, 2012, с. 33-39

Чимитдоржиев Т.Н., Быков М.Е., Лейбман М.О., Дагуров П.Н., Кирбижекова И.И., Дворников Ю.А., Бердников Н.М. Исследование микродеформаций и оползневых процессов северных территорий Западной Сибири на основе интерферометрических данных // Вестник СибГАУ. 2013. Вып. 5(51). С. 65-68.

Хомутов А.В., Хитун О.В. Динамика растительного покрова и глубины сезонного протаивания в типичной тундре Центрального Ямала при техногенном воздействии // Вестник Тюменского Государственного Университета, №4, 2014, Науки о Земле, С. 17–27.

Дворников Ю.А., Хомутов А.В., Муллануров Д.Р., Ермохина К.А. Моделирование распределения водного эквивалента снежного покрова в тундре с использованием ГИС и данных полевой снегомерной съемки // Лед и снег, 2014 (в печати)

Статьи в зарубежных рецензируемых изданиях (входящих в системы цитирования)

Walker D.A., Epstein H.E., Raynolds M.K., Kuss P., Kopecky M.A., Frost G.V., Daniëls F.J.A., Leibman M.O., Moskalenko N.G., Matyshak G.V., Khitun O.V., Khomutov A.V., Forbes B.C., Bhatt U.S., Kade A.N., Vonlanthen C.M., Tichý L. Environment, vegetation and greenness (NDVI) along the North America and Eurasia Arctic transects // Environmental Research Letters 7 (2012) 015504, IOP Publishing, 2012, (17 pp) (http://iopscience.iop.org/1748-9326/7/1/015504).

Trofaier A. M., Bartsch A., Rees W. G., Leibman M.O. Assessment of spring floods and surface water extent over the Yamalo-Nenets Autonomous District. Environmental Research Letters 8 (2013) 045026, IOP Publishing, 2013, (9 pp) (http://iopscience.iop.org/1748-9326/8/4/045026).

Dvornikov Yu.A., Khomutov A.V., Mullanurov D.R., Ermokhina K.A., Gubarkov A.A., Leibman M.O. GIS- and field databased modeling of snow water equivalent in shrub tundra // Fennia, 2014 (in press)

Khitun O.V., Ermokhina K.A., Leibman M.O., Chernyadjeva I.V., Khomutov A.V. Floristic complexes on landslides of different age in Central Yamal, West Siberian Low Arctic, Russia // Fennia, 2014 (in press)

Leibman, M.O., Gubarkov, A.A., Khomutov, A.V. Research station “Vaskiny Dachi”. Review of long-term activities // Fennia, 2014 (in press)

Материалы и тезисы конференций

Leibman M.O., Khomutov A.V., Kizyakov A.I. Cryogenic Landslides in the Arctic Plains of Russia: theory and phenomena. In: Shan Wei, Guo Ying, Zhang Chengcheng, eds. Proceedings of The First Meeting of Cold Region Landslides Network and First Symposium on Landslides in Cold regions, July 23-27, 2012, Harbin, China, 2012. P.37-48.

Ермохина К.А., Мяло Е.Г. Фитоиндикация оползневых нарушений на Центральном Ямале Труды Десятой Международной конференции по мерзлотоведению, 2012, т. 3, с. 177-182.

Хомутов А.В. Оценка оползневой опасности в типичной тундре Центрального Ямала // Труды Десятой Международной конференции по мерзлотоведению, 2012, т. 3, с. 555-560.

Frost G.V., Epstein H.E., Walker D.A., Matyshak G., and Ermokhina K. Linkages between patterned ground, alder shrubland development, and active layer temperature in the northwest Siberian low Arctic. Tenth International Conference on Permafrost, Volume 1 pp.119-124.

Ermokhina, K. 2012. Phytoindication of Landslide Disturbances in the Central Yamal. Third Yamal Land-Cover Land-Use Change Workshop. Rovaniemi, Finland May 19-20.

Khomutov, A. 2012. Mapping of Active Layer Depths Using Correlation between Active Layer Depth and Vegetation Parameters on Central Yamal, Russia. From Knowledge to Action, 2012 IPY Conference. Montreal, Quebec May 22-27.

Khomutov, A., Leibman, M.O., Moskalenko, N., Orekhov, P., Mullanurov, D. 2012. Database of EAT permafrost information. Third Yamal Land-Cover Land-Use Change Workshop. Rovaniemi, Finland May 19-20.

Leibman M., Khomutov A., Ermokhina K., Andreeva M., Elancev E., Gubarkov A., Gerasimov A., Dvornikov Yu. Mapping of permafrost features using land-based and remote-sensing data. In: ESA DUE Permafrost Final Workshop February 15-17, 2012, Potsdam, Alfred-Wegener-Institute for Polar and Marine Research, Germany. Abstract volume, P.11.

Хомутов А.В. Влияние техногенеза на растительный покров и глубину сезонного протаивания (на примере полигона "Васькины Дачи", Центральный Ямал) // Природно-антропогенные геосистемы: мировой и региональный опыт исследований: IV молодежная научная школа-семинар и конференция; 13-16 сентября 2012 г.; Курская биосферная станция ИГРАН: Тезисы докладов /Сост. Шоркунов И.Г. -М.: "11-й ФОРМАТ", 2012, С. 186-187.

Хомутов А.В. Техногенное воздействие на глубину сезонного протаивания в подзоне типичных тундр Центрального Ямала // Окружающая среда и менеджмент природных ресурсов: Тезисы докладов III Международной конференции, г.Тюмень, 6-8 ноября 2012 г. / под ред. А.В. Соромотина, А.В. Толстикова. Тюмень: Изд. ТюмГУ, 2012, С. 243-245.

Дворников Ю.А., Хомутов А.В., Муллануров Д.Р. Анализ распределения снежного покрова в тундре с использованием математико-статистической обработки полевых измерений // Тезисы конференции « Современные и прогнозируемые изменения природных условий в высоких широтах», (Сочи, 7-9 октября 2013), с. 35. http://polar2013.ru/index/tezisy/0-14

Лейбман М.О., Хомутов А.В., Муллануров Д.Р., Дворников Ю.А. Динамика температуры пород верхних горизонтов и глубины сезонного протаивания под влиянием комплекса климатических и ландшафтных факторов // Тезисы конференции « Современные и

прогнозируемые изменения природных условий в высоких широтах», (Сочи, 7-9 октября 2013), с. 46. http://polar2013.ru/index/tezisy/0-14

Муллануров Д.Р., Лейбман М.О., Хомутов А.В. Факторы, определяющие температуру пород на Центральном Ямале, и их связь с изменениями климата // Межд. конф. "Криология Земли: XXI век" (29 сентября-3 октября 2013, Пущино, Моск.обл.). Пущино, 2013, С. 143-144.

Муллануров Д.Р., Дворников Ю.А., Лейбман М.О., Хомутов А.В. Влияние перераспределения снежного покрова на формирование температурного поля пород на примере Центрального Ямала // Тезисы конференции « Современные и прогнозируемые изменения природных условий в высоких широтах», (Сочи, 7-9 октября 2013), с. 39. http://polar2013.ru/index/tezisy/0-14

Хомутов А.В., Дворников Ю.А., Муллануров Д.Р., Лейбман М.О. Распределение снега на Центральном Ямале в связи с климатическими и геоморфологическими особенностями района // Тезисы конференции « Современные и прогнозируемые изменения природных условий в высоких широтах», (Сочи, 7-9 октября 2013), с. 40–41. http://polar2013.ru/index/tezisy/0-14

Чимитдоржиев Т.Н., Кирбижекова И.И., Лейбман М.О., Быков М.Е. Исследование оползневых процессов и деформаций почвенного покрова полуострова Ямал на основе интерферометрических радиолокационных данных // ИНТЕРЭСКПО ГЕО-Сибирь-2013. IXМеждунар. Науч. конгр., 15-26 апреля 2013 г., Новосибирск: Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология»: сб.материалов в 2-х т. Т. 1. – Новосибирск: СГГА, 2013, С. 134-138.

Chimitdorzhiev T.N., Kirbizhekova I.I., Leibman M.O., Bikov M.E., Dvornikov Y.A. Assessment of the intensity of the cryogenic process Yamal peninsula of radar data images // Proceeding of the 6th International Workshop on Remote Sensing and Environmental Innovations in Mongolia. Ulaanbaatar. 2013. Pp. 82-85.

Fedorova I., Skorospekhova T., Shumskaya N., Onoshko V., Heim B., Rößler S., Chetverova A., Eulenburg A., Dvornikov Y. (2013) Current state and vulnerability of Yamal hydroecological systems (West Siberia, Russia), Arctic Science Summit Week 2013-abstract, Krakow, Poland, 13 April 2013 - 19 April 2013, Ref.#: T_3055. http://www.assw2013.us.edu.pl/

Leibman M.O., Khomutov A.V., Mullanurov D.R., Dvornikov Yu.A. New massive ground ice exposures due to activation of earth flows on slopes in Central Yamal during extremely warm summers of 2012-2013 // Int. Conf. “Earth Cryology: XXI Century (September 29 – October 3, 2013, Pushchino, Moscow region, Russia). Pushchino, 2013, P. 94–95.

Mullanurov D.R., Leibman M.O., Khomutov A.V. Ground temperature controls and their relation to climate fluctuations on Central Yamal // Int. Conf. “Earth Cryology: XXI Century (September 29 – October 3, 2013, Pushchino, Moscow region, Russia). Pushchino, 2013, P. 92–93.

Хомутов А.В., Дворников Ю.А., Хитун О.В. Изучение динамики линейных техногенных нарушений поверхности на Центральном Ямале с применением дистанционных данных / Освоение Севера и проблемы природовосстановления: Материалы IX Всероссийской научной конференции (27-29 мая 2014 г., Сыктывкар). – Сыктывкар, 2014. С. 107-112.

Ermokhina K. Vegetation dynamics of landslide affected slopes (Central Yamal) // Landslide Science for a Safer Geoenvironment. Proceedings of World Landslide Forum 3, 2-6 June 2014, Beijing, Eds.: K.Sassa, P.Canuti, Y.Yin, Vol.3, Targeted Landslides. Springer International Publishing Switzerland 2014. P. 443-449.

Gubarkov A., Leibman M. Cryogenic landslides in paragenetic complexes of slope and channel processes in the Central Yamal Peninsula // Landslide Science for a Safer Geoenvironment. Proceedings of World Landslide Forum 3, 2-6 June 2014, Beijing, Eds.: K.Sassa, P.Canuti, Y.Yin, Vol.3, Targeted Landslides. Springer International Publishing Switzerland 2014. P. 457-462.

Khitun O., Chernyadjeva I., Leibman M. Dynamics of vegetation on cryogenic landslides of different age in Central Yamal (West Siberian Arctic) // Landslide Science for a Safer Geoenvironment. Proceedings of World Landslide Forum 3, 2-6 June 2014, Beijing, Eds.: K.Sassa, P.Canuti, Y.Yin, Vol.3, Targeted Landslides. Springer International Publishing Switzerland 2014. P. 481-485.

Khomutov A., Leibman M. Assessment of landsliding hazard in typical tundra of Central Yamal, Russia. // Landslide Science for a Safer Geoenvironment. Proceedings of World Landslide Forum 3, 2-6 June 2014, Beijing, Eds.: K.Sassa, P.Canuti, Y.Yin, Vol.3, Targeted Landslides. Springer International Publishing Switzerland 2014. P. 487-492.

Leibman M., Khomutov A., Kizyakov A. Cryogenic landslides in the Arctic Plains of Russia: classification, mechanisms, and landforms. // Landslide Science for a Safer Geoenvironment. Proceedings of World Landslide Forum 3, 2-6 June 2014, Beijing, Eds.: K.Sassa, P.Canuti, Y.Yin, Vol.3, Targeted Landslides. Springer International Publishing Switzerland 2014. P. 493-497.

Dvornikov Yu.A, Heim B., Leibman M.O., Khomutov A. (2014) Assessment of dissolved organic matter transport to thermokarst lakes of Yamal peninsula , DUE Permafrost 2014 workshop, Frascati, Italy, 11 February 2014 - 13 February 2014

Dvornikov Yu., Khomutov A., Leibman M., Mullanurov D. DEM-based analysis of snow cover distribution in tundra zone (Yamal, Russia) // Book of Abstract of EUCOP4 - 4th European Conference on Permafrost, 18-21 June 2014 - Évora, Portugal. Eds.: G. Vieira, P. Pina, C. Mora, A. Correia. University of Lisbon and University of Évora, 2014, P. 382.

Khomutov A., Leibman M., Bartsch A., Dvornikov Yu., Ermokhina K., Mullanurov D. // Ground-based active layer monitoring as a benchmark and verifier of remote active layer depth mapping, Central Yamal, Russia // Book of Abstract of EUCOP4 - 4th European Conference on Permafrost, 18-21 June 2014 - Évora, Portugal. Eds.: G. Vieira, P. Pina, C. Mora, A. Correia. University of Lisbon and University of Évora, 2014, P. 436.

Leibman M., Bartsch A., Dvornikov Yu., Heim B., Ermokhina K., Khomutov A., Kumpula T., Mullanurov D., Trofaier A.M., Widhalm B. Remote-sensing data application for permafrost monitoring on Yamal, Russia // Book of Abstract of EUCOP4 - 4th European Conference on Permafrost, 18-21 June 2014 - Évora, Portugal. Eds.: G. Vieira, P. Pina, C. Mora, A. Correia. University of Lisbon and University of Évora, 2014, P. 374.

Mullanurov D., Khomutov A., Leibman M., Dvornikov Yu. Ground temperature dynamics on the Central Yamal and digital ground temperature regime model // Book of Abstract of EUCOP4 - 4th European Conference on Permafrost, 18-21 June 2014 - Évora, Portugal. Eds.: G. Vieira, P. Pina, C. Mora, A. Correia. University of Lisbon and University of Évora, 2014, P. 440.