УДК 551.345

ДИНАМИКА ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВ МЕРЗЛОТНЫХ ЛАНДШАФТОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

© 2012 С.П. Варламов, П.Н. Скрябин

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, г. Якутск

Поступила в редакцию 26.03.2012

Обобщены результаты геокриологического мониторинга, организованного с 1987 г. на правобережье средней Лены. Объектами исследований являются верхние горизонты криолитозоны. Сделан вывод, что основным фактором, определяющим межгодовые изменения термического состояния мерзлотных ландшафтов, является режим снегонакопления. На основе экспериментальных данных количественно оценена динамика теплового состояния грунтов. Установлено, что тренды изменений средних годовых температур грунтов на подошве слоя годовых теплооборотов изменяются от слабо отрицательных до положительных значений.

Ключевые слова: *мерзлотные ландшафты, мониторинг, криолитозона, климат, среднегодовая температура грунтов*

Оценка влияния современного потепления климата на криолитозону охватывает широкий круг проблем, включая эволюцию теплового состояния грунтов природных комплексов. В последние десятилетия в связи с развитием во многих странах исследований по изучению современных изменений климата, возрос интерес к работам, рассматривающим вопросы реакции мерзлых толщ на прогнозируемое потепление. Примерно 65% территории России занимает многолетняя мерзлота, чувствительная к изменению климата.

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН с 1987 г. проводит комплексный геокриологический мониторинг на правобережье р. Лены с охватом её низких, средних, высоких террас и в северной части Приленского плато. Основная цель этих исследований заключается в изучении геокриологических условий, особенностей теплообмена грунтов с атмосферой, в оценке теплового режима грунтов. Долговременные исследования позволили установить закономерности межгодовой изменчивости теплового состояния грунтов мерзлотных ландшафтов в условиях современного потепления климата. Результаты мониторинга представляют надежную основу для разработки и осуществления мероприятий по охране окружающей среды.

Постановка и методика исследований. При выполнении работ решались следующие основные задачи: маршрутное обследование ландшафтных условий территории, выбор объектов, организация системы наблюдательной сети, анализ данных многолетних наблюдений метеостанций, проведение режимных наблюдений на мониторинговых полигонах и оценка пространственно-временной изменчивости теплового состояния грунтов. В районе работ выделено более 100 природно-территориальных комплексов, различающихся между собой растительным и напочвенным покровами и, как следствие, мерзлотными условиями. В целом на низких надпойменных террасах р. Лены отмечается сплошное распространение многолетнемерзлых пород, как по площади, так и в разрезе. Средние надпойменные террасы характеризуются наличием над- и межмерзлотных водонасыщенных таликов среди высокотемпературных криогенных толщ. Отличительной особенностью высокой надпойменной террасы является значительное распространение повторно-жильных льдов в супесчано-суглинистых отложениях. Фрагментарное развитие ледового комплекса отмечается и в пределах склонов Приленского плато.

Исследования теплового режима грунтов проводятся на основе ландшафтных и мониторинговых методов. Ландшафтные исследования представляют дистанционное и наземное изучение ПТК, их систематизацию и картографическое обобщение. Результаты исследований послужили основой выбора объектов и организации мониторинга за тепловым состоянием верхних горизонтов криолитозоны. Мониторинговые полигоны созданы в 6 физико-географических районах, где выделено 9 типов местности и более 100 урочищ. Комплекс наблюдений на мониторинговых полигонах включает: ландшафтное обследование, криогенные процессы и явления, состав и криогенное строение грунтов, температура грунтов, влажность и объемный вес грунтов, протаивание грунтов, теплопроводность напочвенных покровов и грунтов, высота и плотность снежного покрова.

Варламов Степан Прокопьевич, кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории геотеплофизики и прогноза. E-mail:vsp@mpi.ysn.ru

Скрябин Павел Николаевич, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории геотеплофизики и прогноза. E-mail:vsp@mpi.ysn.ru

Объектами исследований являются литогенные основы мерзлотных ландшафтов – грунты слоя годовых теплооборотов до глубины 10-15 м. Основными индикаторами динамики теплового состояния верхних горизонтов криолитозоны являются: мощность сезонноталого слоя (ξ) и среднегодовая температура грунтов на подошве слоя годовых теплооборотов (t_o). Регистраторами температуры грунтов используются полупроводниковые терморезисторы ММТ-4 с точностью измерений ±0,1°С. Замеры температуры грунтов в скважинах проводятся терморезисторными гирляндами на глубинах 1, 2, 3, 4, 6, 8 и 10 м. В режимных скважинах термогирлянды установлены стационарно, т.е. стволы их заполнены ранее извлеченным грунтом. Обобщение и анализ результатов наблюдений на разных этапах мониторинга представлено в ряде работ [1, 2 и др.].

Современное изменение климата. В Центральной Якутии со второй половины 60-х годов прошлого века по оценке Ю.Б. Скачкова [3] наблюдается один из наиболее высоких в России трендов повышения среднегодовой температуры воздуха (до 0,08°С /год). Последнее десятилетие XX века стало самым теплым (–8,7 °С) за всю историю метеорологических наблюдений в Центральной Якутии. Такая же тенденция сохраняется и в первое десятилетие наступившего века. Временная изменчивость элементов климата классифицированы пятью типами: для температура воздуха: – аномально холодный (АХ), холодный (Х), нормальный (Н), теплый (Т), аномально теплый (АТ); для осадков – аномально сухой (АС), сухой (С), нормальный (Но), влажный (В), аномально влажный (АВ); для сроков образования устойчивого снежного покрова (ОУС) – аномально поздний (АП), поздний (П), нормальный (Ноус), ранний (Р), аномально ранний (АР); для средней зимней высоты снежного покрова (hc) – аномально малоснежный (АМл), малоснежный (Мл), нормальный (Нс), многоснежный (Мн), аномально многоснежный АМн). За период наблюдений по средней зимней температуре воздуха 6 зим были оценены нормальными, 3 – теплыми, 19 – аномально теплыми и только одна холодной. По высоте снежного покрова отмечены следующие зимы: 7 аномально многоснежные, 7 – многоснежные, 3 – аномально малоснежные, 3 – малоснежные, 10 – нормальные (табл. 1).

Таблица 1. Качественная характеристика года и сезонов по сочетанию тепла, влаги и режима снегонакопления в 1980/1981-2009/2010 гг. (по данным м/с Якутск)

Температура воздуха				**Осадки**			**Снежный покров**			
Тип	Год	ХП	ТП	Тип	Год	ТП	Тип	ОУС	Тип	hc
АХ	-	-	1	АС	5	6	АП	5	АМл	3
Х	-	1	1	С	5	6	П	7	Мл	3
Н	6	7	10	Но	13	10	Ноус	4	Нс	10
Т	5	3	5	В	5	7	Р	10	Мн	7
АТ	19	19	13	АВ	2	2	АР	4	АМн	7

Примечание: ХП – холодный период, ТП – теплый период

Оценки ожидаемых тенденций изменения температуры воздуха в XXI веке у исследователей неоднозначные. Прогноз изменения климата, составленный Главной геофизической обсерваторией им. А.И. Воейкова (ГГО), основанный на результатах экстраполяции климатических характеристик, показывает, что фактически наблюдаемый тренд повышения средней годовой температуры воздуха на территории России к 2010-2015 гг. сохранится и приведет к ее росту по сравнению с 2000 г. на 0,6±0,2°С, к 2030 г. – на 1,5°С [4]. В Восточной Сибири к концу XXI века ожидается повышение средней годовой температуры воздуха на 6,1±1,6°С по сравнению со средним её значением за последние два десятилетия XX века [5]. Прогноз изменения средней годовой температуры воздуха в г. Якутске до 2015 г., составленный в Институте мерзлотоведения СО РАН с помощью метода гармонического анализа, почти совпадает с прогнозом ГГО, а далее ожидается похолодание до середины XXI века на 2-3°С [6]. По прогнозу Л.Г. Нерадовского и Ю.Б. Скачкова [7] к 2050 г. рост среднегодовой температуры воздуха превысит достигнутый климатический уровень не более, чем на 0,7-1,0°С.

Результаты исследований. Основные параметры теплового режима грунтов в каждом типе местности в обобщенном виде представлены в табл. 2.

По данным наблюдений с 1987 по 2011 гг. тренды среднегодовых температур грунтов на подошве слоя годовых теплооборотов в различных физико-географических районах изменяются от слабо отрицательных до положительных значений. При этом четко прослеживаются их зависимость от состава и термического типа сезоннопротаивающих грунтов (табл. 3).

Таблица 2. Параметры теплового режима грунтов в различных типах местности

Грунт	h_c, см	$H_{нп}$, см	ξ, м	t_o, °С
плакорный				
песок, супесь, суглинок	50-71	7-12	1-1,5	-1,5…-0,8
склоновый				
песок, супесь, суглинок	27-53	14-33	1,31-4,11	-2,5…-0,2
мелкодолинный				
торф, супесь, суглинок, песок	26-71	4-25	0,5-2,78	-6,6…-0,5
межаласный				
супесь, суглинок	27-66	3-17	1,27-2,20	-2,8…-0,6
аласный				
торф, супесь, суглинок	25-66	5-12	1,16-2,86	-3,5…-0,1
межгрядово-низинный				
торф, песок, супесь	24-59	3-30	0,46-1,68	-3,7…-0,1
песчано-грядовый				
песок	20-58	1-12	1,39-4,00	-2,8…0,7
надпойменно-низкотеррасовый				
песок, супесь	32-45	1-12	>2,05	-2,3…-0,2
пойменный				
песок, супесь	23-58	5-13	1,95-2,05	-2,1…-0,9

Примечание: h_c – высота снежного покрова, $H_{нп}$ - мощность напочвенного покрова, ξ – глубина сезонного протаивания, t_o – среднегодовая температура на подошве слоя годовых теплооборотов (глубина 10 м)

Отрицательные тренды отмечаются в урочищах переходного типа сезоннопротаивающих грунтов, где среднегодовая их температура изменяется от положительных значений до –1°С. В период исследований во всех урочищах преобладает положительный тренд температуры грунтов на подошве слоя годовых теплооборотов, при этом наименьшие тренды характерны для ландшафтных комплексов с высокотемпературными грунтами и с наибольшими глубинами сезонного протаивания. Наибольшие тренды свойственны для ландшафтных комплексов с низкотемпературными грунтами и, как правило, с наименьшими глубинами сезонного протаивания. Здесь также наблюдается дифференциация трендов по составу грунтов сезоннопротаивающего слоя.

Таблица 3. Тренды среднегодовой температуры грунтов на подошве слоя годовых теплооборотов (глубина 10 м)

Район	Тип местности	Грунт	Термический тип	Период наблюдений	Тренды, °С/год
Приленский долинно-лесостепной	низкотеррасовый	песок	-1…0	1987-2011	0,000
	пойменный	супесь, песок	-2…-1	1989-2009	0,010
Бестяхский песчано-грядовый	песчано-грядовый	песок	0…1	1987-2011	-0,005
			-1…0	1987-2011	0,003-0,005
			-2…-1	1987-2011	0,02-0,03
			-3…-2	1993-2011	0,045
	межгрядово-низинный	торф, песок	-3…-2	1987-2011	0,01…0,037
	мелкодолинный		Ниже - 5	1987-2011	0,55
Тюнгюлюнский аласно-котловинный	песчано-грядовый	песок	0…1	1987-2011	0,009
			-1…0	1988-2011	0,005
	межаласный	суглинок	-3…-2	1993-2011	0,32
Лено-Амгинский аласно-долинный	аласный	супесь	-1…0	1989-2011	-0,01-0,01
	межаласный		-2…-1	1987-2011	0,016-0,028
			-3…-2	1990-2011	0,02
Лено-Амгинский песчаниковый	плакорный	суглинок, супесь	-2…-1	1995-2011	0,011
	межаласный	суглинок	-2…-1	1995-2008	0,028

Мониторинговые наблюдения позволяют констатировать, что в изменении t_0 нет однозначности, а некоторое снижение температуры грунтов в отдельных ландшафтах свидетельствует об устойчивом их состоянии. Исследования показали, что с 1987 г. по 2004 г. происходило

равномерное сменяемость мало- и многоснежных зим, снижение высоты снежного покрова. Основными факторами, определяющим динамику температурного режима грунтов, является теплозащитная роль снежного покрова. Зимы 2005-2007 гг. были аномально многоснежными и с ранними сроками образования устойчивого снежного покрова, что привело к резкому повышению t_0, особенно на низкотемпературных комплексах. Зимы 2009 и 2010 гг. охарактеризовались как аномально малоснежные с поздними сроками образования устойчивого снежного покрова, поэтому грунты сильно охладились почти до уровня 2002/03 гг. (рис. 1).

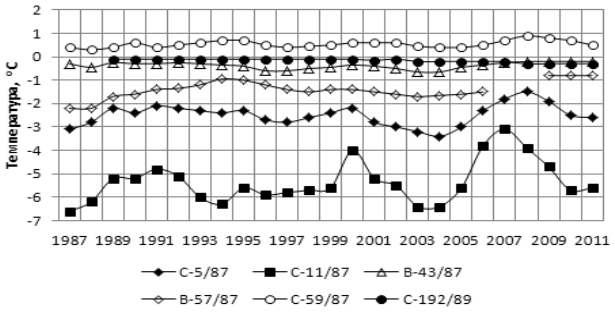

Рис. 1. Динамика средней годовой температуры грунтов на глубине 10 м в различных типах местности: межгрядово-низинный (С-5), мелкодолинный (С-11), низкотеррасовый (С-43), межаласный (С-57), песчано-грядовый (С-59) и аласный (С-192)

За весь период наблюдений самые низкие и аномально высокие температуры грунтов отмечены соответственно в 2002/03 и 2006/07 гидрологические годы. Зима в 2002/03 гг. была аномально малоснежной и с аномально поздним сроком его установления. Это стало главной причиной сильного охлаждения грунтов, несмотря на аномально теплые зимние и летние сезоны. Последующие годы характеризовались, как выше отмечено, многоснежными зимами, заметными весенними половодьями и обильными осенними атмосферными осадками. В целом в период с 2002/03 по 2006/07 гг. температура грунтов на подошве слоя годовых теплооборотов в различных ландшафтах повысилась на 0,3-3,5^{o}С. Вследствие повышения температуры и увеличения глубины протаивания мерзлых пород активизировались различные криогенные процессы (термокарст, термоэрозия и др.). На низко расположенных ландшафтных территориях отмечено развитие заболачивания и обводнения. Эти факторы привели к повышению уровня зеркала воды озер, заполнению водой ранее сухих озерных котловин, повышению уровня надмерзлотных вод сезонно-талого слоя (рис. 2). На обводненных участках отрицательных форм рельефа в холодные периоды при промерзании грунтов не происходило смыкания промерзающего деятельного слоя с многолетнемерзлыми породами. Здесь отмечается их многолетнее протаивание и заметное повышение температуры грунтов в слое годовых теплооборотов.

Выводы:

1. В последние 30 лет в Центральной Якутии наблюдается один из наиболее высоких на севере России трендов повышения средней годовой температуры воздуха.

2. За весь период наблюдений (1987-2011 гг.) самые аномально низкие и высокие температуры грунтов отмечены соответственно в 2003 и 2007 гг.

3. Многолетняя динамика теплового состояния грунтов свидетельствует об относительной устойчивости высокотемпературных многолетнемерзлых пород и слабой устойчивостью – низкотемпературных.

4. Основным регулирующим фактором устойчивого теплового состояния грунтов мерзлотных ландшафтов является режим снегонакопления.

а

б

в

г

Рис. 2. Термоэрозионный овраг, образовавшийся весной 2006 г. на участке распространения пород ледового комплекса (*а*), разгрузка надмерзлотных вод сезонноталого слоя в районе ручья Тарынг (*б*), повышение уровня озера Эльген на участке разгрузки надмерзлотно-межмерзлотных вод (*и*) и обводнение сухого днища аласа (*г*)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Варламов, С.П.* Температурный режим грунтов мерзлотных ландшафтов Центральной Якутии. Монография / *С.П. Варламов, Ю.Б. Скачков, П.Н. Скрябин*. – Якутск: Издательство Института мерзлотоведения СО РАН, 2002. 218 с.
2. *Скрябин, П.Н.* Исследования теплового режима грунтов в Центральной Якутии / *П.Н. Скрябин, Ю.Б. Скачков, С.П. Варламов* // Наука и образование. 2004. № 4 (36). С. 56-62.
3. *Скачков, Ю.Б.* Современные изменения климата Центральной Якутии // Климат и мерзлота: комплексные исследования в Якутии. – Якутск: Изд-во Института мерзлотоведения СО РАН. 2000. С. 55-63.
4. Стратегический прогноз изменений климата Российской Федерации на период до 2010-2015 г.г. и их влияния на отрасли экономики России. – М.: 2005. 28 с.
5. *Мелешко, В.П.* Климат России в XXI веке. Часть 3. Будущие изменения климата, рассчитанные с помощью ансамбля моделей общей циркуляции атмосферы и океана CMIP3 / *В.П. Мелешко, В.М. Катцов, В.А. Говоркова* и др. // Метеорология и гидрология. 2008. № 9. С. 5-21.
6. *Шендер, Н.И.* Прогноз естественноисторических колебаний климата городов Якутска и Фэрбенкса / *Н.И. Шендер, В.Е. Романовский, А.С. Тетельбаум* // Наука и образование. 1999. № 2. С.24-29.
7. *Нерадовский, Л.Г.* Прогноз температуры воздуха в Якутии до 2050 г. / *Л.Г. Нерадовский, Ю.Б. Скачков* // Проблемы инженерного мерзлотоведения: материалы IX Международного симпозиума, 3-7 сентября 2011., г. Мирный. – Якутск: Изд-во Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 2011. С. 389-393.

DYNAMICS OF THE SOIL THERMAL STATE IN PERMAFROST LANDSCAPES IN CENTRAL YAKUTIA

© 2012 S.P. Varlamov, P.N. Skryabin

Permafrost Institute named after P.I. Melnikov SB RAS, Yakutsk

Results of the geocryological monitoring organized since 1987 on a right bank of middle Lena River are generalized. Objects of researches are the top horizons of cryolitozone. The conclusion was made that the major factor defining interannual changes of permafrost landscapes thermal state, is the snow accumulation. On the basis of experimental data dynamics of soils thermal state is quantitatively estimated. It is established that trends of changes the soils average annual temperatures on a sole of layer of annual heatturns change from weakly negative to positive values.

Key words: *permafrost landscapes, monitoring, cryolitozone, climate, mid-annual temperature of soils*

Stepan Varlamov, Candidate of Geography, Senior Research Fellow at the Laboratory of Geothermal Physics and Forecasting. E-mail:vsp@mpi.ysn.ru
Pavel Skryabin, Candidate of Geography, Leading Research Fellow at the Laboratory of Geothermal Physics and Forecasting. E-mail:vsp@mpi.ysn.ru