

## ТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ГРУНТОВ НАРУШЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

П.Н. Скрябин, С.П. Варламов

*Институт мерзлотоведения имени П.И. Мельникова СО РАН,  
677010, Якутск, ул. Мерзлотная, 36, Россия; [vsp@mpi.ysn.ru](mailto:vsp@mpi.ysn.ru)*

Представлены результаты многолетних геотемпературных исследований на нарушенных ландшафтах в полосе прокладки железной дороги, водовода и газопровода. Проанализированы изменения теплового состояния грунтов при техногенных воздействиях. Выявлено значительное повышение среднегодовой температуры верхних горизонтов криолитозоны и увеличение глубины сезонного протаивания при вырубке леса и удалении напочвенного покрова, вырубке леса на гарях при межлесном типе местности. Количественно оценена динамика среднегодовой температуры грунтов на разнорежимных рубках леса, а также на гарях в зависимости от стадий сукцессионного развития растительности.

*Центральная Якутия, термический режим грунтов, нарушенные ландшафты, техногенез, криолитозона*

### GROUND THERMAL REGIME IN DISTURBED LANDSCAPES OF CENTRAL YAKUTIA

P.N. Skryabin, S.P. Varlamov

*Melnikov Permafrost Institute, SB RAS, 677010, Yakutsk, Merzlotnaya st., 36, Russia; [vsp@mpi.ysn.ru](mailto:vsp@mpi.ysn.ru)*

The results of long-term geothermal investigations in disturbed landscapes along the railway, water line and gas pipeline are presented. Human-induced changes in the ground thermal state are analyzed. The study has shown significant increases in mean annual temperature of the upper permafrost layers, as well as in seasonal thaw depth in the inter-alas type of terrain after the removal of trees, ground surface stripping and post-fire clearing. Quantitative estimates are given for the dynamics of mean annual ground temperatures on cuts and burns in relation to vegetation succession.

*Central Yakutia, ground thermal regime, disturbed landscapes, human impact, permafrost*

### ВВЕДЕНИЕ

Оценка эволюции верхних горизонтов криолитозоны при изменении климата и техногенеза является современной приоритетной проблемой. Изучение многолетней изменчивости термического режима грунтов в слое годовых теплооборотов наиболее детально проводится на Европейском Севере, севере Западной Сибири и в Центральной Якутии [Какунов, Павлов, 1997; Скрябин, 1998; Варламов, 2002; Павлов и др., 2002].

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН постоянно уделяет внимание исследованиям температурного режима слоя годовых теплооборотов в нарушенных условиях. Так, в первые же годы организации Якутской НИМС АН СССР (1940–1941) были проведены экспериментальные наблюдения за промерзанием–протаиванием грунтов при удалении снежного и травяного покровов и под теплоизоляционными покрытиями [Шимановский, 1942]. В 1969–1980 гг. на теплобалансовых стационарах Якутск и Зеленый Луг выполнены круглогодичные исследования влияния техногенных воздействий (удаление снежного и дернового покровов, укладка асфальтового, бетонного, пенопластовых, пленочных по-

крытий и песчаной насыпи) на термический режим грунтов [Павлов, 1975; Павлов и др., 1983]. Методом математического моделирования был составлен прогноз температурного режима грунтов Якутии с учетом различных естественных и техногенных изменений природных условий: потепления климата, удаления напочвенного покрова, изменения мощности снежного покрова и замены грунта [Фельдман, 1988]. Исследования влияния вырубки леса, лесных пожаров, распашки земель на эволюцию мерзлотных ландшафтов продолжают на стационарах Умайбыт, Юкэчи, Спасская Падь, Нелегер [Федоров, 1985, 2006; Босиков, 1996].

В Центральной Якутии расширяется строительство трубопроводов, железных и автомобильных дорог, линий электропередач, которое неизбежно сопровождается значительными нарушениями природных условий. Техногенные воздействия различного типа и масштаба (вырубка леса, пожары, удаление напочвенных покровов и т. д.) приводят к изменению геоэкологических условий, в том числе температурного режима грунтов, развитию негативных криогенных процессов. Исследо-

вания термического режима грунтов, проводимые авторами с 1987 г., позволяют количественно оценить его пространственно-временную изменчивость под влиянием техногенеза. В статье обобщены результаты экспериментальных работ на северном участке железной дороги Томмот–Якутск, в полосе прокладки газопровода Таас Тумус–Якутск и водовода Нижний Бестях–Мундулах.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены в соответствии с требованиями методики теплофизики ландшафтов на основе организации длительных натуральных наблюдений. По определению А.В. Павлова [1979], одного из основателей этого научного направления, теплофизику ландшафтов можно рассматривать как одно из новых направлений наук о Земле, раскрывающее взаимосвязь между отдельными компонентами ландшафта или различными ландшафтными комплексами методами теплофизики. Теплофизика ландшафтов сформировалась на стыке нескольких наук (гидрометеорологии, мерзлотоведения, физики приземного слоя атмосферы, географии, геотермии) и отличается разносторонностью объектов исследований.

Районы работ характеризуются сложными геокриологическими условиями: распространением многолетнемерзлых пород, наличием водоносных таликов, развитием повторно-жильных льдов.

Комплексные исследования в нарушенных ландшафтах выполнены в шести типах местности: низкотеррасовом, песчано-грядовом, межгрядово-низинном, аласном, межаласном и плакорном. Объектами изучения являются горные породы слоя годовых теплооборотов до глубины 10–15 м. Общепринятые индикаторы изменения термического режима верхних горизонтов криолитозоны: глубина сезонного протаивания ( $\xi$ ) и среднегодовая температура грунтов на глубине 10 м ( $t_0$ ). В качестве датчиков температуры грунтов использованы полупроводниковые терморезисторы ММТ-4 с точностью измерений  $\pm 0,1$  °С. Измерения температуры грунтов в скважинах проведены терморезисторными гирляндами на глубинах 1, 2, 3, 4, 6, 8 и 10 м. В режимных скважинах термогирлянды устанавливали стационарно, т. е. стволы их заполняли ранее извлеченным грунтом.

Среднегодовые значения  $t_0$  отражают осредненные данные 2–4 измерений в теплый и холодный периоды года. Результаты этих измерений различаются в пределах 0–0,1 °С, поэтому такой метод определения температуры грунтов на глубине 10 м является вполне кондиционным. Глубина сезонного протаивания грунтов определяется в конце теплого периода (середина сентября) с помощью металлического щупа и ручного бура.

Мониторинговые исследования предусматривают обследование ландшафтов, проведение наб-

людений за факторами, определяющими термический режим грунтов (высота и плотность снега, строение, свойства, протаивание и температура грунтов, теплопроводность напочвенных покровов, криогенные процессы). Комплексные наблюдения различной длительности проводятся с периодичностью 2–4 раза в год.

Наблюдательная сеть геотемпературного мониторинга охватывает около 50 техногенных ландшафтов, в том числе с удаленным напочвенным покровом – 5, на вырубках – 16, на горячих – 12, на горячих с вырубкой – 14.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В Центральной Якутии в последние 30 лет наблюдается один из наиболее высоких в России трендов повышения среднегодовой температуры воздуха, достигающий 0,08 °С/год. Так, в Якутске за последние 30–35 лет отмечается существенное повышение среднегодовой температуры воздуха под влиянием потепления в зимние периоды [Скачков, 2009]. По данным метеостанции Якутск, многолетнее значение (норма) среднегодовой температуры воздуха составляет –10,0 °С, за холодный и теплый периоды соответственно –25,9 и 12,3 °С. Норма годовых осадков равна 235 мм, из них летних – 158 мм. Средняя многолетняя высота снежного покрова 27 см. За рассматриваемый период отмечались 24 зимы с температурами воздуха выше нормы. В первое десятилетие нового века отмечено 8 аномально теплых летних сезонов. Анализ среднезимних температур воздуха показывает: 6 зим были нормальными, 3 теплыми, 19 аномально теплыми и только одна холодная. По снегонакоплению выявлены следующие зимы: 7 аномально многоснежных, 7 многоснежных, 3 аномально малоснежных, 3 малоснежных, 10 нормальных. В естественных условиях в различных типах местности самые низкие и высокие температуры грунтов отмечены в аномально малоснежный 2002/03 и аномально многоснежный 2006/07 гидрологические годы соответственно.

Экспериментальные исследования позволили количественно оценить техногенные воздействия на температурный режим грунтов в различных ландшафтных условиях.

**1. Удаление напочвенного покрова.** В межгрядово-низинном типе местности на мари в июле 1990 г. был удален мохово-торфяной слой мощностью 0,15–0,25 м. По сравнению с естественными условиями при удалении напочвенного покрова среднегодовая температура грунтов на глубине 6 м повысилась на третий год на 4 °С, мощность сезонного слоя увеличилась в 1,6 раза и составила 1,5 м. Спустя 20 лет интенсивное зарастание нарушенного участка ерниково-березовым молодняком сократило разницу среднегодовой температуры до 1,8 °С, мощность сезонного слоя сохранилась на таком же уровне (1,4–1,5 м).

В межлесном типе местности в 1992 г. для прокладки водовода Нижний Бестях–Мундулах был вырублен лиственный лес с последующим нарушением напочвенного покрова бульдозерами и автотранспортом. Через 18 лет на просеке по сравнению с естественными условиями температура грунтов на глубине 10 м повысилась на 2 °С, а глубина сезонного протаивания увеличилась на 1,4 м и превысила 3 м. Такие изменения теплового состояния грунтов при залегании повторно-жильных льдов на глубинах 2,0–2,5 м обусловили просадку поверхности до 0,6 м и более и развитие полигональной формы рельефа.

В межлесном типе местности при прокладке лесовозной дороги на склоне в 1989 г. был удален бульдозером напочвенный покров и поверхностный слой грунта. После выпадения обильных осадков в июне 1990 г. вдоль дороги началось развитие термоэрозии и, как следствие, формирование оврага. Через 5 лет размеры оврага оказались следующими: длина 340 м, ширина 10–16 м, глубина до 6 м. На участке конуса выноса образовался намыв грунтов толщиной 0,5 м и за 2 года погиб весь лес. Спустя 4 года  $t_0$  повысилась на 1,5 °С [Варламов, 2002]. Через 20 лет конус выноса зарос ивняком. В 2009 г. лесорубами были повреждены термометрические датчики, при повторном бурении скважины для установки новой термогирлянды на конусе выноса обнаружен сложный геокриологический разрез. Мощность сезонноталого слоя составила 1,8 м. В интервале глубин 3,4–3,8 и 4,2–5,5 м сформировались талые прослойки грунтов, что определяется влиянием техногенеза и изменением условий теплообмена поверхности с атмосферой.

Удаление напочвенного покрова обуславливает наибольшие изменения термического режима грунтов в межлесном типе местности, где повышение  $t_0$  и увеличение  $\xi$  оцениваются в пределах 1,5–2,0 °С и 0,5–1,4 м соответственно. На нарушен-

ном участке начинается активизация термоэрозии и формирование полигональной формы рельефа.

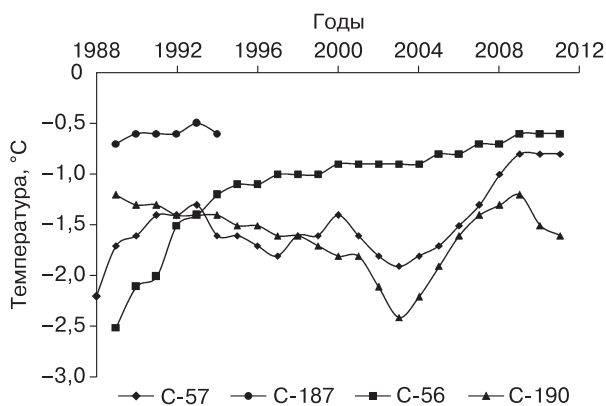
**2. Рубка леса.** Разнорезимные рубки лесов (выборочная, постепенная, сплошная) приводят к изменению мерзлотных условий. В песчано-грядовом типе местности влияние вырубков на температурный режим грунтов изучено на семи участках. При сплошной вырубке соснового леса по сравнению с естественными условиями отмечено резкое увеличение глубины сезонного протаивания на 0,8 м и повышение температуры грунтов на 0,4 °С на глубине 10 м. Понижение  $t_0$  на 0,9 °С, сокращение  $\xi$  на 0,3 м отмечено на старой вырубке, где идет восстановление лиственно-соснового леса.

Выборочная рубка лиственного леса в межлесном типе местности приводит к незначительному повышению температуры грунтов (0,2–0,4 °С). Это объясняется проведением рубки в период с устойчивым снежным покровом, т. е. с сохранением теплоизолирующего влияния бруснично-мохового покрова и интенсивным восстановлением растительности.

В межгрядово-низинном типе местности на песчаной гряде выборочная рубка леса и нарушение напочвенного покрова привели к повышению температуры грунтов на глубине 10 м за три годичных цикла на 0,3–0,7 °С. Еще большее повышение  $t_0$  (на 1,5–2,0 °С) было отмечено через 5–7 лет после уничтожения пожаром теплоизолирующего мохово-багульникового покрова и частичного вывала горелого древостоя.

Мониторинговые наблюдения в скважинах С-56, С-57, С-187 и С-190 позволяют выявить динамику среднегодовой температуры грунтов при разнорезимных рубках лесов. В песчано-грядовом типе местности при сплошной рубке редкостойного соснового леса на стадии развития молодняка (10–30 лет) тепловое состояние грунтов было близко к исходному. В межлесном типе местности при выборочной рубке лиственно-соснового леса (С-187) на березово-кустарниковой стадии развития растительности (10–20 лет)  $t_0$  понижается на 0,3–0,6 °С. Постепенная рубка лиственного леса (С-56) на травяной (3–8 лет) и березово-кустарниковой стадиях (10–20 лет) развития приводит к повышению  $t_0$  на 0,5–1,2 °С. На старой вырубке (С-190) на стадии восстановления березово-лиственного молодняка (чаща) возрастом 10–30 лет  $t_0$  понижается в среднем на 1 °С. На этом участке годичные циклы (2005–2008) с теплыми зимами и мощными снегоотложениями способствовали повышению  $t_0$  на 2,1 °С. Малоснежные зимы 2009–2010 гг. привели к понижению  $t_0$  (рис. 1).

Выборочные, постепенные и сплошные рубки лесов в различных типах местности сопровождаются повышением  $t_0$  на 0,2–0,8 °С и увеличением  $\xi$  на 0,3–0,6 м.



**Рис. 1.** Динамика среднегодовой температуры грунтов на глубине 10 м в лиственном (С-57), при выборочной (С-187), постепенной (С-56) и сплошной (С-190) рубках леса в межлесном типе местности.

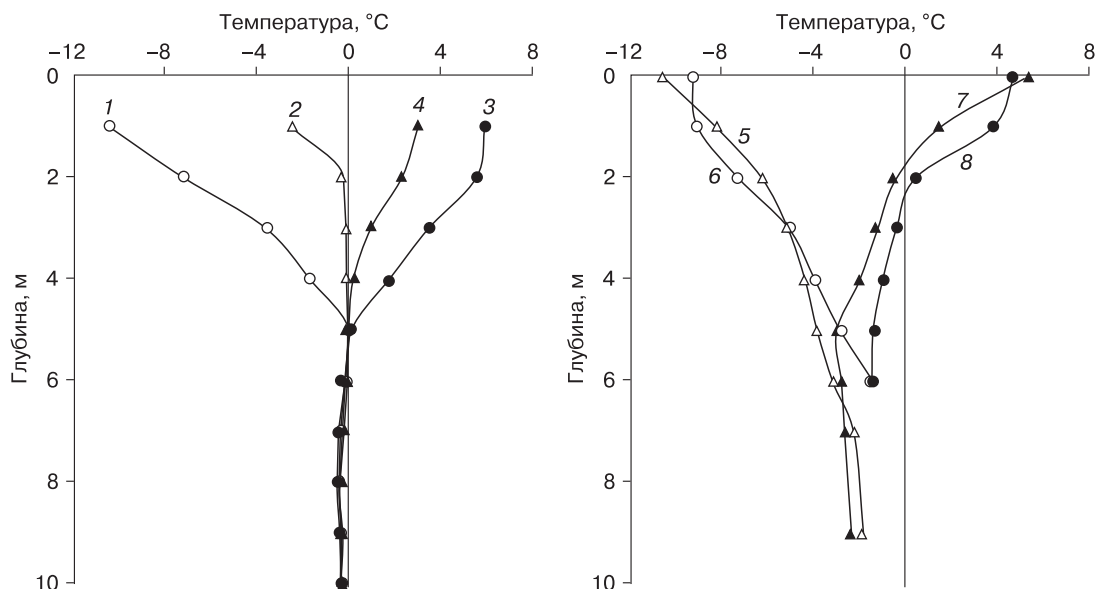


Рис. 2. Изменение температуры грунтов в сосняке (С-3) и на гари с вырубкой (С-13) в песчано-грядовом типе местности, в лиственничнике (С-210) и при восстановлении растительности на старой гари (С-209) в межгрядовом типе местности.

1 – С-3, 05.04.11 г.; 2 – С-13, 05.04.11 г.; 3 – С-3, 19.09.11 г.; 4 – С-13, 19.09.11 г.; 5 – С-209, 05.04.10 г.; 6 – С-210, 05.04.10 г.; 7 – С-209, 11.09.10 г.; 8 – С-210, 11.09.10 г.

**3. Лесные пожары.** Типы лесов и напочвенных покровов по классам пожарной опасности в низкотеррасовом, межгрядовом и плакорном типах местности относятся к высокопожароопасным, в песчано-грядовом – к очень высокопожароопасным, в межгрядово-низинном – к среднепожароопасным. Влияние пирогенеза на температурный режим грунтов изучено наиболее детально в песчано-грядовом типе местности на 10 участках. Пожар в сосновом лесу в июне 1987 г. уничтожил малопродуктивный травяно-толокнянковый напочвенный покров и в последующем стал причиной вывала молодого соснового древостоя. В течение первых 2 лет после пожара отмечено резкое повышение температуры грунтов на глубине 10 м (примерно на 1,5 °С). Начиная с 4-го года на гаревом участке при постепенном самовосстановлении березово-кустарниковой растительности наблюдалась стабилизация температуры грунтов, ее значения не выходили за пределы –0,3...–0,4 °С. Через 20 лет увеличение  $\xi$  составило около 1 м.

Гари и вырубка леса являются распространенным видом техногенеза. Для количественной оценки влияния такого нарушения на термический режим грунтов в низкотеррасовом типе местности были организованы наблюдения в лиственничнике и на участке, где после пожара 1986 г. проведена сплошная вырубка горелого лиственничного леса. Пирогенное воздействие и вырубка леса привели через год к повышению  $t_0$  на 0,5 °С и

к увеличению  $\xi$  на 0,15 м, а через 3 года – на 0,8 °С и 0,43 м соответственно. Через 20 лет после пожара в связи с самовосстановлением березово-лиственничной чащи понижение  $t_0$  составило 0,5 °С, но сохранилось увеличение  $\xi$  на 0,5 м.

Посттехногенные изменения теплового состояния грунтов через 25 лет в других типах местности также показывают понижение температуры грунтов, обусловленное самовосстановлением растительности и ее затеняющим эффектом (рис. 2, 3).

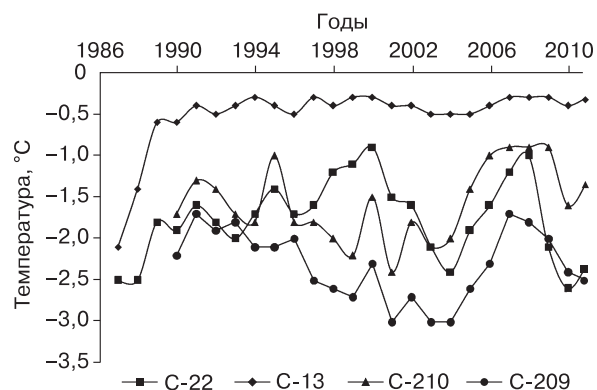
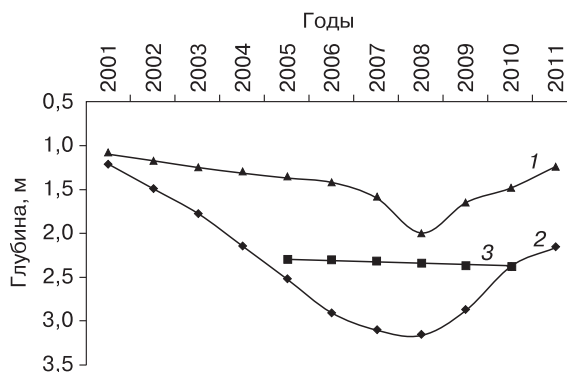


Рис. 3. Динамика среднегодовой температуры грунтов на глубине 10 м в сосняке (С-22) и на гари с вырубкой (С-13) в песчано-грядовом типе местности, в лиственничнике (С-210) и на старой гари (С-209) в межгрядовом типе местности.



**Рис. 4. Динамика глубины протаивания грунтов в лесу (С-1/03) и на гари с вырубкой (С-2/03) в межлассном типе местности.**

1 – гарь; 2 – лес; 3 – сезонномерзлый слой.

Временная изменчивость термического состояния грунтов под воздействием пожара в 1986 г. и вырубке леса изучена в межлассном типе местности. Выборочная рубка леса с нарушением почвенного покрова после пожара в первые 5 лет способствовали повышению  $t_0$  на 0,3–0,5 °С. В дальнейшем естественное возобновление травяно-мохового покрова и березово-лиственничной чащи на 2–3 стадиях сукцессионного развития через 25 лет сократило поступление солнечной радиации на поверхность грунта, привело к постепенному понижению  $t_0$  на 1 °С (см. рис. 3) и сокращению  $\xi$  на 0,1–0,3 м.

Влияние лесных пожаров на тепловое состояние грунтов в плакорном типе местности изучены

на двух старых гарях. На этих участках при слабом самовосстановлении лиственничного и березового лесов сохраняется увеличение  $\xi$  на 0,3–0,4 м, повышение  $t_0$  в пределах 0,4–0,7 °С.

Лесные пожары в песчано-грядовом типе местности после 2–3 лет повышают  $t_0$  на 1–1,5 °С, затем начинается ее стабилизация. В плакорном типе местности на старых гарях повышение  $t_0$  составляет 0,4–0,7 °С, увеличение  $\xi$  не более 0,3–0,4 м.

Влияние пожара и вырубке леса на тепловое состояние грунтов было изучено по трассе газопровода Таас Тумус–Якутск в межлассном типе местности. В 2002 г. пожар в березово-лиственничном лесу привел к вывалу большей части древостоя. Уменьшение теплоизолирующего влияния уплотненного снежного покрова при зимней сплошной вырубке и вывозке лесоматериала привело к понижению через год среднегодовой температуры на глубине 15 м на 0,3 °С. При залегании верхней кровли повторно-жильных льдов на глубине 2,5 м мощность сезоннопротаивающего слоя суглинистых грунтов с повышенной влажностью на гари увеличилась на 0,5 м по сравнению с контрольным участком. В конце многоснежной зимы 2004/05 г. на гари установлено формирование сезонномерзлого слоя мощностью 2,2 м. Под этим слоем до верхней границы мерзлой толщи, залегающей на глубине 3,2 м, образовался талик. Однако в малоснежную зиму 2009/10 г. отмечено полное промерзание талика (рис. 4). За 10 лет после техногенного воздействия глубина протаивания грунтов на гари по сравнению с естественными условиями увеличилась на 1 м, температура грунтов на

**Изменение среднегодовой температуры на глубине 10 м ( $t_0$ , °С) и глубины сезонного протаивания ( $\xi$ , м) грунтов**

Естественные и нарушенные условия	Тип местности	Номер скважины	Период после нарушения, лет							
			0		5		10		20	
			$t_0$	$\xi$	$t_0$	$\xi$	$t_0$	$\xi$	$t_0$	$\xi$
Естественные	Низкотеррасовый	165	-1,3	0,73	-1,5	1,25	-1,5	1,30	-1,8	1,25
	Песчано-грядовый	3	-0,4	2,30	-0,3	-	-0,4	-	-0,2	-
	Межалассный	1/03	-3,3	1,25	-3,0	1,60	-3,1	1,25	-	-
		10/93	-2,8	1,55	-2,9	-	-2,9	-	-2,8	1,50
		17	-2,3	1,06	-2,6	1,16	-	-	-	-
	57	-2,2	1,28	-1,6	-	-1,6	-	-0,8	1,58	
	210	-1,7	1,28	-1,6	-	-1,5	-	-1,6	1,63	
Удаление почвенного покрова	Межалассный	529	-2,1	1,53	-1,6	2,75	-	-	-	-
	Межгрядово-низинный	205	-3,6	0,87	-	1,62	-	1,20	-1,9	1,20
Вырубка	Песчано-грядовый	42	-0,5	2,80	-0,4	-	-0,4	-	-0,1	-
	Межалассный	56	-1,4	1,50	-1,0	1,90	-0,9	-	-0,6	2,20
Гарь	Песчано-грядовый	59	0,6	-	0,5	-	0,5	-	0,5	-
	Межалассный	209	-2,2	1,12	-2,1	-	-2,3	-	-2,4	1,65
Гарь + вырубка	Низкотеррасовый	166	-1,7	1,12	-1,3	-	-1,3	-	-2,0	1,39
	Песчано-грядовый	13	-2,0	1,74	-0,5	-	-0,3	-	-0,3	2,75
	Межалассный	2/03	-4,0	1,75	-1,6	3,16	-1,3	2,26	-	-



глубине 10 м повысилась на 2,7 °С. Тепловая просадка грунтов составила 0,07 м, наблюдалась начальная стадия формирования полигональной формы рельефа.

Пирогенное воздействие и вырубка леса в низкотеррасовом и межлассном типах местности в первые 3 года привели к повышению  $t_0$  на 0,3–0,8 °С и увеличению  $\xi$  на 0,4–0,8 м. Через 20 лет под влиянием самовосстановления растительности  $t_0$  понизилась на 0,5–0,7 °С. В межлассном типе местности при близком залегании подземных льдов получили развитие негативные криогенные процессы: переход от сезонного протаивания к сезонному промерзанию.

Мониторинговые исследования позволяют количественно оценить временную изменчивость термического режима грунтов нарушенных ландшафтов (см. таблицу). В таблице отражены изменения  $t_0$  и  $\xi$  через 5, 10 и 20 лет в естественных и нарушенных природных условиях. Представленные ландшафты заметно различаются между собой тепловым состоянием грунтов. Литогенная основа в низкотеррасовом и песчано-грядовом типах местности представлена высокотемпературными, а в межгрядово-низинном и межлассном типах – низкотемпературными грунтами. Динамика основных термических параметров за 20 лет показывает, что наибольшая временная изменчивость  $t_0$  и  $\xi$  отмечается на гари с вырубкой леса в межлассном типе местности.

### ВЫВОДЫ

На основе выполненных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Выявлено повышение среднегодовой температуры на глубине 10 м и увеличение глубины сезонного протаивания при удалении напочвенного покрова в межгрядово-низинном и межлассном типах местности в пределах 1,5–2,0 °С и 0,5–1,4 м. Разнорезимные рубки лесов в песчано-грядовом и межлассном типах местности сопровождаются повышением  $t_0$  на 0,2–0,8 °С и увеличением  $\xi$  на 0,3–0,6 м. Рубка леса после пожаров в низкотеррасовом, песчано-грядовом и межлассном типах местности приводит к повышению  $t_0$  на 0,3–0,8 °С и увеличению  $\xi$  на 0,4–0,8 м.

2. Количественной оценкой динамики термического режима грунтов установлено, что наибольшее повышение  $t_0$  на 0,2–2,0 °С и увеличение  $\xi$  на 0,3–1,5 м отмечаются в первые 5–7 лет после нарушения природных условий. В дальнейшем восстановление растительности на 2–3 стадиях развития понижает  $t_0$  на 0,5–1,0 °С и сокращает  $\xi$  на 0,2–0,3 м.

3. Многолетняя изменчивость термического состояния грунтов при техногенных воздействиях свидетельствует об их относительной устойчивости в песчано-грядовом и слабой устойчивости

межлассном типах местности. На нарушенных ландшафтах при близком залегании подземных льдов начинается развитие негативных криогенных процессов, которые в ходе восстановления растительности постепенно затухают.

4. Результаты исследований термического режима грунтов можно распространить на однотипные нарушенные ландшафты Центральной Якутии.

### Литература

- Босиков Н.П.** Изменение климата и эволюция термокарстовых образований // Влияние климата на мерзлотные ландшафты Центральной Якутии. Якутск, ИМЗ СО РАН, 1996, с. 106–122.
- Варламов С.П.** Температурный режим грунтов мерзлотных ландшафтов Центральной Якутии / С.П. Варламов, Ю.Б. Скачков, П.Н. Скрыбин. Якутск, ИМЗ СО РАН, 2002, 218 с.
- Какунов Н.Б., Павлов А.В.** Оценка и прогноз термического режима криогенных почв на севере России в связи с ожидаемым потеплением климата // Криопедология-97: II Междунар. конф. Сыктывкар, Ин-т биологии КомиНЦ УрО РАН, 1997, 121 с.
- Павлов А.В.** Теплообмен почвы с атмосферой в северных и умеренных широтах СССР / А.В. Павлов. Якутск, Кн. изд-во, 1975, 302 с.
- Павлов А.В.** Теплофизика ландшафтов / А.В. Павлов. Новосибирск, Наука, 1979, 284 с.
- Павлов А.В., Анянзева Г.В., Дроздов Д.С. и др.** Мониторинг сезонноталого слоя и температуры мерзлого грунта на севере России // Криосфера Земли, 2002, т. VI, № 4, с. 30–39.
- Павлов А.В., Прокопьев А.Н., Скачков Ю.Б., Вотякова Н.И.** Тепловой режим и промерзание грунтов намывной насыпи в пойме р. Лена // Теплофизические исследования криолитозоны Сибири. Новосибирск, Наука, 1983, с. 135–147.
- Скачков Ю.Б.** Современная изменчивость основных элементов климата г. Якутска // Восьмое сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу: Материалы Рос. конф. (Томск, 8–10 окт. 2009 г.). Томск, Аграф-Пресс, 2009, с. 83–84.
- Скрыбин П.Н.** Межгоддовая изменчивость теплового режима грунтов района Якутска / П.Н. Скрыбин, С.П. Варламов, Ю.Б. Скачков. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 1998, 144 с.
- Федоров А.Н.** Роль вырубок в развитии мерзлотных ландшафтов Центральной Якутии // Региональные и инженерные геоэкологические исследования. Якутск, ИМЗ СО АН СССР, 1985, с. 111–117.
- Федоров А.Н.** “Спасская Падь”: комплексные исследования мерзлотных ландшафтов / А.Н. Федоров, Т.Х. Максимов, П.П. Гаврильев и др. Якутск, ИМЗ СО РАН, 2006, 210 с.
- Фельдман Г.М.** Пособие по прогнозу температурного режима грунтов Якутии / Г.М. Фельдман, А.С. Тетельбаум, Н.И. Шендер, Р.И. Гаврильев. Якутск, ИМЗ СО АН СССР, 1988, 240 с.
- Шимановский С.В.** Влияние покрытий на тепловой режим грунтов // Исследования вечной мерзлоты в Якутской республике. Якутск, 1942, вып. 1, с. 44–55.

Поступила в редакцию  
14 мая 2012 г.