

— ГЕОКРИОЛОГИЯ —

DOI 10.25587/SVFU.2019.13.27554

УДК 551.345

П. Н. Скрябин

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

**ЭВОЛЮЦИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ГРУНТОВ
ПИРОГЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ**

Аннотация. Рассматривается проблема термической реакции верхних горизонтов криолитозоны на антропогенные воздействия. Представлены результаты экспериментальных исследований, выполненных при научно-геокриологическом сопровождении изыскательских и строительных работ на трассах линейных сооружений. Освещены геокриологические условия района работ, методика геокриологического мониторинга верхних горизонтов криолитозоны. Объектами исследований являются грунты слоя годовых теплооборотов. Полевые работы включают повторные ландшафтные обследования гаревых территорий, проведения наблюдений в холодный и теплый сезоны года за высотой и плотностью снежного покрова, свойствами, протаиванием и температурой грунтов. Исследована динамика индикаторов изменений термического режима грунтов: мощность активного слоя и температуры в слое годовых теплооборотов в полосе проложения трубопроводов, железных и автомобильных дорог, линий электропередач. Выявлено значительное повышение среднегодовой температуры верхних горизонтов криолитозоны и увеличение глубины сезонного протаивания на гарях и вырубке леса на гарях. Глубина сезонного протаивания грунтов на гарях увеличивается ежегодно, местами достигая верхнюю кровлю подземных льдов, где начинается деградация многолетнемерзлых пород. Приведены данные о развитии опасных криогенных процессов, вызывающих деформацию поверхности. Количественно оценена изменчивость термического режима грунтов на гарях и гарях с вырубкой в зависимости от стадий самовосстановления растительности. Результаты исследований использованы при изысканиях и строительстве линейных сооружений. Экспериментальные данные являются основой геокриологического прогноза и разработки рекомендаций по рациональному природопользованию.

Ключевые слова: гари, мерзлые грунты, температура, глубина протаивания, мониторинг, динамика.

P. N. Skryabin

Melnikov Permafrost Institute, SB RAS, Yakutsk, Russia

**EVOLUTION OF THE THERMAL REGIME OF THE PYROGENIC SOILS
IN CENTRAL YAKUTIA**

Abstract. This article discusses the thermal response of upper permafrost to anthropogenic disturbances. It presents the results of experimental geocryological investigations conducted in support of geotechnical exploration and construction of linear engineering projects. The geocryological conditions in the study area, as well as the methods of permafrost geocryological monitoring are described. The research focused on the upper permafrost within the depth of annual temperature fluctuations. The field observations involved repeated surveys of burned areas, including measurements of snow depth, snow density, soil properties, thaw depth, and ground temperature in the cold and warm seasons. The study aimed to explore the active layer thickness and near-surface permafrost

¹ СКРЯБИН Павел Николаевич – к.г.н., в.н.с., Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН.

E-mail: vsp@mpi.ysn.ru

SKRYABIN Pavel Nikolaevich – Candidate of Geographical Sciences, Leading Researcher, Melnikov Permafrost Institute, SB RAS.

E-mail: vsp@mpi.ysn.ru

temperatures, the variables that indicate changes to the ground thermal regime in the pipeline, railway, road and powerline corridors. The observation results demonstrated significant increases in mean annual temperature of the upper permafrost layers, as well as in seasonal thaw depth in the burning and deforestation on the burning. The depth of soil thawing in the burned areas increased every year, in places reaching the top of ice wedges and causing permafrost degradation. There are data on development of hazardous cryogenic processes causing surface deformation. The variability of the thermal regime of soils on burned and burned with felling areas depending on the stages of self-restoration of vegetation was quantitatively estimated. The research results were used in the research and construction of linear structures. The experimental data served the basis for geocryological forecast and development of recommendations for environmental management.

Keywords: burned areas, permafrost, temperature, thaw depth, monitoring, dynamics.

Введение

Освоение северных территорий России и Якутии осложняются широким распространением многолетнемерзлых пород. Антропогенные воздействия, такие как нарушение почвенного слоя, вырубка леса, лесные пожары вызывают изменение термического состояния грунтов. Устойчивость мерзлотных ландшафтов при сельскохозяйственном и промышленном освоении определяют ведущие природные факторы: температура грунтов, льдистость, растительность и криогенные процессы. Лесные пожары неизбежно сопровождаются нарушением условий теплообмена грунтов с атмосферой: уничтожаются растительный и напочвенный покровы, изменяется мощность и плотность снега, свойства грунтов сезонного протаивания-промерзания. Влияние лесных пожаров на гидротермический режим мерзлотных почв и грунтов наиболее детально исследованы сотрудниками Института прикладной экологии Севера СВФУ и Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН [1-3 др.]. В результате интенсивного изменения температурного и влажностного режима грунтов начинают развиваться негативные процессы. Эти процессы приводят к изменению мерзлотно-ландшафтных условий территории и ухудшают экологическую обстановку окружающей среды [4].

Термическое состояние грунтов является одним из основных характеристик геокриологических условий определяющих устойчивость осваиваемых территорий. Успешное решение геоэкологических аспектов пирогенного воздействия на окружающую среду предусматривает количественную оценку пространственно-временной изменчивости термического режима грунтов с помощью многолетних экспериментальных наблюдений.

Материал и методы исследования

Многолетние исследования проводятся с 1987 г. в полосе проложения железнодорожной линии Томмот – Якутск, водовода Нижний Бестях – Майя, федеральной автодороги Лена, газопровода Таас Тумус – Якутск, линии электропередачи Нерюнгри – Нижний Бестях.

Прилегающая к линейным сооружениям территория характеризуется сложными геокриологическими условиями: распространением многолетнемерзлых пород, наличием водоносных таликов, развитием подземных льдов [5].

Геокриологические исследования в естественных и нарушенных ландшафтах выполняются в шести типах местности: низкотеррасовом, песчано-грядовом, межгрядово-низинном, аласном, межаласном и плакорном. Объектами исследований являются грунты слоя годовых теплооборотов до глубины 10-15 м. Основными критериями тепловой реакции криолитозоны на антропогенные воздействия являются мощность сезоннопротаивающего слоя (ζ) и среднегодовая температура на подошве слоя годовых теплооборотов (t_0). Работы проводятся в соответствии с требованиями метода природных аналогий или физико-географического сравнения на основе организации длительных натурных исследований [6].

Наблюдательная сеть геотемпературного мониторинга охватывает более 50 естественные и нарушенные ландшафты, в том числе на горях – 12, на горях с вырубкой – 14 [7]. Натурные наблюдения проводятся 4 раза в холодный и тёплый периоды года. Полевые работы предусматривают повторное обследование нарушенных ландшафтов, проведение наблюдений за факторами, определяющими термический режим грунтов (высота и плотность снега, строевые свойства, протаивание и температура грунтов, теплопроводность напочвенных покровов, криогенные процессы).

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 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.

Результаты и обсуждение

В Центральной Якутии со второй половины 60-х годов прошлого века наблюдается один из наиболее высоких в России тенденций повышения температуры воздуха [8]. Период с 1987 по 2016 гг. является одним из теплых за всю историю метеорологических наблюдений в г. Якутске: среднегодовая температура воздуха составила -8,5°С при норме -10,0°С. Оценка изменения среднегодовой температуры приземного воздуха в г. Якутске, составленная в Институте мерзлотоведения СО РАН, показывает превышение к 2050 г. среднегодовой температуры воздуха достигнутого климатического уровня не более чем на 0,7-1,0°С. Закономерности формирования термического режима грунтов при антропогенных воздействиях являются наиболее достоверными при учете динамики температуры воздуха за холодный и теплый сезоны года, высоты снежного покрова и летних осадков.

Типы лесов и напочвенных покровов по классам пожарной опасности в низкотеррасовом, межгаласном 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. На трассе ЛЭП Нерюнгри – Нижний Бестях пожар в сосновом лесу в июне 1987 г. уничтожил маломощный травяно-толокнянковый напочвенный покров и в последующем стал причиной вывала молодого древостоя. В течение первых 2 лет после пожара отмечается 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 наблюдается стабилизация температуры грунтов, и ее значения не выходили за пределы -0,3...-0,4°С (рис. 1).

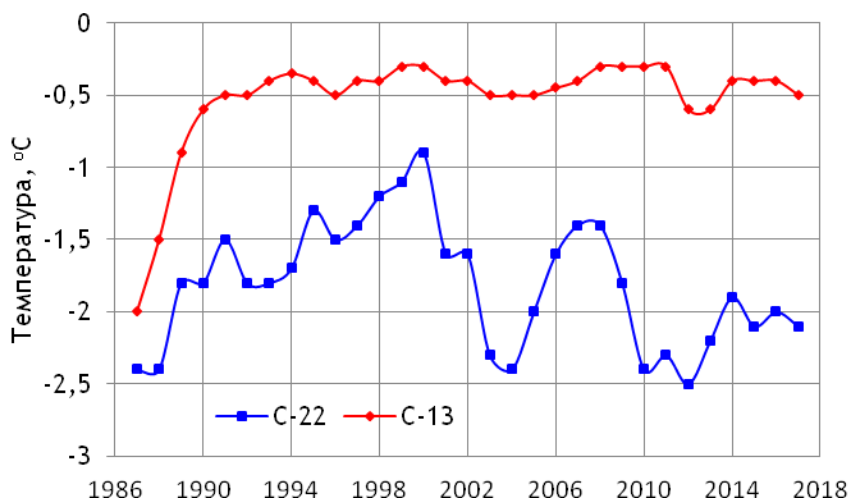


Рис. 1. Динамика среднегодовой температуры грунтов на глубине 10 м в сосняке (С-22) и на гари с вырубкой (С-13) в песчано-грядовом типе местности на трассе ЛЭП Нерюнгри – Нижний Бестях

Сплошная и выборочная рубки сосновых лесов на северном участке трассы железной дороги Томмот – Якутск на старых гарях на песчаной гряде и вершине водораздела привели к повышению t_0 на 0,3-0,5°C и формированию надмерзлотных таликов (С-8, С-59). Выборочная рубка 1992 г. и пожар 2002 г. на пологом склоне с сосново-лиственничником через 6 лет привели к повышению t_0 на 0,2°C и увеличению ζ на 1,2 м (С-130). Выборочная рубка и низовой пожар 1997 г. на пологом приводоразделе с сосново-лиственничником через 11 лет повысили t_0 на 0,8°C и увеличили ζ на 0,9 м (С-167). Резкое увеличение мощности СТС обусловлено влиянием многоводных весенних талых вод в последние 2 года.

Временная изменчивость термического состояния грунтов под воздействием пожара в 1986 г. и вырубки леса изучается в межлассном типе местности на верхней части склона южной экспозиции (С-209). На травяной стадии развития растительности поверхность участка покрылась разнотравьем и густыми зарослями иван-чая, напочвенный покров состоял из толокнянки и зеленых мхов. Выборочная рубка леса с нарушением напочвенного покрова после пожара в первые 5 лет способствовали повышению t_0 на 0,3-0,5°C. В дальнейшем естественное возобновление травяно-мохового покрова и березово-лиственничной чащи на 2-3 стадиях сукцессионного развития сократило поступление солнечной радиации на поверхность грунта, привело к постепенному понижению температуры грунтов на 0,5-0,8°C и к восстановлению их термического режима близкого к первоначальному. За 4 летний цикл наблюдений (2005-2008 гг.) при теплых и многоснежных зимах повышение t_0 составило 1,3°C.

Влияние лесных пожаров на тепловое состояние грунтов в плакорном типе местности изучены на двух старых гарях (С-8/95, С-11/95). На этих участках с самовосстановлением лиственничного и березового лесов отмечается увеличение ζ на 0,3-0,4 м, повышение t_0 в пределах 0,4-0,7°C.

Для количественной оценки влияния гари и вырубки леса на термический режим грунтов в низкотеррасовом типе местности в районе 1075 км автодороги Лена были организованы наблюдения в лиственничнике и на участках, 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°C и увеличению ζ на 0,15 м, а через 3 года – соответственно на 0,8°C и 0,43 м. Через 30 лет после пожара в связи с самовосстановлением березово-лиственничной чащи понижение t_0 составило 0,5°C, но сохранилось увеличение ζ на 0,5 м.

Влияние пожара и вырубки леса на тепловое состояние грунтов изучается 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°C. 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 2005 г. на гари установлено формирование сезонномерзлого слоя мощностью 2,3 м. Под этим слоем до верхней границы мерзлой толщи, залегающей на глубине 3,2 м, образовался талик. В малоснежный 2010 г. отмечено полное промерзание талика, но в 2013 – 2016 гг. многоснежные и аномально теплые зимы вновь привели к формированию талого слоя (рис. 2). За 15 лет после техногенного воздействия глубина протаивания грунтов на гари по сравнению с естественными условиями увеличилась на 1,5 м, температура грунтов на глубине 10 м повысилась на 2,7°C, тепловая просадка грунтов составила 0,07 м. Наблюдается начальная стадия формирования полигональной формы рельефа.

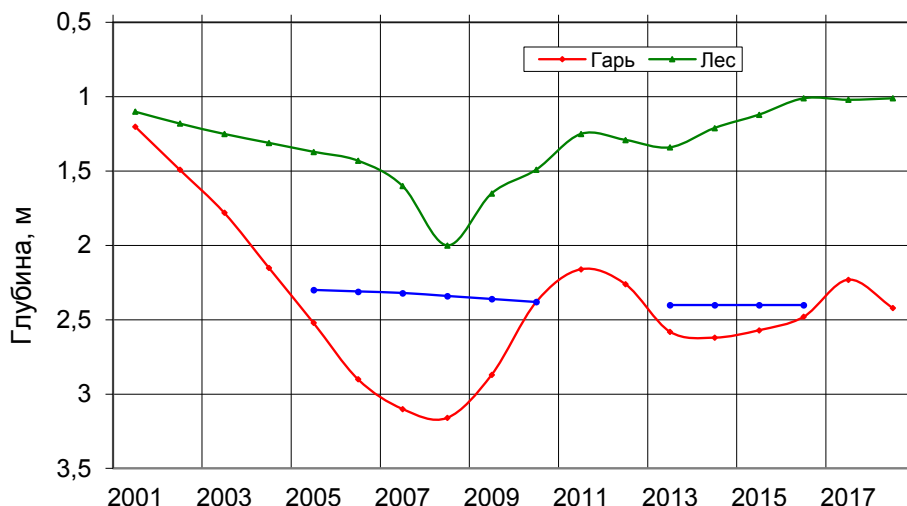


Рис. 2. Динамика глубины протаивания грунтов в лиственничнике и на гари с вырубкой на трассе газопровода Таас Тумус – Якутск

Под влиянием пожаров в зависимости от совокупности ландшафтных условий ζ и t_0 изменяются в широких пределах (табл.).

Таблица

Изменения среднегодовой температуры на глубине 10 м (t_0 , °С) и глубины сезонного протаивания (ζ , м) пирогенных территорий

Тип местности	Состав грунта	Естественные условия		Гарь		Гарь + вырубка	
		ζ , м	t_0 , °С	ζ , м	t_0 , °С	ζ , м	t_0 , °С
Низкотеррасовый	Песок, супесь	1,1-1,4	-1,3...-2,2	1,1-1,2	-1,7...-1,9	1,2-2,1	-1,1...-1,7
Песчано-грядовый	Песок	1,6-3,1	-0,2...-2,5	1,9-3,5	-0,1...-2,2	2,1-4,2	0,2...-1,6
Межгрядово-низинный	Торф, песок, супесь	0,5-2,1	-0,9...-3,4	1,0-2,2	-0,8...-2,5	1,2-2,4	-0,6...-2,3
Межаласный	Супесь, суглинок	1,2-2,0	-1,8...-3,2	1,3-2,5	-1,7...-3,0	1,8-3,1	-1,3...-2,8

Представленные ландшафты заметно различаются между собой постпирогенным термическим состоянием грунтов. Литогенная основа в низкотеррасовом и песчано-грядовом типах местности представлена высокотемпературными, а в межгрядово-низинном и межаласном – низкотемпературными грунтами. Динамика основных термических параметров показывают, что наибольшая временная изменчивость t_0 и ζ отмечается на гари с вырубкой в межаласном типе местности.

Заключение

Выполненные исследования позволяют сформулировать следующие выводы.

1. Количественно оценена пространственно-временная изменчивость термического режима грунтов на гари разного возраста в зависимости от стадий сукцессионного развития растительности.

2. Выявлена относительная устойчивость термического режима грунтов в низкотеррасовом, песчано-грядовом и слабая устойчивость их в межгрядово-низинном и межаласном типах местности.

3. Результаты исследований можно экстраполировать на аналогичные пирогенные ландшафты при промышленном и сельскохозяйственном освоении.

4. Многолетние экспериментальные материалы являются надежной основой геокриологического прогноза и разработке природоохранных мероприятий.

Литература

1. Тарабукина В.Г., Саввинов Д.Д. Влияние пожаров на мерзлотные почвы. – Новосибирск: Наука, 1990. – 120 с.
2. Федоров А.Н., Босиков Н.П., Васильев И.С. Динамика мерзлотных ландшафтов Центральной Якутии после техногенного воздействия // Рациональное природопользование в криолитозоне. – М.: Наука, 1992. – С. 146-152.
3. Скрябин П.Н. Термический режим грунтов пирогенных территорий Центральной Якутии // Материалы третьей конференции геокриологов России. МГУ им. М.В. Ломоносова, 2005. – М.: Изд-во МГУ, 2005, т. 2. – С. 153-157.
4. Варламов С.П., Скрябин П.Н. Антропогенные воздействия на тепловой режим грунтов Центральной Якутии. – Изд-во: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2013. – 88 с.
5. Варламов С.П., Скачков Ю.Б., Скрябин П.Н. Температурный режим грунтов мерзлотных ландшафтов Центральной Якутии. – Якутск: Изд-во Института мерзлотоведения СО РАН, 2002. – 218 с.
6. Павлов А.В. Теплофизика ландшафтов. – Новосибирск: Наука, 1979. – 284 с.
7. Скрябин П.Н. Развитие наблюдательной сети термического мониторинга в Центральной Якутии / П.Н. Скрябин // Криосфера Земли. – 2001. – том V, № 3. – С. 56-62.
8. Скачков Ю.Б., Скрябин П.Н., Варламов С.П. Изменчивость температуры грунтов слоя годовых теплооборотов в окрестностях г. Якутска за последние 40 лет // Современные проблемы теплофизики и теплоэнергетики в условиях Крайнего Севера: Материалы X научно-технической конференции памяти профессора Н.С. Иванова (Якутск, 2011 г.). – Якутск, 2013. – С. 113-122.

References

1. Tarabukina V.G., Savvinov D.D. Vliyanie pozharov na merzlotnye pochvy. – Novosibirsk: Nauka, 1990. – 120 s.
2. Fedorov A.N., Bosikov N.P., Vasil'ev I.S. Dinamika merzlotnykh landshaftov Central'noj Yakutii posle tekhnogenogo vozdejstviya // Racional'noe prirodopol'zovanie v kriolitozone. – M.: Nauka, 1992. – S. 146-152.
3. Skryabin P.N. Termicheskij rezhim gruntov pirogennykh territorij Central'noj Yakutii // Materialy tret'ej konferencii geokriologov Rossii. MGU im. M.V.Lomonosova, 2005. – M.: Izd-vo MGU, 2005, t. 2. – S. 153-157.
4. Varlamov S.P., Skryabin P.N. Antropogennye vozdejstviya na teplovoj rezhim gruntov Central'noj Yakutii. – Izd-vo: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2013. – 88 s.
5. Varlamov S.P., Skachkov Yu.B., Skryabin P.N. Temperaturnyj rezhim gruntov merzlotnykh landshaftov Central'noj Yakutii. – Yakutsk: Izd-vo Instituta merzlotovedeniya SO RAN, 2002. – 218 s.
6. Pavlov A.V. Teplofizika landshaftov. – Novosibirsk: Nauka, 1979. – 284 s.
7. Skryabin P.N. Razvitie nablyudatel'noj seti termicheskogo monitoringa v Central'noj Yakutii / P.N. Skryabin // Kriosfera Zemli. – 2001. – tom V, № 3. – S. 56-62.
8. Skachkov Yu.B., Skryabin P.N., Varlamov S.P. Izmenchivost' temperatury gruntov sloya godovykh teplooborotov v okrestnostyah g. Yakutsk za poslednie 40 let // Sovremennye problemy teplofiziki i teploehnergetiki v usloviyah Krajnego Severa: Materialy X nauchno-tehnicheskoi konferencii pamyati professora N.S. Ivanova (Yakutsk, 2011 g.). – Yakutsk, 2013. – S. 113-122.