

ГЕОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПОЛЯ И ТЕРМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ
В КРИОСФЕРЕ

УДК 551.525.5 (551.345)

DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2019-1(17-27)

ВЛИЯНИЕ ТРАНСФОРМАЦИИ РАСТИТЕЛЬНОГО И ПОЧВЕННОГО ПОКРОВОВ
НА ТЕМПЕРАТУРУ ПОЧВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗИМНЕЙ ДОРОГИ
В БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЕД.А. Каверин¹, Л.Э. Лапина², А.В. Пастухов¹, Н.Б. Новаковский¹¹Институт биологии Коми НЦ УрО РАН,
167982, Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28, Россия; dkav@mail.ru²Институт водных проблем РАН,
119333, Москва, ул. Губкина, 3, Россия

Исследовано влияние трансформации растительного и почвенного покровов на температурный режим почв при эксплуатации зимней дороги в Большеземельской тундре. Даны зимние, летние и годовые характеристики температурного режима тундровых торфяных и минеральных почв на участке дороги на территории Северо-Хоседауского нефтяного месторождения. Выявлены основные различия температурного режима верхних почвенных горизонтов (0–40 см) в антропогенно-нарушенных (колея зимней дороги) и ненарушенных условиях в различных природно-территориальных комплексах тундры со сплошным распространением многолетнемерзлых пород.

Растительный и почвенный покровы, зимняя дорога, температурный режим почв, природно-территориальные комплексы тундры

THE IMPACT OF TRANSFORMATION IN VEGETATION AND SOIL COVER
ON THE SOIL TEMPERATURE REGIME UNDER WINTER ROAD OPERATION
IN BOLSHEZEMELSKAYA TUNDRAD.A. Kaverin¹, L.E. Lapina², A.V. Pastukhov¹, N.B. Novakovsky¹¹Institute of Biology, Komi Science Center UB RAS,
28, Kommunisticheskaya str., Syktyvkar, 167982, Russia; dkav@mail.ru²Water Problems Institute RAS,
3, Gubkina str., Moscow, 119333, Russia

The impact of transformation in vegetation and soil cover on the soil temperature regime under winter road operation in Bolshezemelskaya tundra has been studied. Winter, summer and mean annual temperature parameters of tundra peat and mineral soils were revealed at the road section in the North Khosedau oil field. The main differences in the temperature regime of upper soil horizons (0–40 cm) at anthropogenically disturbed (tracks of the winter road) and undisturbed sites in different tundra ecosystems affected by continuous permafrost have been revealed.

Vegetation and soil cover, winter road, soil temperature regime, tundra ecosystems

ВВЕДЕНИЕ

Строительство и обустройство дорог при освоении углеводородных месторождений Арктики является одним из главных факторов антропогенного воздействия на тундровые экосистемы. На территории криолитозоны России исследовалось отопляющее влияние на почвогрунты насыпных автомобильных и железных дорог [Ананьева (Малкова), 1997; Москаленко, 2012; Гребенец, Исаков, 2016]. Ряд работ посвящен воздействию на почвогрунты проезда вездеходной гусеничной техники в летний период [Груздев, Умняхин, 1984;

Игловский, 2007]. Однако основную массу линейных сооружений Российской Арктики составляют зимние дороги, широко используемые для транспортировки людей и грузов при строительстве и эксплуатации объектов инфраструктуры нефтегазового комплекса [Быков, 1977]. С инженерной точки зрения эксплуатация зимников по сравнению с другими типами дорог наносит наименьший ущерб тундровым экосистемам [Проектирование..., 1991]. Тем не менее исследования последних лет показали существенное воздействие

зимних дорог на экосистемы криолитозоны. При пересечении зимниками бугристых болот наблюдается протаивание верхних горизонтов многолетнемерзлых пород (ММП), формирование таликов и усиление деградации торфяных бугров. На минеральных почвогрунтах обустройство зимников усугубляет процессы эрозии, ведет к изменению сезонных процессов промерзания и оттаивания [Экологическая реставрация..., 2016].

Цель статьи – оценить влияние трансформации растительного и почвенного покровов на температурный режим почв при эксплуатации зимней дороги в Большеземельской тундре (территория Северо-Хоседаюсского нефтяного месторождения).

МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКА УЧАСТКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Полевые работы проводились в Ненецком автономном округе на территории Северо-Хоседаюсского нефтяного месторождения (3 км к юго-западу от центрального пункта сбора нефти месторождения). Участок исследований расположен на границе южной и типичной тундры, в 55 км к северо-востоку от метеостанции Хорей-Вер (рис. 1). Участок находится в пределах урочища Изъямыльк в заболоченной долине р. Изъямылькшор (левый приток р. Колва). Территория характеризуется чередованием дренированных увалистых массивов с плоскими заболоченными слабодренированными участками. Среднегодовая температура, по данным метеостанции, в 2014 г. составила -4.5°C . Многолетняя среднегодовая норма осадков 500 мм, из них 350 мм выпадает в теплый период. Средняя многолетняя мощность снежного покрова 45 см [Атлас..., 1976]. На участке исследований зимняя дорога пересекает тундровые при-



Рис. 1. Географическое положение участка исследований.

родно-территориальные комплексы (ПТК) с кустарничковой и кустарниковой растительностью на песчаных и суглинистых почвах и крупнобугристо-мочажинный болотный комплекс на торфяных мерзлотных почвах с кустарничково-лишайниковой растительностью (рис. 2). При этом кустарничковые растительные сообщества приурочены преимущественно к хорошо дренированным участкам, тогда как кустарниковые группировки и плоскобугристые торфяники занимают слабодренированные места. Кустарниковые растительные сообщества, в отличие от кустарничковых, характеризуются наличием высокого (более 40 см) и сомкнутого (более 18 %) кустарникового яруса, состоящего преимущественно из *Salix* sp. и *Betula nana*.

Зимняя дорога была введена в эксплуатацию в 2007 г. и активно использовалась до 2010 г. в период строительства объектов инфраструктуры нефтяного месторождения. В последующие годы дорога периодически эксплуатировалась в зимнее время для транспортировки грузов и техники на территорию месторождения. Колеи зимней дороги характеризуются корытообразной формой, глубина 5–15 см, ширина 60–100 см. В результате прокладки дороги возникли нарушенные условия произрастания растительности (табл. 1).



Рис. 2. Карта-схема участка исследований.

Таблица 1. Характеристика объектов исследования

Площадка	Условия	Характеристика рельефа	Состав растительности	Сред. высота кустарникового яруса, см	Название почвы*	Мощность, см		Размеры колеи, см	
						органогенного горизонта	СТС	глубина	ширина
1	Ненарушенные	Умеренно дренированная поверхность плоской озерной террасы	<i>Betula pana</i> , <i>Vaccinium vitis-idaea</i> , <i>Empetrum hermaphroditum</i> , <i>Rubus chamaemorus</i> , <i>Polytrichum</i> sp., <i>Cladonia rangiferina</i>	8	Аллювиальная слоистая на слонстых песках	2	110	–	–
1	Нарушенные		<i>Salix</i> sp., <i>Betula pana</i> , <i>Vaccinium vitis-idaea</i> , <i>Rubus chamaemorus</i> , <i>Carex</i> sp., <i>Eriophorum vaginatum</i> , <i>Polytrichum</i> sp., <i>Cladonia rangiferina</i>	7		4	>130	5	60
2	Ненарушенные	Слабодренированная поверхность плоской пониженной полосы стока	<i>Salix</i> sp., <i>Betula pana</i> , <i>Vaccinium vitis-idaea</i> , <i>Carex</i> sp., <i>Comarum palustre</i> , <i>Polytrichum</i> sp.	40	Аллювиальная глееватая на слонстых песках	8	120–130	–	–
2	Нарушенные		<i>Salix</i> sp., <i>Carex</i> sp., <i>Comarum palustre</i> , <i>Eriophorum vaginatum</i> , <i>Polytrichum</i> sp.	16		5	>150	10	60
3	Ненарушенные	Плоскобугристый торфяник	<i>Vaccinium uliginosum</i> , <i>Vaccinium vitis-idaea</i> , <i>Ledum</i> sp., <i>Empetrum hermaphroditum</i> , <i>Rubus chamaemorus</i> , <i>Polytrichum</i> sp., <i>Cladonia rangiferina</i>	10	Торфяная олиготрофная мерзлотно-тая	100	45	–	–
3	Нарушенные		Растительность на колеях отсутствует	0		100	45	15	100
4	Ненарушенные	Дренированная поверхность водораздельного увала	<i>Salix</i> sp., <i>Betula pana</i> , <i>Ledum</i> sp., <i>Empetrum hermaphroditum</i> , <i>Vaccinium uliginosum</i> , <i>Vaccinium vitis-idaea</i> , <i>Polytrichum</i> sp., <i>Cladonia rangiferina</i>	20	Глеезем криометаморфический на пылеватых суглинках	5	>150	–	–
4	Нарушенные		Растительность на колеях отсутствует	0		2	>150	15	60
5	Ненарушенные	Слабодренированная поверхность водораздельного увала	<i>Salix</i> sp., <i>Betula pana</i> , <i>Equisetum</i> sp., <i>Carex</i> sp., виды из сем. Роосея, <i>Polytrichum</i> sp.	129	Торфно-глеезем криометаморфический на пылеватых суглинках	20	>150	–	–
5	Нарушенные		<i>Salix</i> sp., <i>Comarum palustre</i> , <i>Carex</i> sp., <i>Eriophorum vaginatum</i>	9		15	>150	10	60

Примечание. Параметры почв и растительности приведены непосредственно для мест заложения температурных скважин.

* Названия почв даны по [Классификация..., 2004].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При проведении исследований в тундровых ПТК, различающихся характером растительного и почвенного покровов, заложено пять площадок (см. табл. 1, 2). Площадки размером 50 × 50 м состояли из 6 рядов по 6 пикетов в каждом. Все площадки пересекались зимней дорогой, 80–90 % пикетов находились на ненарушенной поверхности.

На каждом пикете площадки определялись высота и проективное покрытие ив (*Salix* sp.), ерника (*Betula nana*), кустарничков (*Empetrum hermaphroditum*, *Vaccinium uliginosum*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Rubus chamaemorus*), багульника (*Ledum* sp.), сабельника (*Comarum palustre*), осок (*Carex* sp.), мхов (*Polytrichum* sp.) и лишайников (*Cladonia rangiferina*). Исследовались следующие характеристики почвенного покрова: мощность торфяного горизонта, см; глубина залегания почвенно-грунтовых вод, см; мощность сезонноталого слоя (СТС), см. Измерения мощности СТС и уровня грунтовых вод выполнялись градуированным металлическим зондом 15–16 августа 2014 г.

В пределах каждой площадки подробные исследования морфологического строения и температуры почв проводились в двух точках, расположенных на расстоянии 10–15 м друг от друга: в антропогенно-нарушенной почве под колеей зимней дороги и в целинной почве на прилегающем ненарушенном участке (см. табл. 1). Термин “целинные почвы” в настоящей работе используется для характеристики ненарушенных почв под естественной растительностью [Толковый словарь..., 1975]. Всего было выполнено 10 почвенных разрезов и установлено 140 температурных логгеров компании “I-button” в 10 скважинах на глубинах 0, 2, 5, 10, 15, 20 и 40 см. Непрерывные температурные измерения проводились в период с 15.08.2014 г. по 15.07.2015 г.

Статистический анализ параметров растительного и почвенного покровов, расчет сумм отрицательных и положительных среднесуточных температур с дальнейшей визуализацией результатов выполнялись в программах Microsoft Excel 2010, IBM SPSS и пакете R. Характеристики растительного и почвенного покровов не соответствуют нормальному закону распределения, поэтому для их сравнения в естественных условиях и под колеей дороги использовался непараметрический критерий Манна–Уитни [Москалев, Новаковский, 2014]. Оценка взаимосвязей характеристик растительного и почвенного покровов с суммами положительных и отрицательных среднесуточных температур проводилась при помощи непараметрического метода – ранговой корреляции Спирмена [Лакин, 1990].

Значения среднегодовой температуры рассчитывались в программном пакете Matlab 7.0.

В связи с тем, что период температурного мониторинга почв не полностью охватывал календарный год, значения среднегодовой температуры почв на разных глубинах, полученные в результате обработки данных, аппроксимировались по формуле

$$T_{\text{year}}(z) = C \exp(-\gamma z) + d, \quad (1)$$

где γ – параметр, характеризующий затухание температурных колебаний с глубиной, см^{-1} ; C – константа среднегодовой температуры на поверхности почвы; d – температура почвы на глубине затухания колебаний температуры, °C; z – глубина измерений температуры почвы, см. Значения d в формуле (1) при фиксированном значении γ определялись методом наименьших квадратов [Корн, Корн, 1977]. Выбор данной функции аппроксимации среднегодовой температуры обусловлен необходимостью выполнения асимптотических свойств решения, а именно, стремления температуры на больших глубинах (около 10 м) к некоторой постоянной величине (d) при затухании температурных колебаний.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Растительный и почвенный покровы. Корреляционный анализ показал, что на всех пикетах площадок увеличение присутствия *Salix* sp. сопровождается повышением высоты *Betula nana* (коэффициент корреляции $r = 0.5$), *Comarum palustre* ($r = 0.6$), *Carex* sp. ($r = 0.6$), *Polytrichum* sp. ($r = 0.3$). Повышение высоты кустарничков, в свою очередь, сопоставимо с увеличением присутствия *Cladonia rangiferina* ($r = 0.6$), *Ledum* sp. ($r = 0.9$), уменьшением *Comarum palustre* ($r = -0.8$), *Carex* sp. ($r = -0.7$) (рис. 3).

Повышение мощности СТС сопровождается увеличением высоты *Salix* sp. ($r = 0.9$), *Carex* sp. ($r = 0.7$) и *Comarum palustre* ($r = 0.7$). Снижение мощности СТС наблюдается при повышении высоты кустарничков ($r = -0.7$), *Ledum* sp. ($r = -0.7$) и увеличении мощности торфяного горизонта ($r = -0.4$). Повышение мощности СТС согласуется как с увеличением сумм положительных температур ($r = 0.4$), так и особенно со смягчением зимних температурных условий в почвах ($r = 0.7$) (см. рис. 3).

Эксплуатация зимней дороги привела к значительным повреждениям *Salix* sp., *Betula nana*, *Cladonia rangiferina*, в контуре дорог их средняя высота резко снизилась (см. табл. 1, 2). Практически на всех площадках в колее увеличились высота и степень покрытия кустарничков (см. табл. 2). При этом в почвах колеи верхний грубогумусовый горизонт разрушился полностью (площадка 3) или частично (площадки 1, 2, 4, 5). В нарушенных условиях мощность СТС и глубина залегания почвенно-грунтовых вод изменялись дифференцированно в зависимости от типа ПТК. На нарушенных участках площадок 2 и 3 уровень грунтовых вод на 11 см ниже такового на ненару-

Таблица 2. Средние показатели растительного и почвенного покровов для ненарушенных и нарушенных участков на площадках исследований

Показатель	Площадка 1		Площадка 2		Площадка 3		Площадка 4		Площадка 5		
	ненарушенный	нарушенный	ненарушенный	нарушенный	ненарушенный	нарушенный	ненарушенный	нарушенный	ненарушенный	нарушенный	
<i>Показатели растительного покрова (в числителе – высота, см, в знаменателе – покрытие, %)</i>											
Ивы	$0.0 \pm 0.0^*$ $0.0 \pm 0.0^*$	2.5 ± 2.5 0.8 ± 0.8	40.3 ± 7.1 18.1 ± 3.6	16.0 ± 7.5 4.0 ± 1.9	14.6 ± 1.6 9.6 ± 1.4	7.5 ± 7.5 5.0 ± 5.0	$128.8 \pm 10.3^{**}$ $57.3 \pm 4.7^{**}$	$0.0 \pm 0.0^*$ $0.0 \pm 0.0^*$			
Ерник	8.0 ± 1.6 4.6 ± 1.0	7.5 ± 2.5 6.7 ± 2.8	11.9 ± 3.9 4.4 ± 1.7	9.0 ± 9.0 4.0 ± 4.0	13.0 ± 3.4 5.7 ± 1.7	5.0 ± 5.0 1.0 ± 1.0	15.0 ± 5.2 8.6 ± 2.9	8.8 ± 8.8 5.0 ± 5.0			
Багульник					4.1 ± 1.4 2.8 ± 1.2	5.0 ± 5.0 1.7 ± 1.7	12.5 ± 2.5 15.0 ± 10.0				
Сабельник			$32.1 \pm 4.4^*$ $21.0 \pm 3.6^*$	7.0 ± 4.4 2.0 ± 1.2			10.2 ± 3.0 6.9 ± 2.6	10.0 ± 5.8 3.8 ± 2.4			
Кустарнички	4.0 ± 0.9 7.3 ± 1.8	4.0 ± 1.1 15.0 ± 4.7			5.3 ± 0.9 10.4 ± 2.6	7.3 ± 1.5 5.7 ± 2.3	1.5 ± 0.7 2.7 ± 1.5	1.3 ± 1.3 1.8 ± 1.8			
Осоки	11.3 ± 2.3 4.5 ± 1.3	16.2 ± 4.3 9.2 ± 3.0	$74.8 \pm 5.9^{**}$ 56.0 ± 5.6	29.0 ± 1.9 60.0 ± 10.5	10.1 ± 1.4 12.0 ± 3.3	16.7 ± 3.3 36.7 ± 20.5	28.5 ± 5.6 20.9 ± 4.8	25.0 ± 11.0 33.8 ± 19.1			
Лишайники	$2.0 \pm 0.3^{**}$ $42.9 \pm 6.6^{**}$	0.2 ± 0.2 2.5 ± 1.7			0.5 ± 0.2 15.9 ± 4.4	0.3 ± 0.3 26.7 ± 26.7	0.2 ± 0.2 2.7 ± 2.5				
Мхи	1.8 ± 0.4 12.5 ± 2.4	0.7 ± 0.1 20.8 ± 4.2	7.6 ± 1.5 61.2 ± 6.7	0.7 ± 0.2 54 ± 12.1	2.2 ± 0.6 24.5 ± 5.6	4.0 ± 3.0 41 ± 29.9	4.2 ± 0.8 38.8 ± 4.7	2.0 ± 1.0 45.0 ± 18.6			
<i>Показатели почвенного покрова</i>											
Мощность торфа, см	5.6 ± 0.7	5.4 ± 1.3	$50.2 \pm 6.9^{**}$	3.9 ± 1.7	97.6 ± 2.4	100.0 ± 0.0	4.8 ± 0.7	13.5 ± 6.5	24.1 ± 2.2	30.8 ± 9.9	
Глубина залегания почвенно-грунтовых вод, см	$44.3 \pm 3.3^{**}$	22.5 ± 6.3	$4.5 \pm 3.9^*$	16.4 ± 5.7	9.8 ± 3.1	21.7 ± 16.9	37.2 ± 6.0	30.0 ± 30.0	15.6 ± 5.0	11.3 ± 11.3	
Мощность СТС, см	78.3 ± 3.9	89.3 ± 11.0	$117.8 \pm 4.3^*$	106.6 ± 8.6	46.9 ± 2.9	54.3 ± 4.7	90.3 ± 3.1	55.0 ± 20.0	$108.8 \pm 4.9^{**}$	57.8 ± 11.3	

По критерию Манна–Уитни: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$.

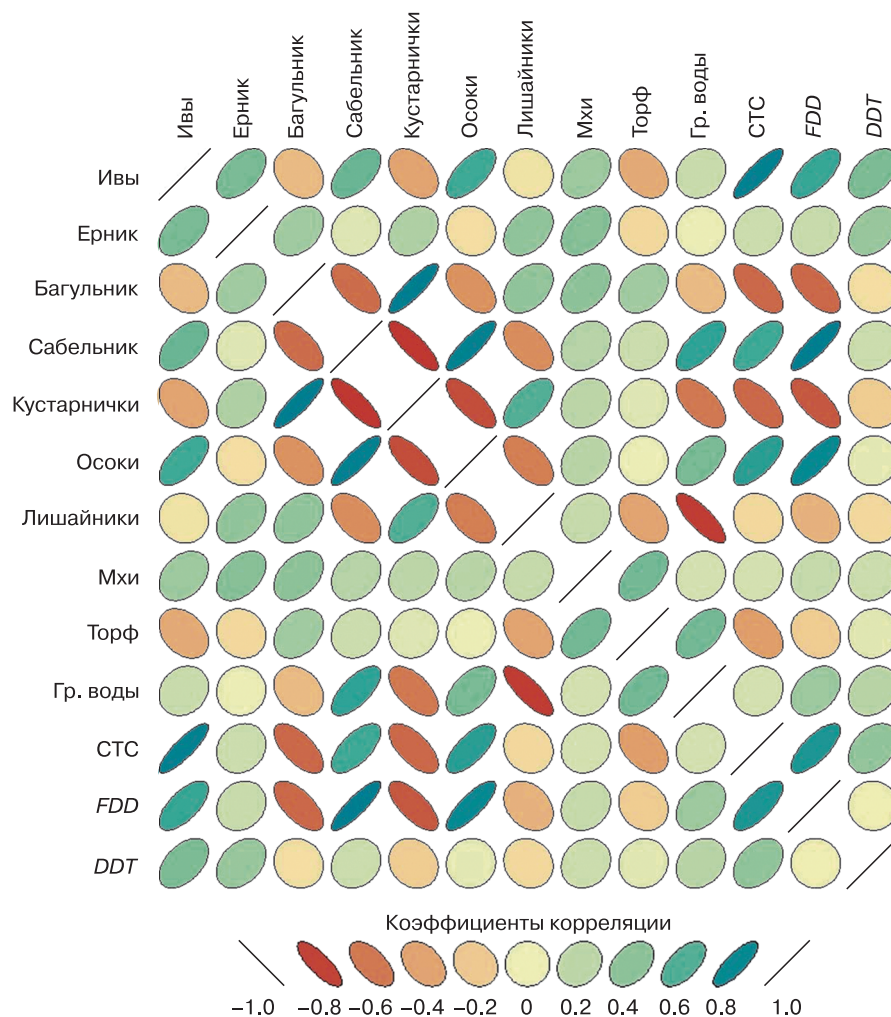


Рис. 3. Средние значения коэффициентов корреляции по Спирмену между параметрами почвенного покрова, средней высотой растений и суммами температур почв на глубине 20 см.

Средняя высота растений: ива (*Salix* sp.), ерник (*Betula nana*), багульник (*Ledum* sp.), сабельник (*Comarum palustre*), кустарнички (*Empetrum hermaphroditum*, *Vaccinium uliginosum*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Rubus chamaemorus*), осоки (*Carex* sp.), лишайники (*Cladonia rangiferina*), мхи (*Polytrichum* sp.). Характеристики почвенного покрова: торф – мощность верхнего торфяного горизонта (см); CTC – мощность слоя сезонного оттаивания (см); гр. воды – глубина залегания почвенно-грунтовых вод в период исследований (см). Температурные параметры: DDT – суммы положительных температур (°C·сут), FDD – суммы отрицательных температур (°C·сут).

шенных. Это связано с увеличением глубины сезонного протаивания почв колеи (площадка 3) и прокладкой дороги по наиболее дренированной части заболоченного массива (площадка 2). На площадках 2, 4, 5 нарушения кустарниковых и кустарничковых ярусов способствовали уменьшению мощности CTC на 10–50 % (см. табл. 2). На площадках 1 и 3 мощность CTC увеличилась на 14–16 %. На площадке 1 средняя высота естественной кустарничковой растительности минимальная (4–8 см), поэтому определяющим фактором увеличения мощности CTC здесь становится трансформация почвенного покрова. На торфянике (площадка 3) верхний грубогумусовый гори-

зонт разрушился, на поверхности почвы обнажились нижележащие горизонты черного торфа с низким альбедо.

Температурный режим почв. Промерзание верхней части исследуемых тундровых почв начинается в октябре. Наиболее быстрые темпы промерзания фиксируются в целинных почвах площадок 3 и 4, расположенных на наветренных позициях рельефа, где происходит интенсивное выдувание снега. В почвах колеи промерзание происходит медленнее (рис. 4), что объясняется заполнением снегом углублений колеи зимней дороги и длительным периодом промерзания более увлажненных участков колеи.

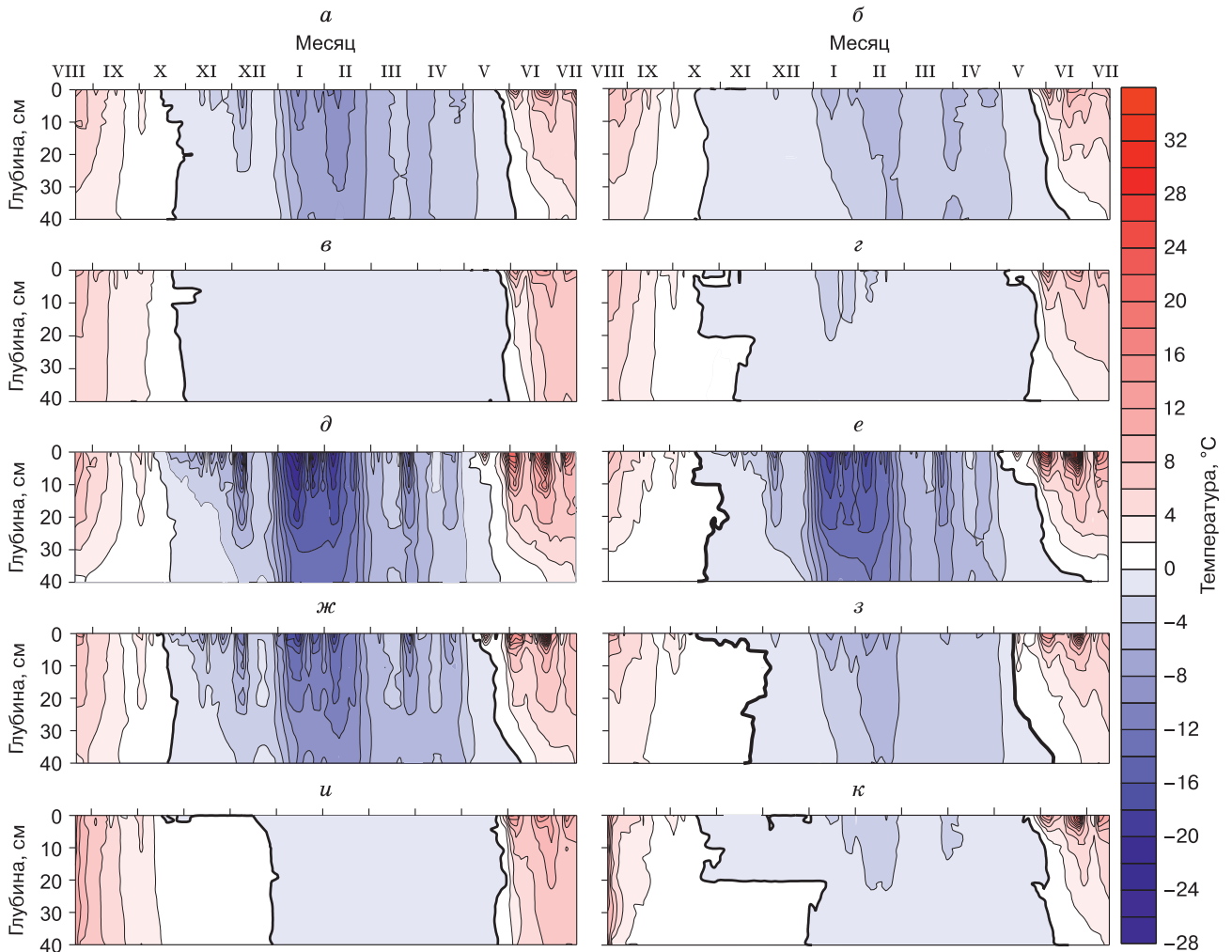


Рис. 4. Термоизоплеты почв в верхнем слое (0–40 см) за 2014–2015 гг. для ненарушенных и нарушенных условий.

а, б – площадка 1; *в, г* – площадка 2; *д, е* – площадка 3; *ж, з* – площадка 4; *и, к* – площадка 5; *а, в, д, ж, и* – целинная почва; *б, г, е, з, к* – почва колеи.

В течение ноября промерзание активно охватывает весь верхний 40-сантиметровый слой почвы. Наименьшие темпы промерзания обнаруживаются в целинных почвах под кустарниковой растительностью (площадки 2 и 5, см. табл. 2). Интенсивное снегонакопление на участках с кустарниковой растительностью способствует медленному сезонному промерзанию с длительным периодом околонулевых температур (см. рис. 4). Почвы колеи зимней дороги замерзали дольше на площадках с преобладанием кустарничковой растительности (площадки 1, 3, 4), тогда как уничтожение высоких кустарниковых ярусов на площадках 2 и 5 привело к усилению промерзания нарушенных почв из-за уменьшения снегонакопления. Полное промерзание верхнего слоя (0–40 см) в целинных почвах под кустарниковой раститель-

ностью наблюдается только в конце декабря (см. рис. 4).

Минимальные суммы отрицательных температур на поверхности почв зафиксированы на плоскобугристом торфянике (площадка 3, табл. 3). Почвы торфяных бугров характеризуются сильным зимним охлаждением СТС [Каверин и др., 2014]. Среди минеральных почв (площадки 1, 2, 4, 5) наиболее холодными являются почвы площадки 4, расположенной на наветренной вершине суглинистого увала. Почвы площадки 5, заложенной под высокими ивняками на относительно ровной поверхности, отличаются наиболее мягким зимним температурным режимом. Почвы площадки 2 под кустарниковой растительностью также характеризуются высокими зимними температурами (см. табл. 3). Почвы площадки 1 по зимним

Таблица 3. Суммы отрицательных среднесуточных температур почв (°С·сут) за 2014–2015 гг.

Площадка	Почва	Глубина, см					
		0	2	5	10	20	40
1	Ненарушенная	-967	-936	-895	-830	-811	-690
	Нарушенная	-538	-	-502	-493	-	-487
2	Ненарушенная	-	-138	-	-125	-124	-51
	Нарушенная	-206	-196	-197	-	-176	-75
3	Ненарушенная	-1865	-1730	-1595	-1491	-1360	-1054
	Нарушенная	-1551	-1357	-1359	-1283	-1269	-1017
4	Ненарушенная	-1485	-1374	-1212	-1169	-1070	-918
	Нарушенная	-641	-572	-475	-453	-449	-362
5	Ненарушенная	-18	-6	0	0	-	0
	Нарушенная	-280	-	-279	-258	-164	-124

Примечание к табл. 3–5. Прочерк – не определялась.

параметрам занимают промежуточное положение между малоснежными наветренными поверхностями (площадки 3, 4) и участками с интенсивным снегонакоплением (площадки 2, 5). На глубине 40 см дифференциация почв по зимнему температурному режиму сходна с таковой на их поверхности (см. табл. 3).

В целом между почвами ненарушенных и нарушенных участков фиксируются закономерные различия по зимнему температурному режиму. По суммам отрицательных температур участки колеи зимней дороги оказались холоднее целинных на площадках 2 и 5. Это связано с обогревающим действием кустарникового яруса, интенсивно задерживающего снег зимой. Максимальный эффект охлаждения участка зимней дороги фиксируется на площадке 5 (см. табл. 3), где зимник пересекает ивняковое сообщество с высоким сомкнутым кустарниковым ярусом (см. табл. 2). Поверхность колеи зимней дороги здесь на 261 градусо-день холоднее поверхности целинной почвы. Если на целинном участке промерзает лишь 2 см почвы, то в дорожной колее промерзание охватывает всю исследуемую часть почвенного профиля. На площадке 2 аналогичные различия выражены в меньшей степени, что связано с меньшей высотой кустарникового яруса (см. табл. 2, 3).

Обратная картина наблюдается на площадках 1, 3 и 4, где почвы колеи зимой теплее ненарушенных участков (см. табл. 3). Это объясняется низкой высотой кустарничковой растительности, задерживающей снег в меньшей степени по сравнению с крупнокустарниковыми массивами. Больше снегонакопление здесь происходит в колеях дороги. Максимальный эффект от обогревающего действия зимней дороги обнаруживается на площадке 4, где почва колеи охлаждается в 2 раза меньше, чем целинный аналог. Данные наблюдений подтверждают особую чувствительность тундровых минеральных почв по сравнению с торфяными почвами не только к климатическим из-

менениям, но и к антропогенным нарушениям [Мажитова, 2008]. Минимальные различия между суммами отрицательных температур отмечаются в почвах плоскобугристого торфяника. Это может объясняться сильным выдуванием снега с поверхности бугров и повышенной теплопроводностью мерзлых торфяных горизонтов.

Наиболее низкие зимние температуры на поверхности почвы (-26...-22 °С) зафиксированы на площадке 3 (почва бугристых торфяников) (см. рис. 4). В "теплых" почвах площадки 5 минимальные температуры поверхности составили -0.5...-4.5 °С. Температурные минимумы в верхних горизонтах почв (0–40 см) зафиксированы в январе–феврале. В целинной почве площадки 5 наблюдается смещение температурного минимума к апрелю (глубина 40 см) в связи с термоизоляционным эффектом мощного снежного покрова.

Сезонное протаивание тундровых почв начинается в мае (см. рис. 4). В первой половине мая положительные температуры на поверхности почв зафиксированы на площадках 3 и 4. Это связано с более ранним сходом снежного покрова на поверхности бугристого торфяника и дренированного увала. Остальные почвы начинают оттаивать во второй половине мая. Максимальные суммы положительных температур на поверхности почв зафиксированы на площадке 3 (табл. 4), что связано с низким альбедо поверхности торфяников [Каверин и др., 2014]. Однако в торфяных почвах наблюдается достаточно быстрое затухание температур, и уже на глубине 40 см эти почвы являются наиболее холодными. В целом почвы под затеняющей кустарниковой растительностью нагреваются слабее по сравнению с участками под кустарничковой растительностью (см. табл. 4).

Летние температурные параметры целинных и нарушенных почв различаются (см. рис. 3). Поверхность почв колеи теплее своих ненарушенных аналогов на площадках 1 и 3, характеризующихся минимальной высотой кустарничковой раститель-

Таблица 4. Суммы положительных среднесуточных температур почв (°С·сут) за 2014–2015 гг.

Площадка	Почва	Глубина, см					
		0	2	5	10	20	40
1	Ненарушенная	613	513	427	395	323	159
	Нарушенная	646	529	499	411	295	139
2	Ненарушенная	673	574	519	470	437	389
	Нарушенная	637	543	461	393	338	198
3	Ненарушенная	891	836	744	625	481	118
	Нарушенная	912	836	618	427	301	16
4	Ненарушенная	934	764	565	479	441	209
	Нарушенная	753	651	554	414	284	149
5	Ненарушенная	769	717	709	623	570	567
	Нарушенная	691	584	400	282	246	123

Таблица 5. Среднегодовая температура почв (°С) за 2014–2015 гг.

Площадка	Почва	Глубина, см					
		0	2	5	10	20	40
1	Ненарушенная	-0.4	-0.6	-0.8	-0.8	-1.0	-1.2
	Нарушенная	0.9	-	0.5	0.2	-0.1	-0.8
2	Ненарушенная	2.2	1.7	1.6	1.4	1.2	1.3
	Нарушенная	1.7	1.4	1.2	-	0.8	0.5
3	Ненарушенная	-1.7	-1.5	-1.5	-1.6	-1.7	-2.3
	Нарушенная	-0.8	-0.5	-1.3	-1.7	-2.1	-2.6
4	Ненарушенная	-0.6	-0.9	-1.1	-1.3	-1.2	-1.6
	Нарушенная	1.0	0.9	0.8	0.3	-0.2	-0.4
5	Ненарушенная	2.7	2.5	2.5	2.2	-	2.0
	Нарушенная	1.7	1.4	0.7	0.3	0.5	0.1

ности (4–13 см) (см. табл. 4). Кроме того, на поверхности почв площадки 3 произошла экскавация оголенного черного торфа, характеризующегося низким альбедо.

С глубины 20 см почвы колеи на всех участках отмечаются относительно низкие суммы положительных температур по сравнению с их целинными аналогами. Снижение летних температур с глубиной в нарушенных почвах объясняется большей «аккумуляцией зимнего холода» (площадки 2 и 5), более поздними сроками оттаивания снега в колеях (площадки 1, 3, 4).

Общий диапазон среднегодовых температур в исследуемых почвах на глубинах 0–40 см составил +2.7...–2.6 °С (табл. 5). Параметры среднегодовой температуры отражают прежде всего влияние зимних условий. Положительные среднегодовые температуры, характерные для почв кустарниковых тундр (площадки 2 и 5), показывают мягкий зимний температурный режим этих почв. Минимальные среднегодовые температуры (–0.8...–2.6 °С) зафиксированы в торфяных мерзлотных почвах площадки 3 (см. табл. 5).

По годовым параметрам нарушенные почвы теплее целинных на участках с преобладанием кустарниковой растительности (площадки 1, 3, 4, см. табл. 5). Положительные среднегодовые температуры в верхних горизонтах минеральных почв

колеи (площадки 1 и 4) фиксируют утепляющее влияние зимней дороги. Почвы колеи на участках с преобладанием кустарниковой растительности (площадки 2, 5) холоднее своих целинных аналогов. С глубиной наблюдается снижение среднегодовых температур, максимальные градиенты снижения температуры (≥ 1.0 °С/40 см) отмечаются в антропогенно-нарушенных почвах. В целинных почвах градиент составил 0...0.8 °С/40 см.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Корреляционный анализ количественных параметров почвенного и растительного покровов позволяет выявить взаимосвязи между ними, определить основные индикаторы пространственной дифференциации мощности СТС в нарушенных и ненарушенных условиях. Повышение мощности СТС сопровождается увеличением высоты *Salix* sp. ($r = 0.9$), *Carex* sp. ($r = 0.7$) и *Comarum palustre* ($r = 0.7$). Снижение мощности СТС наблюдается при увеличении высоты кустарничков ($r = -0.7$), багульника ($r = -0.7$), мощности торфяного горизонта ($r = -0.4$).

Эксплуатация зимней дороги частично трансформирует растительный покров, усиливая пространственную дифференциацию его количественных параметров на участках исследований. В колеях дорог разрушены преимущественно

крупнокустарниковая растительность (*Salix* sp., *Betula nana*) и лишайники (*Cladonia rangiferina*), их средняя высота и покрытие резко снижаются. Вместе с тем в колеях увеличились высота и степень покрытия кустарничков.

Эксплуатация зимней дороги влияет на параметры почвенного покрова. В почвах колеи происходит трансформация либо полное разрушение верхнего грубогумусового горизонта. Мощность СТС и глубина залегания почвенно-грунтовых вод в нарушенных условиях изменяются дифференцированно в зависимости от комплекса факторов в определенном ПТК. Мощность СТС в почвах колеи по сравнению с целинными аналогами уменьшается на 10–50 % в условиях преобладания кустарниковой или кустарничковой растительности выше 18 см. Увеличение мощности СТС (14–16 %) зафиксировано в торфянике и на площадке 1, характеризующейся минимальной высотой кустарничковой растительности (4–13 см).

В результате трансформации растительного и почвенного покровов изменяется температурный режим почв. Прокладка зимних дорог через тундровые сообщества со средней высотой кустарникового яруса более 40 см способствует усилению зимнего охлаждения на поверхности почв на 50–200 %. Это обусловлено уничтожением высокой кустарниковой растительности, способствующей снегонакоплению в ненарушенных условиях. Для низкокюрусных кустарничковых сообществ (4–18 см) прокладка зимней дороги, наоборот, способствует снижению сумм отрицательных температур почв на 40–80 %. В летний период тепляющее влияние колеи зимней дороги выражено на площадках со средней высотой кустарничковой растительности 4–13 см.

Среднегодовые температуры почв, отражающие преимущественно специфику их зимнего климата, в условиях нарушенных кустарниковых тундр в среднем на 0.4...1.4 °C ниже, а кустарничковых на 0.3...1.8 °C выше, чем на ненарушенных участках.

Авторы выражают благодарность Минаевой Татьяне Юрьевне, координатору проектов Международной организации по сохранению водно-болотных угодий (Wetlands International) за предоставленные материалы по характеристике ландшафтных компонентов.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН “Выявление общих закономерностей формирования и функционирования торфяных почв на территориях Арктического и Субарктического секторов Европейского Северо-Востока России” (Гр. АААА-А17-117122290011-5); при частичном финансировании РФФИ (проект № 18-55-11003).

Литература

- Ананьева (Малкова) Г.В.** Экзодинамические процессы на строящейся трассе железной дороги “Обская–Бованенково” // Изв. РГО, 1997, т. 129, вып. 5, с. 55–59.
- Ananyeva (Malkova), G.V., 1997. Exodynamic processes on construction of the Obskaya-Bovanenkovo railway. Bulletin of the Russian Geographic Society, 129 (5), 55–59.
- Атлас** Архангельской области / Под ред. Д.Ф. Федорова. М., ГУГК, 1976, 72 с.
- Fedorov, D.F. (Ed.), 1976. The Atlas of the Arkhangelsk Region. GUGK, Moscow, 72 pp. (in Russian)
- Быков Л.И.** Строительство линейной части магистральных трубопроводов. М., Недра, 1977, 128 с.
- Bykov, L.I., 1977. Construction of the Linear Part of Trunk Pipelines. Nedra, Moscow, 128 pp. (in Russian)
- Гребенец В.И., Исаков В.А.** Деформации автомобильных и железных дорог на участке Норильск–Талнах и методы борьбы с ними // Криосфера Земли, 2016, т. XX, № 2, с. 69–77.
- Grebenets, V.I., Isakov, V.A., 2016. Deformation and stabilization of motor and rail roads within the Norilsk–Talnakh transportation corridor. Earth's Cryosphere XX (2), 62–68.
- Груздев Б.И., Умняхин А.С.** Влияние вездеходного транспорта на растительность Большеземельской тундры // Устойчивость растительности к антропогенным факторам и биорекультивация в условиях Севера: Материалы Всесоюз. совещ. “Охрана растительного мира северных регионов”. Сыктывкар, Коми фил. АН СССР, 1984, т. 2, с. 19–22.
- Gruzdev, B.I., Umnyakhin, A.S., 1984. The impact of off-road vehicles on the vegetation of the Bolshezemelskaya Tundra. In: Resistance of Vegetation to Anthropogenic Factors and Bio Re-cultivation under Conditions of the North. Proceedings of the All-Russia Meeting “Protection of Flora of Northern Regions”, Syktyvkar, Komi affiliate of AS USSR, vol. 2, pp. 19–22.
- Игловский С.А.** Техногенные изменения мерзлотных условий Двинско-Мезенской равнины и полуострова Канин // Вестн. Сев. (Арктического) федерал. ун-та. Сер. Естественные науки, 2007, № 2, с. 13–19. – URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/tehnogennye-izmeneniya-merzlotnyh-usloviy-dvinsko-mezenskoj-ravniny-i-poluostrova-kanin> (дата обращения: 27.01.2017).
- Iglovsky, S.A., 2007. The anthropogenic changes in the permafrost conditions of the Dvina-Mezen plain and of the Kanin Peninsula. In: Bulletin of the Northern (Arctic) Federal University. Series: Natural sciences, No. 2, 13–19.
- Каверин Д.А., Пастухов А.В., Мажитова Г.Г.** Температурный режим тундровых почв и подстилающих многолетнемерзлых пород (европейский Северо-Восток России) // Криосфера Земли, 2014, т. VIII, № 3, с. 23–32.
- Kaverin, D.A., Pastukhov, A.V., Mazhitova, G.G., 2014. Temperature regime of the tundra soils and underlying permafrost (Northeast European Russia). Earth's Cryosphere VIII (3), 23–31.
- Классификация и диагностика почв России** / Авт. и сост.: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск, Ойкумена, 2004, 342 с.
- Shishov, L.L., Tonkonogov, V.D., Lebedeva, I.I., Gerasimova, M.I. (Eds.), 2004. Classification and Diagnostics of Soils of Russia. Oykumena, Smolensk, 342 pp. (in Russian)
- Корн Г.** Справочник по математике для научных работников и инженеров. 4-е изд. / Г. Корн, Т. Корн. М., Наука, 1977, 830 с.
- Korn, G., Korn, T., 1977. Mathematics Reference Book for Researchers and Engineers. 4th ed., Nauka, Moscow, 830 pp. (in Russian)

- Лакин Г.Ф.** Биометрия. М., Высш. шк., 1990, 352 с.
Lakin, G.F., 1990. Biometry. Vysshaya Shkola, Moscow, 352 pp. (in Russian)
- Мажитова Г.Г.** Температурные режимы почв в зоне сплошной многолетней мерзлоты европейского Северо-Востока России // Почвоведение, 2008, № 1, с. 54–67.
Mazhitova, G.G., 2008. Soil temperature regimes in the discontinuous permafrost zone in the east European Russian Arctic. Eurasian Soil Science 1(41), 48–62.
- Москалев А.А.** Статистические методы в экологии с использованием R, Statistica, Excel и SPSS / А.А. Москалев, А.Б. Новаковский. Сыктывкар, СГУ, 2014, 197 с.
Moskalev, A.A., Novakovsky, A.B., 2014. Statistical Methods in Ecology Using R, Statistica, Excel и SPSS. Syktyvkar State University, Syktyvkar, 197 pp. (in Russian)
- Москаленко Н.Г.** Изменения криогенных ландшафтов северной тайги Западной Сибири в условиях меняющегося климата и техногенеза // Криосфера Земли, 2012, т. XVI, № 2, с. 38–42.
Moskalenko, N.G., 2012. Cryogenic landscape changes in the West Siberian northern taiga in the conditions of climate change and human-induced disturbances. Earth's Cryosphere XVI (2), 38–42.
- Проектирование**, строительство и содержание зимних автомобильных дорог в условиях Сибири и Северо-Востока СССР. ВСН 137-89. М., Минтрансстрой, 1991, 7 с.
Design, Construction, and Maintenance of Winter Motor Roads under Conditions of Siberia and the North-East of the USSR., 1991. VSN (All-Russia Construction Rules) 137-89. Mintransstroy, Moscow, 7 pp. (in Russian)
- Толковый** словарь по почвоведению / Под ред. А.А. Роде. М., Наука, 1975, 288 с.
Rode, A.A. (Ed.), 1975. Definition Dictionary of Soil Studies. Nauka, Moscow, 288 pp. (in Russian)
- Экологическая** реставрация в Арктике: обзор международного и российского опыта / Под ред. Т.Ю. Минаевой. Сыктывкар; Нарьян-Мар, Триада, 2016, 288 с.
Minayeva, T.Yu. (Ed.), 2016. Ecological Reconstruction in Arctic: Review of International and Russian Experience. Triada, Syktyvkar; Naryan-Mar, 288 pp. (in Russian)

*Поступила в редакцию 11 января 2018 г.,
после доработки – 10 мая 2018 г.,
принята к публикации 25 сентября 2018 г.*