КРИОСФЕРА ЗЕМЛИ
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Криосфера Земли, 2018, т. XXII, № 3, с. 52–66 **http://www.izdatgeo.ru**

ПАЛЕОКРИОГЕНЕЗ И ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ

УДК 631.43 DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2018-3(52-66)

ТЕРМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ СЕВЕРНОЙ ЯКУТИИ

Д.Г. Федоров-Давыдов[1], С.П. Давыдов[2], А.И. Давыдова[2], Д.Г. Шмелев[1], В.Е. Остроумов[1], А.Л. Холодов[1], В.А. Сороковиков[1]

[1] *Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, 142290, Московская обл., Пущино, ул. Институтская, 2, Россия; muss-96@yandex.ru*
[2] *Северо-Восточная научная станция Тихоокеанского института географии ДВО РАН, 678830, Нижнеколымский р-н, пос. Черский, а/я 18, Республика Саха (Якутия), Россия; davydoffs@mail.ru*

Температура почв Северной Якутии определяется зональным (подзональным) положением, степенью дренированности ландшафта, характером растительного покрова, льдистостью подстилающей многолетней мерзлоты, гранулометрическим составом и мощностью органогенного горизонта. Изучаемые почвы в большей степени различаются не по летним, а по зимним термическим показателям. Для суглинистых почв зонального ряда при переходе от южной тундры к северной тайге средняя температура на глубине 20 см в самом холодном месяце скачкообразно возрастает на 10 °С. Среднегодовая температура тундровых почв на этой глубине изменяется от –4.3 до –9.7 °С, таежных – от –1.2 до –4.9 °С. Различия зимних и среднегодовых температур обусловлены, по-видимому, влиянием снежного покрова – более стабильного, мощного и рыхлого в лесных биогеоценозах. Песчаным подбурам свойственны более высокие положительные температуры и более глубокое проникновение изотерм 0, 5 и 10 °С по сравнению с суглинистыми почвами тундры и тайги. Наиболее теплыми в летнее время года и наименее инерционными к изменению температуры являются ксероморфные почвы экстразональных степных сообществ, встречающихся в подзоне северной тайги.

Северная Якутия, почвы тундры, почвы северной тайги, комплексность почвенного покрова, температурный режим почв, сезонноталый слой, типы сезонного протаивания почв

THE THERMAL STATE OF SOILS IN NORTHERN YAKUTIA

D.G. Fedoryov-Davydov[1], S.P. Davydov[2], A.I. Davydova[2], D.G. Shmelev[1], V.E. Ostroymov[1], A.L. Kholodov[1], V.A. Sorokovikov[1]

[1] *Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science, RAS, 2, Institutskaya str., Pushchino, Moscow region, 142290, Russia; muss-96@yandex.ru*
[2] *North-Eastern Science Station, Pacific Geographical Institute, FEB RAS, P/O box 18, Cherskiy Village, Nizhnekolymskiy Region, Yakutia, 678830, Russia; davydoffs@mail.ru*

Soil profile temperatures in Northern Yakutia depend on their location in tundra or taiga zones and subzones, water content (drainage conditions), ice content in the underlying permafrost, vegetation cover, as well as soil particle size (texture) and thickness of organic horizons. The studied soils differ mainly in winter temperatures. The mean coldest month temperatures of loam soils measured at 20 cm below the surface are 10 °C higher in northern taiga than in southern tundra. However, the mean annual temperatures at this depth vary from –4.3 to –9.7 °C in tundra and from –1.2 to –4.9 °C in taiga. This discrepancy is primarily due to the effect of the snow cover which is thicker, less dense, and more stable in the forest landscapes. Sandy podburs have larger thawing degree-day sums and deeper 0 °C, 5 °C, and 10 °C isotherms than the loamy soils of tundra or taiga zones. Xeromorphic soils of steppe ecosystems in the northern taiga subzone have the warmest summer temperatures and are most responsive to temperature change.

Northern Yakutia, tundra soils, northern taiga soils, soil cover heterogeneity, temperature regime of soil, active layer, seasonal thawing

ВВЕДЕНИЕ

Термическое состояние почв Северной Якутии изучается со второй половины XX в. Имеющиеся в литературе сведения немногочисленны [*Григорьев, 1966; Савинов, 1976; Буценко, 1985; Давыдов, Буценко, 1992*]. Появление в последние десятилетия автоматических регистраторов данных существенно расширило возможности исследователей, упростив одновременные наблюдения за

© Д.Г. Федоров-Давыдов, С.П. Давыдов, А.И. Давыдова, Д.Г. Шмелев, В.Е. Остроумов, А.Л. Холодов, В.А. Сороковиков, 2018

температурой почв и грунтов на обширных территориях. Настоящая статья представляет собой попытку комплексного географического обобщения результатов многолетнего температурного мониторинга почв Колымской низменности, Яно-Индигирской низменности и Быковского полуострова.

ХАРАКТЕРИСТИКА ТОЧЕК НАБЛЮДЕНИЯ

Климат Северной Якутии может быть охарактеризован по данным четырех метеостанций (табл. 1, рис. 1). Продолжительность периода с положительными среднесуточными температурами составляет 115–134 дня, наибольшая отмечена для метеостанции Черский. Зимы относятся к суровым по средней температуре января. На побережье Северного Ледовитого океана (Тикси) климат умеренно континентальный, а на большей части территории – среднеконтинентальный, причем для метеостанций Андрюшкино и Черский степень континентальности по Н.Н. Иванову соответствует верхнему пределу значений для этой области. По количеству осадков климат умеренно сухой. Максимальные значения этого показателя наблюдаются в Тикси, а минимальные – в Андрюшкино, где климат может быть охарактеризован как сухой. Количество зимних осадков в пределах изучаемой территории различается сильнее, чем летних. В летнее время осадков повсеместно выпадает больше, но если в Тикси сумма летних осадков ненамного превышает сумму зимних, то в Андрюшкино количество осадков летом и зимой различается более чем в два раза. Многолетняя мерзлота имеет сплошное распространение.

Термическое состояние почв Северной Якутии исследовалось в трех подзонах тундры (арктической, типичной и южной) и в подзоне северной тайги, точнее, в северной части этой подзоны, часто называемой поясом притундровых редколесий. Ландшафты территории были достаточно подробно охарактеризованы ранее [*Федоров-Давыдов и др., 2004; Федоров-Давыдов, Давыдов, 2006*], поэтому здесь ограничимся кратким перечнем изучаемых почв и растительных ассоциаций с указанием их положения в рельефе (табл. 2).

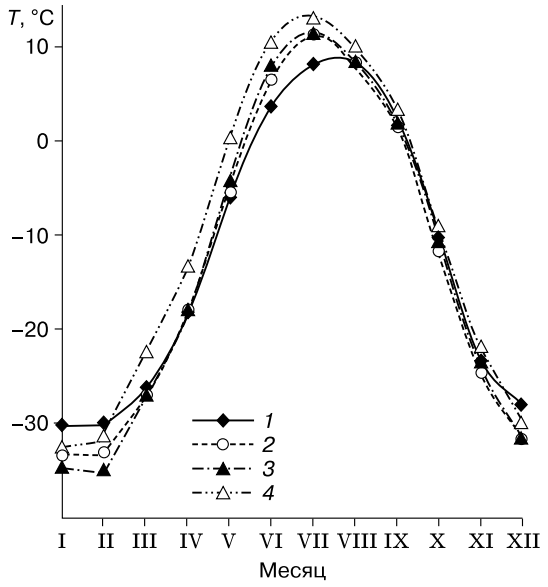

Рис. 1. Годовой ход температуры воздуха по среднемноголетним данным метеостанций:

1 – Тикси, 1980–2014 гг.; *2* – Чокурдах, 1980–2014 гг.; *3* – Андрюшкино, 1996–2014 гг.; *4* – Черский, 1980–2014 гг.

Большинство точек наблюдения за температурой сезонноталого слоя (СТС) расположено в пределах или в непосредственной близости от стандартных площадок (100 × 100 м), предназначенных для проведения мониторинга мощности СТС по правилам Международной программы “Циркумполярный мониторинг деятельного слоя” (Circumpolar Active Layer Monitoring – CALM). Они имеют те же номера, что и площадки. Дополнительные точки закладывались в окрестностях некоторых площадок с целью изучения разнообразия температурного режима почв различных элементов ландшафта.

Наблюдения проводились в 17 профилях (рис. 2), из них 9 соответствуют зональным типам почв тундры и северной тайги, а 8 характеризуют почвы незональных биогеоценозов. В пределах крайнего северо-востока Якутии – Колымской низменности – сосредоточено 14 точек наблюдения. Точка R31 (“река Аллаиха”) характеризует

Таблица 1. **Метеорологические условия Северной Якутии (среднемноголетние данные)**

Метеостанция	Широта	Долгота	Годы	Температура воздуха, °С			Годовая амплитуда температур, °С	Степень континентальности по Иванову	Кол-во дней с положит. среднесуточной температурой	Кол-во осадков, мм		
				среднегодовая	июль	январь				годовое	май–сентябрь	октябрь–апрель
Тикси	71°38′	128°52′	1980–2014	−12.6	8.2	−30.4	38.6	163	120	316	163	153
Чокурдах	70°37′	145°54′	1980–2014	−13.1	11.2	−33.6	44.8	192	121	208	116	92
Андрюшкино	69°10′	154°27′	1996–2014	−12.7	11.5	−34.4	45.9	201	115	130	88	42
Черский	68°45′	161°20′	1980–2014	−10.3	13.2	−32.7	45.9	202	134	224	122	102

Таблица 2. **Характеристика точек наблюдения**

Номер точки	Наименование	Широта	Долгота	Подзона	Положение в рельефе	Тип (подтип) почвы, гранулометрический состав	Растительная ассоциация	Средняя мощность СТС, см	Периоды наблюдений	Глубина установки датчиков, см
R29A	П-ов Быковский (едома)	71°47′	129°25′	Арктическая тундра	Водораздел	Глеезем грубогумусированный среднесуглинистый	Травянисто-лишайниково-зеленомошная тундра	40	08.2008–04.2012	0; 10; 20; 30
R29D	П-ов Быковский (алас)	71°45′	129°22′	То же	Алас-лагуна	Торфяно-глеезем засоленный среднесуглинистый	Зеленомошно-ивково-травянистое болото	45	08.2009–08.2010	0; 15; 25; 45
R13	Мыс Малый Чукочий	70°05′	159°52′	Типичная тундра	Водораздел	Криозем криометаморфизованный легкосуглинистый	Травянисто-зеленомошно-дриадовая тундра	48	08.1999–07.2002; 09.2002–09.2003; 08.2006–09.2010	0; 10; 20; 30; 40; 50; 60
R31	Р. Аллаиха	70°34′	147°26′	Южная тундра	»	Криозем грубогумусированный среднесуглинистый	Лишайниково-ивково-кустарничковая тундра	59	09.2008–07.2014	0; 10; 20; 60
R14	Р. Большая Чукочья	69°29′	156°59′	То же	»	То же	Зеленомошно-травянисто-кустарничковая тундра	57	09.1998–07.2000; 07.2002–05.2004; 08.2009–09.2010; 09.2011–09.2013	0; 10; 20; 30; 40; 50
R22	Р. Алазея (едома)	69°19′	154°58′	»	»	Криозем надмерзлотно-глееватый среднесуглинистый	Кустарничково-травянисто-зеленомошная тундра	69	09.1998–09.1999; 09.2005–09.2012	0; 10; 20; 40; 75
R22A	Р. Алазея (балка)	69°19′	154°58′	»	Балка	Торфяно-глеезем среднесуглинистый	Зеленомошно-осоковое болото	54	09.2009–09.2010	0; 50
R16	Булгуннях Сегодня	69°05′	158°54′	»	Ровная поверхность	Подбур оподзоленный песчаный	Кустарничково-зеленомошно-лишайниковая тундра	75	09.2005–09.2010	0; 20; 40; 50; 60; 80
R21	Оз. Ахмело	68°50′	161°02′	»	То же	То же	Цетрариево-кустарничковая тундра	107	09.2000–05.2002; 09.2002–01.2010; 08.2012–09.2014	0; 10; 20; 40; 50; 75; 100; 110
R18	Г. Родинка (водораздел)	68°44′	161°30′	Северная тайга	Водораздел	Криометаморфическая палево-метаморфизованная легкосуглинистая почва	Кустарничково-кустарниковое зеленомошное лиственничное редколесье	90	10.2005–08.2007; 06.2008–09.2011	0; 20; 50; 90
R18B	Г. Родинка (склон-1)	68°44′	161°24′	То же	Пологий склон южной экспозиции	То же	Лишайниково-кустарничковое лиственничное редколесье	100	11.2004–06.2007	5; 20; 40; 100
R18C	Г. Родинка (склон-2)	68°44′	161°24′	»	То же	Торфяно-криозем легкосуглинистый	Зеленомошное лиственничное редколесье	60	08.2005–08.2009	0; 20; 40; 60
R35	Р. Омолон	68°43′	158°54′	»	Водораздел	Криозем грубогумусированный легкосуглинистый	Березково-багульниково-зеленомошное лиственничное редколесье	70	08.2008–10.2013	0; 10; 20; 30 60
R36	Пос. Андрюшкино	69°10′	154°26′	»	»	Глеезем окисленно-глеевый тяжелосуглинистый	Аулакомниевое лиственничное редколесье	63	09.2007–08.2008; 09.2009–09.2012	0; 20
Amb	Протока Амболиха	68°40′	161°25′	»	Высокая пойма	Аллювиальная иловато-перегнойно-глеевая легкосуглинистая почва	Осоково-ивовая	65	08.2008–09.2010	0; 10; 25; 60
CH-2	Малиновый Яр	68°44′	161°30′	»	Бровка крутого склона южной экспозиции	Серогумусовая (таежно-степная) легкосуглинистая щебнистая почва	Остепненный участок, разнотравно-злаковая	–	11.2007–06.2009; 10.2009–08.2012	20; 70
Pan1	Р. Пантелеиха	68°41′	161°31′	»	То же	Перегнойно-темногумусовая метаморфизованная (таежно-степная) легкосуглинистая почва	Остепненный участок, полынно-разнотравно-злаковая	154	10.2005–05.2009	0; 10; 40; 100; 157

Примечание. Названия почв даны по “Полевому определителю почв России” [*2008*].

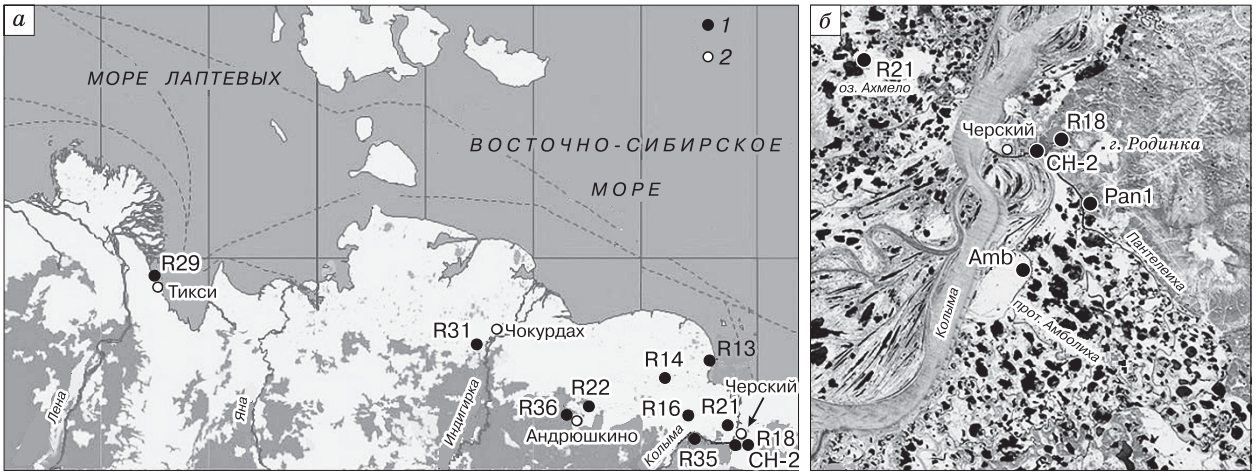

Рис. 2. Расположение точек термометрических наблюдений (*1*) и метеостанций (*2*):

а – на всей изучаемой территории; *б* – в низовье р. Колымы.

Яно-Индигирскую низменность, точки R29A и R29D – полуостров Быковский, отделяющий бухту Тикси от устья р. Лены. Фотографии некоторых точек термометрических наблюдений приведены на рис. 3.

Среди наблюдаемых зональных почв семь относятся к тундровым и две – к таежным биогеоценозам. Тундровые точки R29A, R13, R31, R14 и R22 находятся на дренированных водоразделах. Самая северная из них R29A ("полуостров Быковский") расположена в подзоне арктической тундры, точка R13 ("мыс Малый Чукочий") – в пределах типичной тундры, а точки R31 ("река Аллаиха"), R14 ("река Большая Чукочья") и R22 ("река Алазея") характеризуют подзону южной тундры, причем последняя расположена в непосредственной близости от северной границы тайги. Почвообразующие породы представлены высокольдистыми отложениями позднеплейстоценовой едомной свиты (ледового комплекса), голоценовая трансформация которых определила общность ландшафтно-геоморфологической ситуации [*Архангелов, 1977; Каплина и др., 1983; Зигерт и др., 2009*]. Две точки – R21 ("озеро Ахмело") и R16 ("булгуннях Сегодня") – расположены в Халлерчинской тундре, представляющей собой плоскую заболоченную равнину в междуречье Колымы и Коньковой, сложенную малольдистыми мелко- и тонкозернистыми полимиктовыми песками, накопление которых происходило в период среднего плейстоцена–голоцена [*Спектор, 1980*]. Эти точки различаются по степени увлажнения ландшафта: R21 расположена в относительно дренированной тундре, R16 соответствует "островку" зональной экосистемы посреди полигональных болот.

Измерение температуры зональных суглинистых почв северной тайги проводилось в окрестностях пос. Черского (R18, "гора Родинка"): на водоразделе (R18) и на склоне южной экспозиции (R18B). Почвообразующие породы суглинистых почв тундры и тайги имеют общее происхождение, они схожи по составу и льдистости, что облегчает сравнение этих почв в зональном ряду.

Незональные биогеоценозы в настоящей работе представлены остепненными участками по берегам р. Пантелеиха – правого притока Колымы (СН-2, Pan1), редколесьями разной степени заболоченности (R35, R36, R18C); Колымо-Пантелеихской поймой (Amb); аласом-лагуной Быковского полуострова (R29D) и переувлажненной балкой (R22A). Две последние экосистемы относятся к тундровой зоне. Заболоченные редколесья отличаются от зональных таежных биогеоценозов резким преобладанием мхов в напочвенном растительном покрове, более высокой мощностью органогенного горизонта (5–10 см) и переувлажненностью деятельного слоя. Сильно заболоченная точка R36 характеризуется присутствием сфагновых парцелл и непересыхающих мочажин, а также более низким бонитетом древостоя. В случае торфяно-криозема (R18C) мощность торфяного горизонта достигает 12–16 см.

ПРОВЕДЕНИЕ МОНИТОРИНГА И РАСЧЕТОВ

Изучение температурного режима почв с помощью автоматических электронных регистраторов начато в 1998 г. в Колымской низменности. Все точки наблюдения на ее территории были заложены в период 1998–2009 гг. В 2008 г. исследования распространились на соседнюю Яно-Индигирскую низменность и п-ов Быковский.

В работе использовались одно-, двух- и четырехканальные регистраторы (Thermologgers Onset

Рис. 3. Ландшафтная характеристика точек термометрических наблюдений:

а – “п-ов Быковский (едома)” (R29A); *б* – “п-ов Быковский (алас)” (R29D); *в* – “мыс Малый Чукочий (едома)” (R13); *г* – “река Алазея” (R22); *д* – “озеро Ахмело” (R21); *е* – “река Омолон” (R35); *ж* – “протока Амболиха” (Amb); *з* – “река Пантелеиха” (Pan1). Фотографии Л.Г. Шмелева, А.Л. Холодова, С.П. Давыдова, Д.Г. Федорова-Давыдова, Н.С. Мергелова, А.А. Мерекалова.

HOBO; StowAway). Датчики температуры в зональных биогеоценозах тундры и тайги устанавливались в профили почв, расположенные под положительными элементами нанорельефа. В тундровой точке R22 температурное поле почв изучалось по элементам криогенного бугорковатого нанорельефа[1]: под бугорком и под межбугорковой западинкой. В большинстве случаев размещение регистраторов производилось в конце лета или начале осени, т. е. в период максимального сезонного протаивания почв.

Для того чтобы свести к минимуму нарушения почвенного профиля и растительного покрова в процессе установки датчиков, их опускали в узкую скважину, проделанную с помощью металлического щупа или ручного бура на глубину сезонноталого слоя. Регистраторы данных герметизировали и закапывали рядом с датчиками, но за пределами изучаемого элемента нанорельефа. После установки оборудования в точке наблюдения тщательно восстанавливалась природная обстановка.

Интервал между измерениями составлял от 1.5 до 6 ч, но в подавляющем большинстве случаев был равен 2 ч. Переписывание данных с регистраторов производилось, как правило, каждые 1–2 года в ходе работ по мониторингу деятельного слоя и многолетней мерзлоты. Кроме того, на участках термометрии с помощью металлического щупа определяли мощность СТС. Значения этого показателя, усредненные за весь период наблюдений, приведены в табл. 2.

В рассматриваемом массиве данных отсутствует строгая синхронность температурных замеров в разных точках. Прежде всего, наблюдения в Колымской низменности были начаты на 10 лет раньше, чем в более западных районах Северной Якутии, а увеличение числа точек на северо-востоке проходило постепенно. Кроме того, по техническим и организационным причинам часто имели место перерывы в мониторинге. Периоды результативных измерений для каждой точки даны в табл. 2. В тех случаях, когда это возможно, сравнение средних величин температурных показателей за весь период наблюдений дополняется сравнением средних данных, рассчитанных для одних и тех же лет.

Термическое состояние почв оценивалось в первую очередь по средним температурам на глубинах 20 и 50 см. Глубина 20 см считается стандартной глубиной термометрии в нашей стране [*Димо, 1972*], а 50 см – в США [*Soil taxonomy, 1999*]. Сочетание глубин 20 и 50 см при изучении температурного режима используют и другие исследователи [*Мажитова, 2008; Архангельская, 2012; Москаленко и др., 2012; Hayhoe, Tarnocai, 1993; Smith et al., 1998*]. Таким образом, получаемые данные легко сравнимы с литературными.

При сопоставлении температурных характеристик почв зонального ряда использовались данные, полученные для тундровых криоземов и глеезема и водораздельной криометаморфической почвы северной тайги (R18). Криозем заболоченной тайги в качестве зональной почвы (R35) не рассматривался.

Для точек, находящихся вблизи от метеостанций, рассчитывались зимние и летние температурные индексы поверхности (N-факторы), равные отношению сумм отрицательных или положительных температур на поверхности почвы к суммам соответственно отрицательных или положительных температур воздуха, измеренных на ближайших метеостанциях. Для наиболее теплых почв, в которых на глубине 20 см наблюдались среднесуточные температуры выше 10 °С, мы вычисляли нагреваемость, или коэффициент Димо [*1972*], равный отношению суммы активных (>10 °С) температур почвы на глубине 20 см к сумме температур воздуха выше 10 °С за тот же период. В качестве последних были взяты данные метеостанции Черский.

Классификация температурного режима и климата почв проводилась по В.Н. Димо [*1972*]. Температурный режим всех изученных почв относится к *мерзлотному* типу, а на уровне подтипа разделение в ряде случаев затруднено, так как температурный режим в одной и той же точке по летним и зимним характеристикам может относиться к разным подтипам: *очень холодному*, *холодному* или *умеренно холодному*. Поэтому в настоящей работе классификация температурного режима производится раздельно для теплого и холодного периодов.

ЗАВИСИМОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВ ОТ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ

Для зональных суглинистых почв водоразделов Северной Якутии средняя температура за три летних месяца (июнь–август)[2] на глубине 20 см с севера на юг увеличивается от 0.1 до 3.6–3.9 °С (табл. 3, рис. 4). В глееземе арктической тундры (R29A) эта величина в отдельные годы может

[1] Под криогенным нанорельефом авторы понимают ритмически повторяющиеся неровности дневной поверхности, обусловленные протеканием криогенных процессов: бугорки, грунтовые кочки, западинки, пятна-медальоны, трещины, полигоны, валики, бордюры и др. Вертикальные размеры элементов нанорельефа измеряются сантиметрами и дециметрами (до 1 м), а горизонтальные – дециметрами и метрами (иногда первыми десятками метров). Ритмам криогенного нанорельефа соответствуют почвенные нанокомплексы.

[2] Здесь и далее приводятся средние значения за весь период наблюдений в данной точке, кроме специально оговоренных случаев.

Таблица 3. **Температурные показатели (°С) почв Северной Якутии на глубине 20 см (средние за период наблюдений)**

Номер точки	Среднегодовая температура	Средняя температура			Годовая амплитуда температур	Сумма среднесуточных температур			
		летний период (июнь–август)	самый теплый месяц	самый холодный месяц		>0 °С	>5 °С	>10 °С	<0 °С
R29A	–9.7	0.1	1.5	–22.7	24.2	70	0	0	–3610
R13	–9.4	1.9	3.0	–23.1	26.1	210	80	0	–3550
R31	–8.3	2.3	4.1	–20.3	24.4	260	90	0	–3250
R14	–	–	–	–23.1	–	–	–	–	–3490
R22	–7.3	3.9	5.3	–19.9	25.2	420	230	0	–3100
R16	–7.9	4.5	6.5	–21.9	28.4	490	330	80	–3120
R21	–4.3	6.0	7.5	–15.9	23.4	620	480	90	–2190
R18	–2.1	3.6	5.0	–9.9	14.9	400	190	0	–1160
R18B	–1.2	4.9	5.8	–7.9	13.7	510	340	0	–950
R18C	–2.3	1.3	2.6	–7.6	10.2	170	0	0	–980
R35	–3.4	2.8	4.1	–11.5	15.6	300	100	0	–1500
R36	–4.9	2.1	3.5	–13.1	16.6	210	60	0	–2040
Amb*	–5.4	3.6	5.3	–15.3	20.6	370	120	0	–2330
CH-2	–2.9	12.9	15.2	–18.9	34.1	1530	1430	1120	–2560

* Глубина 25 см.

быть даже отрицательной за счет низкой температуры июня. Средние температуры почвы (на глубине 20 см) в самом теплом месяце[3] увеличиваются в том же направлении с 1.5 до 5.0–5.3 °С. Сравнение, проведенное по данным летнего периода 2010 г., в течение которого наблюдения осуществлялись синхронно, демонстрирует еще большее изменение и среднелетних температур (от 0.5 до 3.8–4.5 °С), и температур в самом теплом месяце (от 1.7 до 5.4–7.3 °С). Таежная почва (R18) была несколько холоднее близкой по широте почвы южной тундры (R22).

Среднелетняя температура почвы (на глубине 50 см) от типичной тундры к северной тайге увеличивается с 0.2 до 1.1 °С, а ее температура в самом теплом месяце – с 1.7 до 2.7 °С. В 2007 г. одновременные наблюдения показали следующее: среднелетние температуры возрастали от 0.2 до 1.7 °С, а температуры самого теплого месяца – от 1.7 до 3.5 °С (табл. 4). На этой глубине наиболее высокие температуры зональных почв отмечаются в таежном ландшафте. Мезоморфные криометаморфические почвы тайги характеризуются более равномерным распределением температур по профилю по сравнению с гидроморфными криоземами и глееземом тундры, что отражает их более высокую температуропроводность.

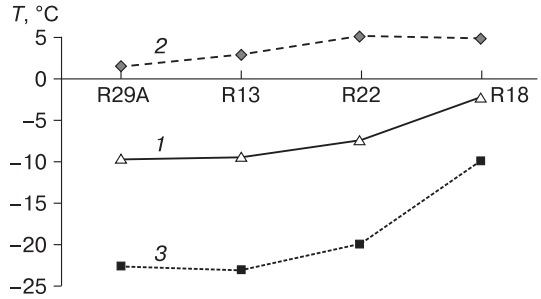

Рис. 4. Изменение температур суглинистых почв (глубина 20 см) в зональном ряду.

1 – среднегодовая температура; *2* – средняя температура в самом теплом месяце; *3* – средняя температура в самом холодном месяце.

Годовая сумма среднесуточных положительных температур почв в зональном ряду на глубине 20 см увеличивается с 70 до 400–420 °С, а на глубине 50 см – с 30 до 150 °С. В 2010 г. на глубине 20 см эта величина изменялась со 100 до 420–460 °С. Отношение годовой суммы среднесуточных температур выше 5 °С к общей сумме положительных температур зональных почв на глубине 20 см в этом направлении увеличивается от 0 до 47–55 %. На глубине 50 см температуры выше 5 °С в зональных суглинистых почвах не отмечаются.

Более существенно почвы Северной Якутии различаются по зимним термическим показателям. В самый холодный месяц температура зональных почв на глубине 20 см с севера на юг изменяется от –22.7...–23.1 до –9.9 °С (см. табл. 3, рис. 4). Если в самом теплом месяце почвы (гл. 20 см) различаются на 3.8 °С, то в самом холодном – на 13.2 °С. Та же закономерность имела место для почв северо-западной Канады [*Smith et al.,*

[3] Здесь и далее под самым теплым и самым холодным месяцами подразумеваются самый теплый и самый холодный месяцы для почвы на определенной глубине. Они, как правило, не совпадают с аналогичными периодами для воздуха.

Таблица 4. **Температурные показатели (°С) почв Северной Якутии на глубине 50 см (средние за период наблюдений)**

Номер точки	Среднегодовая температура	Средняя температура			Годовая амплитуда температур	Сумма среднесуточных температур		
		летний период (июнь–август)	самый теплый месяц	самый холодный месяц		>0 °С	>5 °С	<0 °С
R13	–8.2	0.2	1.7	–20.0	21.7	30	0	–3500
R14	–	–	–	–21.0	–	–	–	–3310
R22	–7.2	0.1	1.7	–17.6	19.3	100	0	–2690
R22A	–7.1	–0.7	0.5	–16.3	16.8	30	0	–2580
R16	–7.4	1.0	3.2	–19.4	22.6	190	20	–2860
R21	–4.2	2.9	4.8	–14.1	18.9	330	140	–1820
R18	–2.8	1.1	2.7	–10.0	12.7	150	0	–1160
R18B*	–1.6	2.3	3.8	–7.2	11.0	270	0	–820
R18C*	–2.4	0.1	1.2	–7.1	8.3	60	0	–930
Pan1*	–3.5	6.5	7.7	–15.4	23.1	750	610	–2000

* Глубина 40 см.

1998], Большеземельской тундры [*Мажитова, 2008*] и севера Западной Сибири [*Гончарова и др., 2015*]. Наиболее резкое изменение зимних значений происходит при переходе от южной тундры (R22) к северной тайге (R18), когда температура почвы в самом холодном месяце скачкообразно увеличивается на 10 °С (с –19.9 до –9.9 °С). На глубине 50 см эта величина изменяется от –17.6 до –10.0 °С (см. табл. 4). Сильное различие выявлено для минимальных среднесуточных температур почв за весь период наблюдений: в тундровых почвах (гл. 20 см) они составляют –25.0...–28.7 °С, в таежных –9.4...–13.5 °С. Температурный режим холодного периода от тундры к тайге на уровне подтипа по классификации В.Н. Димо [*1972*] изменяется с *очень холодного* на *холодный*.

При переходе от тундры к тайге сумма отрицательных среднесуточных температур почвы на глубине 20 см повышается почти на 2000 °С, а на 50 см – примерно на 1500 °С. Для периода синхронных наблюдений (2006–2007 гг.) различия были не столь большими: примерно 1400 °С (гл. 20 см) и 1200 °С (гл. 50 см).

Тундровые и таежные ландшафты значительно различаются по величинам зимнего N-фактора, отражающего роль снега в формировании температурного режима дневной поверхности [*Klene et al., 2001*]. В тундрах они в разные годы составляли 0.68–0.88 (R29A), 0.64–0.67 (R31) и 0.53–0.66 (R22). Для таежных участков окрестностей пос. Черского (R18 и R18C) этот показатель равен 0.28–0.40. Существенно более высокие температуры собственно почв тайги в зимнее время мы также связываем в первую очередь с влиянием снежного покрова – более рыхлого, мощного и стабильного, чем в тундре [*Зайцев, 1989*]. По мнению А.М. Шульгина [*1972*], снег в условиях Сибири оказывает большее влияние на почвенный климат, чем температура воздуха. Применительно к Северной Якутии его особую роль подчеркивал Д.Д. Савинов [*1976*].

Изменение среднегодовых значений температуры почв в направлении с севера на юг происходит главным образом за счет зимней составляющей. На глубине 20 см в зональном ряду этот показатель возрастает на 7.6 °С, при этом резко увеличивается на границе тундры и тайги – на 5.2 °С (с –7.3 до –2.1 °С) (см. табл. 3, рис. 4). Для 2006 г., когда наблюдения велись одновременно, различия составляли 4.7 °С. Годовая амплитуда среднемесячных температур почв на глубине 20 см от южной тундры к северной тайге снижается более чем на 10 °С, а на 50 см – более чем на 6 °С (см. табл. 3). По данным 2006 г., величина амплитуды уменьшалась на 8.2 °С (гл. 20 см) и 8.0 °С (гл. 50 см). Почвенный климат по классификации В.Н. Димо от тундры к тайге резко меняется с *континентального* на *мягкий*.

Влияние фациальной неоднородности тундрового ландшафта на температурное поле почв мы изучали на примере элементов криогенного бугорковатого нанорельефа (R22) (табл. 5). Мощность сезонноталого слоя различалась в 1.8 раза. Среднегодовые температуры почв под бугорком и под западинкой близки. При этом летние значения маломощного и переувлажненного торфяно-глеезема западинки были ниже, а зимние выше криозема бугорка. Под западинкой среднелетняя температура почвы (гл. 20 см) была на 3.5 °С, а температура в самом теплом месяце на 3.9 °С ниже, чем на той же глубине под бугорком. Разница температур в самый холодный месяц составляла 1.5 °С. Сумма положительных температур торфяно-глеезема западинки была меньше на 310 °С, а значений выше 5 °С в нем не удалось зафиксировать даже в аномально теплом 2007 году. Годовая амплитуда

Таблица 5. **Глубина сезонного протаивания и температурные показатели (глубина 20 см) тундровых почв (R22, "река Алазея") в пределах криогенного нанокомплекса**

Элемент нанорельефа	Подтип почвы	Глубина сезонного протаивания, см	Среднегодовая температура, °С	Средняя температура, °С			Годовая амплитуда температур, °С	Сумма среднесуточных температур	
				летний период (июнь–август)	самый теплый месяц	самый холодный месяц		>0 °С	>5 °С
Бугорок	Криозем надмерзлотно-глееватый	70	–6.8	4.2	6.0 (июль)	–18.5 (март)	24.5	440	260
Западинка	Торфяно-глеезем криотурбированный	39	–7.0	0.7	2.1 (август)	–17.0 (март)	19.1	130	0

Примечание. Средние данные за 2005–2010 гг.

различалась на 5.4 °С. Почвенный климат под западинкой может быть охарактеризован как *умеренно континентальный*, в отличие от *континентального* климата под бугорком.

В северотаежной подзоне влияние фациальной неоднородности ландшафта на термическое состояние почв рассматривалось на уровне мезорельефа. Зональные суглинистые почвы водораздельного участка и пологого склона южной экспозиции существенно различались по термическим показателям (табл. 6). За период 2005–2007 гг. среднегодовая температура в склоновой почве (глубина 20 см) была выше на 1.4 °С, среднелетняя – на 1.3 °С, а температура в самом теплом месяце – на 0.6 °С. Сумма температур выше 0 °С различалась на 100 °С, а выше 5 °С – на 120 °С. В самом холодном месяце температура склоновой почвы на этой глубине была на 3 °С выше, что, по-видимому, связано с большей стабильностью снежного покрова. В склоновой криометаморфической почве (R18B) среднегодовая температура на глубине 5 см за 2005 г. оказалась положительной (0.8 °С), чего не отмечалось ни в каком другом случае. Такая аномалия, видимо, связана с чрезвычайно высоким (до 69 см) и рано установившимся снежным покровом, определившим медленное промерзание и высокие температуры в профиле на протяжении зимы 2004/05 г.

Заболачивание тайги вызывает охлаждение почв. Снижение летних значений температуры по мере увеличения степени гидроморфизма их профилей было прослежено на примере минеральных почв незаболоченного (R18), слабо заболоченного (R35) и сильно заболоченного (R36) лесов (см. табл. 3). Мощность СТС в этом ряду уменьшалась на 27 см (см. табл. 2). Среднелетняя температура почвы и ее температура в самом теплом месяце (гл. 20 см) изменялась на 1.5 °С; сумма положительных среднесуточных значений снижалась на 190 °С, а значений выше 5 °С – на 130 °С. Доля температур выше 5 °С от общей годовой суммы положительных среднесуточных температур по мере заболачивания уменьшалась с 47 до 28 %. Температура почвы в самом холодном месяце от R18 к R36 понижалась на 3.2 °С, а годовая сумма отрицательных температур – на 880 °С. Снижение зимних значений в этом ряду связано не с изменением теплофизических свойств почв, а в первую

Таблица 6. **Средние температурные показатели (°С) таежных почв (глубина 20 см) в окрестностях пос. Черского**

Элемент мезорельефа	Тип почвы	Период наблюдений	Среднегодовая температура	Средняя температура			Годовая амплитуда температур	Сумма среднесуточных температур	
				летний период (июнь–август)	самый теплый месяц	самый холодный месяц		>0 °С	>5 °С
Водораздел	Криометаморфическая (R18)	2005–2007	–2.6	3.6	5.4 (август)	–10.9 (март)	16.3	410	220
		2005–2009	–2.4	4.2	5.5 (август)	–10.9 (март)	16.4	440	250
Пологий склон южной экспозиции	Криометаморфическая (R18B)	2005–2007	–1.2	4.9	6.0 (июль)	–7.9 (март)	13.9	510	340
	Торфяно-криозем (R18C)	2005–2009	–2.3	1.3	2.6 (август)	–7.6 (март)	10.2	160	0

очередь с нарастанием степени континентальности и суровости зимы с востока на запад в пределах Колымской низменности, что выражается в снижении температур и уменьшении количества осадков в зимнее время (см. табл. 1). Континентальность почвенного климата в этом направлении также увеличивается, он меняется с *мягкого* на *умеренно континентальный*.

Отдельного внимания заслуживает температурный режим торфяно-криоземов с органогенными горизонтами более 10 см, широко встречающихся в почвенном покрове северной тайги наряду с зональными разностями. В окрестностях пос. Черского температура такой почвы (R18C) в самом теплом месяце была на 2.9 °С ниже, чем зональной (R18) (см. табл. 6). Сумма положительных температур отличалась на 280 °С, а значения выше 5 °С в торфяно-криоземе не наблюдались. Максимальные величины, зафиксированные в этой почве на глубине 20 см, составляли 3.6–3.7 °С. По термическим характеристикам холодного периода торфяно-криозем близок к соседствующей с ним на южном склоне криометаморфической почве (R18B). Их температурный режим по формальным показателям относится к *умеренно холодному* подтипу. Таежный торфяно-криозем характеризуется самой узкой годовой температурной амплитудой.

На пойменном участке (Amb) в пределах таежной зоны из-за широкого распространения ивовых кустов снегонакопление выражено не хуже, чем в редколесьях. Однако температурный режим аллювиальной почвы намного более контрастен. По летним значениям температуры она почти не отличается от зональной почвы тайги, но по зимним и среднегодовым значениям, а также по годовой амплитуде занимает промежуточное положение между таежными и тундровыми почвами (см. табл. 3). Причина заключается в нанорельефе поверхности, представленном фитогенным кочкарником (см. рис. 3, *ж*). Он способствует глубокому и быстрому выхолаживанию почвы в период осеннего промерзания за счет непосредственного соприкосновения возвышающихся над снегом кочек с холодным воздухом. Таким образом, высокий снежный покров не препятствует потерям тепла. Климат этой почвы является *умеренно континентальным*.

Наравне с географической широтой, зональным положением, растительностью, степенью гидроморфизма профиля и мощностью органогенного горизонта температурный режим почв определяют гранулометрический состав и льдистость подпочвенных многолетнемерзлых отложений. Подбуры – зональные почвы Халлерчинской тундры, развивающиеся на песках с массивной криотекстурой, имеют значительно более высокие летние температуры по сравнению с криоземами, сформированными на высокольдистых суглинках (см. табл. 3). Мы изучали “холодный” (R16) и “теплый” (R21) варианты подбура. Помимо различий в степени заболоченности ландшафта второй вариант, расположенный восточнее, сформирован в условиях более мягкого климата и более высоких температур воздуха как летом, так и зимой. Разница среднелетних температур в профилях подбуров и близкого им по широте надмерзлотно-глееватого криозема (R22) на глубине 20 см составляет 0.6–2.1 °С, а на глубине 50 см – 0.9–2.8 °С; температуры в самом теплом месяце для подбуров выше на 1.2–2.2 (гл. 20 см) и на 1.8–3.4 °С (гл. 50 см) (см. табл. 3). Зональные почвы Халлерчинской тундры отличаются как более высокими значениями годовых сумм положительных температур, так и долей в них температур выше 5 °С. Кроме того, в силу большей теплопроводности и меньшей теплоемкости песчаного материала они прогреваются на большую глубину [*Романовский, 1993*]. От зональных суглинистых почв подбуры отличаются присутствием среднесуточных температур выше 5 °С на глубине 50 см, где их годовая сумма составляет 20–140 °С (11–42 % от общей суммы положительных значений). Другой особенностью песчаных почв является периодическое проникновение в их профиль (гл. 20 см) активных среднесуточных температур (>10 °С), чего не наблюдается в подавляющем большинстве суглинистых почв. Сумма температур выше 10 °С составляет 15–16 % от суммы положительных значений. В летнее время подбур дренированной тундры (R21) представляет собой наиболее теплую из всех зональных почв изучаемого региона (см. табл. 3).

Помимо непосредственного влияния гранулометрического состава и льдистости мерзлоты, замыкающей профиль, в качестве одной из причин высоких летних температур подбуров Халлерчинской тундры выступает рыхлый кустарничково-лишайниковый растительный покров, способствующий прогреванию поверхности. Так, при синхронных наблюдениях в 2006 г. значение летнего N-фактора в точке R21 составляло 0.80, а в точке R22 с кустарничково-травянисто-зеленомошной растительной ассоциацией – 0.65.

Наиболее высокотемпературными почвами Северной Якутии являются ксероморфные разности очень небольших по размеру экстразональных степных сообществ (CH-2, Pan1), распространенных по берегам рек на крутых склонах южной экспозиции в подзоне северной тайги. По термическим показателям эти так называемые таежно-степные почвы резко отличаются от всех остальных (см. табл. 3). Достаточно отметить, что в одном из наблюдаемых профилей (CH-2) на глубине 20 см

среднелетняя температура была на 6.9 °С, а температура в самом теплом месяце на 7.7 °С выше, чем в "теплом" варианте подбура. Температурный режим таежно-степных почв по показателям теплого периода относится не к *очень холодному* подтипу, как во всех описанных случаях, а к *холодному*.

Из-за отсутствия на открытых остепненных участках мощного и рыхлого снежного покрова, характерного для лесных биогеоценозов, а также низкой влажности профиля эти почвы имеют чрезвычайно контрастный термический режим. По среднегодовым значениям температуры они похожи на соседствующие с ними таежные почвы, а по зимним больше напоминают тундровые, им свойствен *очень холодный* подтип температурного режима. Величины зимнего N-фактора (0.55–0.66) также подчеркивают их сходство с тундровыми экосистемами. Годовая температурная амплитуда на глубине 20 см (СН-2) равна 34.1 °С, что соответствует *резко континентальному* почвенному климату.

Для того чтобы подчеркнуть своеобразие таежно-степных почв, их сравнивали с зональными вариантами по величине нагреваемости (коэффициенту Димо). Для большинства зональных почв рассчитать его было невозможно из-за отсутствия в них на глубине 20 см среднесуточных температур выше 10 °С. Но даже в песчаных подбурах, где такие температуры имеют место, коэффициент Димо составляет всего 0.1, в то время как в почвах остепненных участков он равен 1.2. Для Западного Таймыра (стационар Агапа) В.Д. Васильевская с соавторами [*1974*] приводят следующие значения нагреваемости: 0.18–0.28 у почвы голого пятна и 0.63–1.00 у дерновой песчаной почвы яра юго-восточной экспозиции. Последняя, видимо, близка к изучаемым нами ксероморфным почвам. В целом для почв с нагреваемостью ниже 1.0 отмечается тенденция к избыточному увлажнению, как для большинства мерзлотных таксонов. Наоборот, для почв, нагреваемость которых выше 1.0, имеет место тенденция к иссушению профиля [*Димо, 1972*], что мы и наблюдаем на остепненных участках, несмотря на наличие многолетней мерзлоты.

Среднегодовая температура почв Северной Якутии на глубине 20 см изменяется в широких пределах. Значения этого показателя для тундровых разностей находятся в области от –4.3 до –9.7 °С, а для таежных и таежно-степных – от –1.2 до –4.9 °С. Пойменная почва (Amb) занимает промежуточное положение –5.4 °С (см. табл. 3). Самая низкая среднегодовая температура наблюдается в глееземе арктической тундры (R29A), а самая высокая – в таежной почве южного склона (R18B). Лес в условиях сибирской Субарктики оказывает отепляющее влияние на почву и подстилающую мерзлоту [*Павлов, 1975, 1984*].

Полученные нами среднегодовые температуры почв, близкие к температурам соответствующих им многолетнемерзлых пород, позволяют разделить изучаемые ландшафты по типам сезонного протаивания отложений [*Кудрявцев и др., 1979*]. Большинство тундровых (кроме юго-востока Халлерчинской тундры) и пойменных ландшафтов характеризуются устойчивым типом протаивания, а большинство таежных вместе с остепненными участками – длительно устойчивым типом.

Измерения на глубине 50 см позволяют классифицировать температурные режимы почв в рамках американской системы "Soil taxonomy" [*1999*]. В случае тундровых разностей они относятся к классу Pergelic (среднегодовая температура ниже –4 °С), а в случае таежных и таежно-степных – к классу Subgelic (среднегодовая температура выше –4 °С), т. е. различия двух природных зон по температурному режиму почв прослеживаются еще более четко.

Разность между среднегодовыми значениями температуры на поверхности почвы и на подошве деятельного слоя при многолетних наблюдениях почти всегда была отрицательной и изменялась в пределах –0.1...–0.7 °С. Эта величина коррелировала с мощностью СТС (коэффициент корреляции $r = 0.81$): она была минимальной для глеезема арктической тундры (R29A) и максимальной для таежно-степной почвы (Pan1). В нашем случае разность температур, по-видимому, обусловлена не только различиями теплопроводности почв в мерзлом и талом состоянии, т. е. собственно "температурной сдвижкой" по В.А. Кудрявцеву [*Достовалов, Кудрявцев, 1967*], но и тенденцией к изменению почвенного климата в сторону потепления, отчетливо проявившейся за годы мониторинга.

Потепление в Северном полушарии началось во второй половине 1960-х–начале 1970-х гг., почти 50 лет назад. Наибольшая скорость изменения климата отмечалась в 1980-е гг. На северо-востоке Евразии среднегодовая температура воздуха с середины XX в. увеличилась на 0.6 °С, среднемноголетний темп ее повышения составлял 0.01–0.02 °С/год [*Павлов, Малкова, 2005*]. Применительно к региону исследования мы фиксировали эту тенденцию на примере динамики температуры многолетней мерзлоты [*Kholodov et al., 2012*] и мощности деятельного слоя [*Мерекалова и др., 2006; Fedorov-Davydov et al., 2008*].

СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕРМОМЕТРИИ С ЛИТЕРАТУРНЫМИ ДАННЫМИ

Карта средней месячной температуры почвы на глубине 20 см (под естественной растительностью) масштаба 1:50 000 000 из "Климатического атласа СССР" [*Среднемесячная температура..., 1960*] содержит, как нам представляется, сильно

завышенные значения температуры в летние месяцы.

Изучаемая почва арктической тундры п-ова Быковский по среднелетней температуре и температуре в самом теплом месяце близка к почвам относящихся к Якутии островов Северного Ледовитого океана [*Доронина, 1963; Кручинин, 1963; Григорьев, 1966; Молочушкин, 1970*]. Во всех остальных случаях летом материковые почвенные профили были теплее островных. Зимние температуры почвы о. Муостах в заливе Буор-Хая [*Молочушкин, 1970, 1972*] соответствовали области значений, характерной для большинства изученных нами тундровых почв (R29A, R13, R31, R14, R16).

Монография Д.Д. Савинова [*1976*] в значительной степени посвящена подробному изучению температурного режима разнообразных аллювиальных вариантов в районе Походского стационара (низовье р. Колымы). В нашем исследовании объем полученной информации о температуре почвы в единственной пойменной точке наблюдения (Amb) невелик, так что сравнение затруднительно. Обращают на себя внимание низкие летние значения температуры песчаного тундрового подбура урочища Роговатки. По-видимому, это связано с более северным, близким к морю, его расположением. Что касается низких термических показателей в случае зональной почвы северной тайги [*Савинов, 1976*], то они, скорее всего, связаны с иным типом лесного сообщества в районе пос. Жиганска (долина р. Лены). В отличие от редколесий, тайга со значительно более густым древостоем оказывает сильное затеняющее воздействие и препятствует прогреванию профиля. Кроме того, различия в данных могут объясняться вышеуказанными климатическими изменениями.

Как было отмечено, в пределах Северной Якутии почвы в большей степени различаются по температурным показателям не теплого, а холодного периода. Такая же закономерность выявляется и при сопоставлении их с почвами других регионов Субарктики. Изученные нами криоземы и глеезем тундровой зоны в летнее время несколько холоднее близких к ним по гранулометрическому составу почв Западного Таймыра [*Васильевская и др., 1974; Богатырев и др., 1981*] и северо-запада Канады [*Smith et al., 1998*], а также существенно холоднее мерзлотного глеезема Большеземельской тундры [*Мажитова, 2008*]. В последнем случае имело место эпизодическое проникновение активных (>10 °С) среднесуточных температур на глубину 20 см. Однако зимой различия зональных тундровых почв по термическому режиму выражены гораздо резче. Так, в самом южном и теплом криоземе Северной Якутии (R22) на глубине 20 см сумма положительных среднесуточных температур была на 30 °С, а сумма отрицательных на 650 °С ниже, чем в тундровой почве северо-запада Канады. При сравнении с глубокомерзлотным глееземом Большеземельской тундры разница сумм положительных температур составляла 280 °С, а сумм отрицательных равна 1410–2270 °С. От немерзлотных тундровых почв Северо-Восточной Европы [*Кононенко, 1986; Мажитова, 2008*] якутские криоземы отличались еще сильнее.

Таежные почвы Северной Якутии и северо-западной Канады [*Smith et al., 1998*] более близки по температурному режиму, чем тундровые. И летние, и зимние термические показатели канадских почв находились на уровне значений, полученных нами для теплых лесных вариантов в районе пос. Черского.

ВЫВОДЫ

1. Температуры суглинистых почв Северной Якутии повышаются в зональном ряду с севера на юг. В этом же направлении увеличивается доля среднесуточных температур почв выше 5 °С в сумме положительных температур. При переходе от тундры к северной тайге температуры зимнего периода на глубине 20 см изменяются гораздо резче, чем летние, за счет этого скачкообразно возрастают среднегодовые значения температуры профиля (более чем на 5 °С) и снижаются величины годовой амплитуды (более чем на 10 °С). Высокие зимние температуры почв в таежных биогеоценозах мы связываем прежде всего с влиянием более стабильного, мощного и рыхлого снежного покрова.

2. Сравнение с литературными данными показало, что зональные суглинистые почвы Северной Якутии существенно холоднее близких по составу и строению мерзлотных почв некоторых других регионов Субарктики (Западного Таймыра, Большеземельской тундры, северо-западной Канады). В большей степени эти различия проявляются в зимний период.

3. Бугорковатый нанорельеф и связанная с ним комплексность почвенного покрова в тундровой зоне определяют неоднородность температурного режима СТС. Торфяно-глееземам межбугорковых западинок свойственны постоянное господство холода (температур ниже 5 °С) на глубине 20 см и значительно меньшая годовая температурная амплитуда.

4. Заболачивание тайги и увеличение мощности органогенного горизонта ведут к понижению температур почвенного профиля в летний период.

5. Для подбуров, формирующихся на малольдистых песчаных отложениях, характерны более высокие летние температуры и более глубокое (до 50 см) проникновение изотермы 5 °С, чем для суглинистых почв тундры и тайги. В разгар летнего сезона в профиле подбуров (глубина 20 см) могут наблюдаются среднесуточные температуры выше 10 °С, что не отмечено для других зональных почв.

6. В пределах изучаемого региона наиболее теплыми и наименее инерционными к изменению температуры являются ксероморфные почвы экстразональных степных сообществ (таежно-степные почвы). Для них характерны наиболее высокие температуры в летнее время и максимальные значения годовой температурной амплитуды.

7. Среднегодовая температура тундровых почв Северной Якутии на глубине 20 см изменяется от –4.3 до –9.7 °С, таежных и таежно-степных – от –1.2 до –4.9 °С. Промежуточное положение по этому показателю занимает пойменная почва. Большинство тундровых и пойменных ландшафтов характеризуются устойчивым типом сезонного протаивания мерзлоты, а большинство таежных вместе с остепненными участками – длительно устойчивым.

8. Почвам Северной Якутии свойствен мерзлотный тип температурного режима. На уровне подтипа температурный режим летнего периода для всех изученных почв является очень холодным, исключение наблюдается лишь для таежно-степных почв, режим которых может быть охарактеризован как холодный. Температурный режим зимнего периода в случае тундровых, пойменных и таежно-степных почв относится к очень холодному, а в случае таежных – к холодному, реже к умеренно холодному подтипу. По величине годовой температурной амплитуды климат таежных почв является мягким, реже – умерено континентальным; пойменных – умеренно континентальным; тундровых – континентальным; таежно-степных – резко континентальным.

Авторы выражают благодарность начальнику метеостанции Андрюшкино Л.В. Нестеровой, гидрологу А.Е. Винокурову и жителю пос. Черского Э.М. Лангу за неоценимое участие в проведении мониторинга, а также сотрудникам лаборатории криологии почв Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН канд. биол. наук А.В. Лупачеву и канд. геогр. наук А.А. Веремеевой за помощь в характеристике объектов исследования.

Работа выполнена в рамках международных научных программ "Циркумполярный мониторинг деятельного слоя" (CALM) и "Температурное состояние многолетней мерзлоты" (TSP), а также при финансовой поддержке РФФИ (проект № 07-05-00313).

Литература

Архангелов А.А. Подземное оледенение Севера Колымской низменности в позднем кайнозое // Проблемы криолитологии. М., Изд-во Моск. ун-та, 1977, вып. IV, с. 26–57.

Arkhangelov, A.A., 1977. Late Cenozoic ground ice in the Northern Kolyma Plain, in: Problems of Cryolithology. Moscow University Press, Moscow, pp. 26–57. (in Russian)

Архангельская Т.А. Температурный режим комплексного почвенного покрова. М., ГЕОС, 2012, 282 с.

Arkhangelskaya, T.A., 2012. The Thermal Regime of Soils. GEOS, Moscow, 282 pp. (in Russian)

Богатырев Л.Г., Васильевская В.Д., Зайцева О.Б. Функциональные и коррелятивные связи между некоторыми параметрами тундровых биогеоценозов Таймыра // Почвы и продуктивность растительных сообществ. М., Изд-во Моск. ун-та, 1981, вып. 5, с. 120–133.

Bogatyrev, L.G., Vasilievskaya, V.D., Zaitseva, O.B., 1981. Functional and correlation relations between some parameters of tundra landscapes in Taimyr, in: Soils and Productivity of Plant Communities. Issue 5, Moscow University Press, Moscow, pp. 120–133. (in Russian)

Буценко А.Н. Климат криогенных почв севера Якутии и его пространственно-временная изменчивость // Проблемы почвенного криогенеза: Тез. докл. IV Всесоюз. конф. (Воркута, 7–9 авг. 1985 г.). Сыктывкар, 1985, с. 65–66.

Butsenko, A.N., 1985. Climate of cryosols in northern Yakutia and its variability in space and time, in: Problems of Soil Cryogenesis, Proc. IV All-USSR Conf. (Vorkuta, 7–9 August, 1985), Syktyvkar, pp. 65–66. (in Russian)

Васильевская В.Д., Поспелова Е.Б., Иванов В.В., Богатырев Л.Г. Температурный режим почв некоторых типов тундр стационара "Агапа" в течение вегетационного периода // Почвы и продуктивность растительных сообществ. М., Изд-во Моск. ун-та, 1974, вып. 2, с. 23–47.

Vasilievskaya, V.D., Pospelova, E.B., Ivanov, V.V., Bogatyrev, L.G., 1974. The thermal regime of some tundra soil types during the vegetation period at the Agapa station, in: Soils and Productivity of Plant Communities. Issue 2, Moscow University Press, Moscow, pp. 23–47.

Гончарова О.Ю., Матышак Г.В., Бобрик А.А. и др. Температурный режим северотаежных почв Западной Сибири в условиях островного распространения многолетнемерзлых пород // Почвоведение, 2015, № 12, с. 1462–1473.

Goncharova, O.Yu., Matyshak, G.V., Bobrik, A.A., Moskalenko, N.G., Ponomaryova, O.E., 2015. The soil thermal regime of northern taiga in areas of sporadic permafrost in West Siberia. Pochvovedenie, No. 12, 1462–1473.

Григорьев Н.Ф. Многолетнемерзлые породы приморской зоны Якутии. М., Наука, 1966, 180 с.

Grigoriev, N.F., 1966. Permafrost in the Primorsky Zone of Yakutia. Nauka, Moscow, 180 pp. (in Russian)

Давыдов С.П., Буценко А.Н. Динамика тепловлагопереноса в криогенных почвах Северо-Востока Якутии // Материалы I Междунар. конф. "Криопедология (криогенные почвы: влияние криогенеза на процессы и особенности почвообразования)" (Пущино, 10–14 нояб. 1992 г.) и Рос.-амер. семинара "Криопедология и глобальные изменения" (Пущино, 15–16 нояб. 1992 г.). Пущино, 1992, с. 145–150.

Davydov, S.P., Butsenko, A.N., 1992. Dynamics of heat and moisture transport in cryosols of Northeastern Yakutia, in: Cryopedology (Cryosols: Effect of Cryogenesis on Soil Formation Processes and Features). Proc. I Intern. Conf. (Pushchino, 10–14 November, 1992); Cryopedology and Global Change. Proc. Russian-American Seminar (Pushchino, 15–16 November, 1992), Pushchino, pp. 145–150.

Димо В.Н. Тепловой режим почв СССР. М., Колос, 1972, 360 с.

Dimo, V.N., 1972. Thermal Regime of Soils in the USSR. Kolos, Moscow, 360 pp. (in Russian)

Доронина Н.А. Некоторые метеорологические характеристики северо-восточной части острова Фаддеевского // Тр. Арктического и Антарктического НИИ ГУСМП. Т. 224. Новосибирские острова. Л., Гидрометеоиздат, 1963, с. 133–142.

Doronina, N.A., 1963. Some meteorlogical parameters of northeastern Faddeyevsky Island, in: New Siberian Islands, Transactions, Arctic and Antarctic NII GUSMP, Gidrometeoizdat, Leningrad, pp. 133–142.

Достовалов Б.Н. Общее мерзлотоведение / Б.Н. Достовалов, В.А. Кудрявцев. М., Изд-во Моск. ун-та, 1967, 404 с.
Dostovalov, B.N., Kudryavtsev, V.A., 1967. General Permafrost Science. Moscow University Press, Moscow, 404 pp. (in Russian)

Зайцев В.Н. Яно-Колымский регион. Природные условия // Геокриология СССР. Восточная Сибирь и Дальний Восток / Под ред. Э.Д. Ершова. М., Недра, 1989, с. 240–249.
Zaitsev, V.N., 1989. The Yana-Kolyma region. Natural conditions, in: Ershov, E.D. (Ed.), Geocryology of the USSR. East Siberia and Russian Far East, Nedra, Moscow, pp. 240–249. (in Russian)

Зигерт К., Куницкий В.В., Ширмайстер Л. Отложения ледового комплекса – архив данных для реконструкции климата и экологии на побережье моря Лаптевых в позднем плейстоцене // Система моря Лаптевых и прилегающих морей Арктики. Современное состояние и история развития. М., Изд-во Моск. ун-та, 2009, с. 320–332.
Zigert, K., Kunitskiy, V.V., Shirmaister, L., 2009. Ice complex deposits: Data archive for Late Pleistocene climate and environment reconstructions for the Laptev Sea coast, in: The System of the Laptev Sea and Adjacent Arctic Seas. Present State and History, Moscow University Press, Moscow, pp. 320–332. (in Russian)

Каплина Т.Н., Овандер М.Г., Ложкин А.В. и др. Четвертичные отложения среднего течения р. Хромы (Яно-Индигирская низменность) // Стратиграфия и палеогеография позднего кайнозоя Востока СССР. Магадан, СВКНИИ ДВО АН СССР, 1983, с. 80–95.
Kaplina, T.N., Ovander, M.G., Lozhkin, A.V., Zhigultsova, S.N., Pybakova, N.O., Nikitin, V.P., Kisilyov, S.V., Bokhtin, A.V., Pirumova, L.G., Virina, E.N., 1983. Quaternary deposits in the middle reaches of the Khroma River (Yana-Indigirka Plain), in: Late Cenozoic Stratigraphy and Paleogeography of the Eastern USSR. SVKNII DVO AN SSSR, Magadan, pp. 80–95. (in Russian)

Кононенко А.В. Гидротермический режим таежных и тундровых почв Европейского Северо-Востока. Л., Наука, 1986, 144 с.
Kononenko, A.V., 1986. Soil Hydrothermal Regime in Taiga and Tundra of Northeastern Europe. Nauka, Leningrad, 144 pp. (in Russian)

Кручинин Ю.А. Физико-географические наблюдения на о. Котельном (район бухты Темп) // Тр. Арктического и Антарктического НИИ ГУСМП. Т. 224. Новосибирские острова. Л., Гидрометеоиздат, 1963, с. 143–165.
Kruchinin, Yu.A., 1963. Physiographic observations in Kotelny Island (Temp Bay area). Transactions, Arctic and Antarctic NII GUSMP, Issue 224, New Siberian Islands, Gidrometeoizdat, Leningrad, pp. 143–165. (in Russian)

Кудрявцев В.А. Методика мерзлотной съемки / В.А. Кудрявцев, Л.С. Гарагуля, К.А. Кондратьева и др. М., Изд-во Моск. ун-та, 1979, 358 с.
Kudryavtsev, V.A., Garagula, L.S., Kondratieva, K.A., Romanovsky, N.N., Maksimova, L.N., Chizhov, A.B., 1979. Methods for Permafrost Monitoring. Moscow University Press, Moscow, 358 pp. (in Russian)

Мажитова Г.Г. Температурные режимы почв в зоне несплошной многолетней мерзлоты европейского Северо-Востока России // Почвоведение, 2008, № 1, с. 54–67.
Mazhitova, G.G., 2008. Soil thermal regime in areas of discontinuous permafrost in northeastern European Russia. Pochvovedenie, No. 1, 54–67.

Мерекалова А.А., Федоров-Давыдов Д.Г., Давыдов С.П., Остроумов В.Е. Феномен роста мощности деятельного слоя в ландшафтах Северо-Восточной Якутии // Материалы Междунар. конф. "Теория и практика оценки состояния криосферы Земли и прогноз ее изменений" (Тюмень, 29–31 мая 2006 г.). Тюмень, ТюмГНГУ, 2006, т. 1, с. 86–89.
Merekalova, A.A., Fyodorov-Davydov, D.G., Davydov, S.P., Ostroumov, V.E., 2006. Active layer thickening in landscapes of Northeastern Yakutia, in: Theory and Practice of Estimating the State of the Earth's Cryosphere and Prediction of its Changes. Proc. Intern. Conf. (Tyumen, 29–31 May, 2006), TyumGNGU, Tyumen, Book 1, pp. 86–89.

Молочушкин Е.Н. Тепловой режим горных пород в юго-восточной части моря Лаптевых: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 1970, 20 с.
Molochushkin, E.N., 1970. The Soil Thermal Regime of the Southeastern Laptev Sea. Author's Abstract, Candidate Sci. (Geography). Moscow, 20 pp. (in Russian)

Молочушкин Е.Н. Термический режим почвогрунтов на о. Муостах в арктической Якутии // Мерзлота и почва: Докл. Всесоюз. конф. по мерзлотным почвам. Вып. 1. Физика мерзлотных почв / Под ред. Л.Г. Еловской. Якутск, Якут. фил. СО АН СССР, 1972, с. 108–116.
Molochushkin, E.N., 1972. The soil thermal regime of Muostakh Island in Arctic Yakutia, in: Elovskaya, L.G. (Ed.), Permafrost and Soils. Proc. All-Russian Conf. on Cryosols, Issue 1. Physics of Cryosols, Yakutck Filial, SB RAS, Yakutsk, pp. 108–116. (in Russian)

Москаленко Н.Г. Комплексный мониторинг северотаежных геосистем Западной Сибири / Н.Г. Москаленко, Т.А. Бляхарчук, О.Е. Пономарева и др. Новосибирск, Акад. изд-во "Гео", 2012, 207 с.
Moskalenko, N.G., Blakharchuk, T.A., Ponomareva, O.E., Ustinova, E.V., Matyshak, G.V., Emelyanova, L.G., Sorokina, N.V., Goncharova, O.V., Rozanova, M.S., Orekhov, P.T., Kazantseva, L.A., Nikitin, A.Yu., Gameev, I.A., Berdnikov, N.M., Gravis, A.G., 2012. Integrated Monitoring of North Taiga Landscapes in West Siberia. GEO Publishers, Novosibirsk, 207 pp. (in Russian)

Павлов А.В. Теплооборот почвы с атмосферой в северных и умеренных широтах территории СССР. Якутск, Кн. изд-во, 1975, 302 с.
Pavlov, A.V., 1975. Heat Turnover of Soil and Atmosphere in Northern and Middle Latitudes in the USSR Territory. Knizhnoe Izd., Yakutsk, 302 pp. (in Russian)

Павлов А.В. Энергообмен в ландшафтной сфере Земли. Новосибирск, Наука, 1984, 256 с.
Pavlov, A.V., 1984. Heat Transfer in the Earth's Landscapes. Nauka, Novosibirsk, 256 pp. (in Russian)

Павлов А.В. Современные изменения климата. Альбом мелкомасштабных карт / А.В. Павлов, Г.В. Малкова. Новосибирск, Акад. изд-во "Гео", 2005, 54 с.
Pavlov, A.V., Malkova, G.V., 2005. Current Climate Change. Small-Scale Maps. GEO Publishers, Novosibirsk, 54 pp. (in Russian)

Полевой определитель почв России. М., Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008, 182 с.
Khitrov, N.B. (Ed.), 2008. Field Identification Guide for Soils in Russia. V.V. Dokuchaev Soil Institute, Moscow, 182 pp. (in Russian)

Романовский Н.Н. Основы криогенеза литосферы. М., Изд-во Моск. ун-та, 1993, 336 с.
Romanovskiy, N.N., 1993. Fundamentals of Cryogenesis in the Lithosphere. Moscow University Press, Moscow, 336 pp. (in Russian)

Савинов Д.Д. Гидротермический режим почв в зоне многолетней мерзлоты. Новосибирск, Наука, 1976, 254 с.

Savinov, D.D., 1976. Soil Hydrothermal Regime in Permafrost. Nauka, Novosibirsk, 254 pp. (in Russian)

Спектор В.Б. Четвертичные отложения Приморской низменности (Халлерчинская тундра) // Кайнозой Восточной Якутии. К XI конгрессу Междунар. союза по изучению четвертичного периода СССР, Москва, 1982. Якутск, ЯФСО АН СССР, 1980, с. 87–97.

Spektor, V.B., 1980. Quaternary deposits in the Primorsk Plain (Khallerchinskaya Tundra), in: the Cenozoic of Eastern Yakutia. Proc. XI Congress of Intern. Union on the Quaternary in the USSR Territory, 1982, IAFSO AN SSSR, Moscow, Yakutsk, pp. 87–97. (in Russian)

Среднемесячная температура почвы на глубине 20 см. Карта, масштаб 1:50 000 000 / Автор: М.С. Перунова, ред. Е.П. Архипова // Климатический атлас СССР. Т. 1 / Под ред. Ф.Ф. Давитая. М., Гл. упр-ние гидрометеорол. службы при СМ СССР, 1960, 181 л.

Perunova, M.S., 1960. Map of mean monthly ground temperature at a depth of 20 cm. Scale 1:50 000 000, in Davitai, F.F. (Ed.), Climate Atlas of the USSR, Book 1, Central Board of the Hydrometeorological Agency Surveys, USSR Council of Ministers, 181 sheets. (in Russian)

Федоров-Давыдов Д.Г., Давыдов С.П. Сезонное протаивание почв на севере Колымской низменности // Почвенные процессы и пространственно-временная организация почв / Под ред. В.Н. Кудеярова. М., Наука, 2006, с. 455–471.

Fyodorov-Davydov, D.G., Davydov, S.P., 2006. Seasonal thawing in the northern Kolyma Plain, in: Kudeyarov, V.N. (Ed.), Soil Processes and Space-Time Organization, Nauka, Moscow, pp. 455–471.

Федоров-Давыдов Д.Г., Давыдов С.П., Давыдова А.И., Зимов С.А., Мергелов Н.С., Остроумов В.Е., Сороковиков В.А., Холодов А.Л., Митрошин И.А. Пространственно-временные закономерности сезонного протаивания почв на севере Колымской низменности // Криосфера Земли, 2004, т. VIII, № 4, с. 15–26.

Fyodorov-Davydov, D.G., Davydov, S.P., Davydova, A.I., Zimov, S.A., Mergelov, N.S., Ostroumov, V.E., Sorokovikov, V.A., Kholodov, A.L., Mitroshin, I.A., 2004. Spatial and temporal regularities of soil seasonal trawing in the North of the Kolyma lowland. Earth's Cryosphere VIII (4), 15–26.

Шульгин А.М. Климат почв и его регулирование. Изд. 2-е. Л., Гидрометеоиздат, 1972, 341 с.

Shulgin, A.M., 1972. Soil Climate and its Regulation. 2nd Edition. Gidrometeoizdat, Leningrad, 341 pp. (in Russian)

Fyodorov-Davydov, D.G., Kholodov, A.L., Ostroumov, V.E., et al. Seasonalthaw of soils in the North Yakutian ecosystems // Proc. of the Ninth Intern. Conf. on permafrost (Univ. of Alaska, Fairbanks, USA; June 29–July 3, 2008). Fairbanks, 2008, vol. 1, p. 481–486.

Hayhoe, H., Tarnocai, C. Site disturbance on the soil thermal regime near Fost Simpson West Territories, Canada // Arctic and Alpine Res., 1993, vol. 25, No. 1, p. 37–44.

Kholodov, A., Gilichinsky, D., Ostroumov, V., et al. Regional and local variability of modern natural changes in permafrost temperature in the Yakutia coastal lowlands, Northeastern Siberia // Proc. of the Tenth Intern. Conf. on permafrost (Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia; June 25–29, 2012). Salekhard, 2012, vol. 1, p. 203–208.

Klene, A.E., Nelson, F.E., Shiklomanov, N.J. The N-factor in natural landscapes: variability of air and soil-surface temperatures, Kuparuk River Basin, Alaska // Arctic, Antarctic and Alpine Res., 2001, vol. 33, No. 2, p. 140–148.

Smith, C.A.S., Burn, C.R., Tarnocai, C., Sproule, B. Air and soil temperature relations along an ecological transect through the permafrost zones of Northwestern Canada // Proc. of the Seventh Intern. Conf. on permafrost (Yellowknife, Canada; June 23–27, 1998). Yellowknire, 1998, p. 1009–1015.

Soil taxonomy. By Soil Survey Staff. Second ed. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. USDA, Washington DC, USA, 1999, Handbook No. 436, 869 p.

Поступила в редакцию
10 августа 2016 г.