

УДК 551.525.5(551.345)

## ОСОБЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА СЕЗОННОПРОМЕРЗАЮЩИХ ПОЧВ ТУНДРОВЫХ ЛАНДШАФТОВ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

© 2017 г. Д. А. Каверин, А. В. Пастухов

*Институт биологии Коми НЦ УрО РАН,  
Россия, 167982, Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28  
e-mail: [dkav@mail.ru](mailto:dkav@mail.ru)*

Охарактеризованы особенности температурного режима автоморфных суглинистых почв, формирующихся под кустарничковой и кустарниковой растительностью в зоне тундры и лесотундры европейского Северо-Востока. Объектами исследований выбраны органо-криометаморфические почвы и глееземы криометаморфические; в обоих типах почв в средней части профиля развит криометаморфический гор. CRM. Почвы формируются в условиях длительного сезонного промерзания при отсутствии (глубоком залегании) многолетнемерзлых пород. Охарактеризована динамика около нулевых температур (нулевых завес), высказана гипотеза о роли нулевых завес в поддержании специфической угловатокрупитчатой структуры в пределах толщи криометаморфических горизонтов. Толща криометаморфических горизонтов совпадает по глубине с современной зоной нулевых завес, наблюдаемых при длительном сезонном промерзании почв. Определено влияние кустарничковой и кустарниковой растительности на особенности зимнего и летнего температурного режима почв. Установлено, что основные различия по температурному режиму между почвами кустарничковых и кустарниковых тундр обусловлены разной интенсивностью снегонакопления в этих растительных ассоциациях. Почвы кустарниковых участков теплее таковых под кустарничковой тундрой, где кровля многолетней мерзлоты может находиться в пределах 2–3 м. В целом, сезоннопромерзающие тундровые почвы занимают промежуточное положение в температурном ряде автоморфных суглинистых почв в тундрово-таежном экотоне европейского Северо-Востока России между, занимая нишу между мерзлотными тундровыми и немерзлотными северотаежными почвами.

*Ключевые слова:* температурный режим почв, криометаморфический горизонт, нулевые завесы.

**DOI:** 10.19047/0136-1694-2017-87-3-21

*Посвящается светлой памяти научного руководителя –  
д.с.-х.н. Валентина Дмитриевича Тонконогова*

## ВВЕДЕНИЕ

При разработке новой субстантивно-генетической классификации почв России ([2004](#)) В.Д. Тонконогов впервые выделил на уровне отдела обширную группу криометаморфических почв. Главным их признаком является наличие криометаморфического гор. CRM, слабо отличающегося по цвету от почвообразующей породы и имеющего специфическую угловато-крупитчатую структуру. Впервые такие почвы были описаны в области распространения многолетней мерзлоты в Западной Сибири, где формирование гор. CRM связывалось с процессами замерзания–оттаивания грунтов. Позднее почвы с подобным горизонтом были обнаружены и вне криолитозоны ([Тонконогов, 2010](#)). В последнее время в соответствии с принципами новой классификации почв России ([2004](#)) в тундре европейского Северо-Востока на уровне типов выделяются криометаморфические почвы и глееземы (в том числе глееземы криометаморфические) ([Тонконогов, 2010](#); [Пастухов, 2008](#)). Глееземы криометаморфические позиционируются как автоморфные почвы тундры и лесотундры, широко распространенные на пылеватосуглинистых почвообразующих породах. Наиболее важным диагностическим признаком данных почв является сочетание глеевого и криометаморфического горизонтов. В строении профиля криометаморфических почв поверхностно-глеевый горизонт не обнаруживается, распространены они в южной тундре и лесотундре Русской равнины. В связи со значительным пересмотром взглядов на классификацию почв, остро встал ряд генетических вопросов, в том числе относительно названных почв, которые до сих пор остаются слабо исследованными в отношении современных режимов вообще и температурных, в частности.

В последние десятилетия в связи с изменением климата наблюдается постепенная деградация многолетнемерзлых пород (ММП) ([Schoor et al., 2011](#); [Малкова и др., 2011](#)), вслед за этим происходит продвижение крупнокустарниковой и лесной растительности на север ([Harsch et al., 2009](#); [Елсаков, 2013](#)). Субарктика европейского Северо-Востока является одним из особенно чув-

ствительных к климатическим изменениям регионов нашей страны ([Mazhitova et al., 2004](#); [Оберман, Шеслер, 2009](#)). Южнотундровые и лесотундровые экосистемы представляют особый интерес, т.к. находятся в жестких климатических условиях и начинают раньше реагировать на изменение климата по сравнению с сообществами, расположенными в более низких широтах ([IPCC, 2014](#)). Постепенно изменяется температурный режим почв, формирующихся на границе тундровой и лесной зон. Мониторинг температурного режима позволяет оценить современное экологическое состояние основных типов почв переходной (экотонной) полосы тундра–тайга, выявить их отклик на межгодовую динамику температуры воздуха.

Исследования температурного режима тундровых почв в регионе проведены [А.В. Кононенко \(1986\)](#) и [Г.Г. Мажитовой \(2008\)](#). В работе [А.В. Кононенко \(1986\)](#) охарактеризован летний гидро-термический режим двух целинных почв, но не содержится зимних и годовых характеристик, нет связи разнообразия режимов на ландшафтном уровне. [Г.Г. Мажитовой \(2008\)](#) детально рассмотрен температурный режим 11 почв, формирующихся в разнообразных ландшафтах равнинной и горной тундры, приуроченных к мерзлым и талым участкам. В работе показано резкое различие зимних и годовых температурных показателей мерзлотных и немерзлотных почв при сходстве летних показателей в корнеобитаемом слое.

С 2008 г. сотрудниками Института биологии Коми НЦ УрО РАН начато проведение долгосрочного температурного мониторинга автоморфных почв, формирующихся в автоморфных условиях в зоне тундры и лесотундры.

Цель работы – охарактеризовать специфику температурного режима автоморфных почв кустарничковой и кустарниковой тундры, формирующихся в условиях глубокого залегания (или отсутствия) ММП и оценить его возможную роль в функционировании криометаморфических горизонтов. Для достижения этой цели особое внимание было обращено на динамику осенне-зимнего промерзания и длительность периода нулевых завес в криометаморфических горизонтах.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В качестве объектов исследований выбраны криометаморфические почвы и глееземы криометаморфические (Классификация, 2004; Полевой определитель, 2008), формирующиеся в зоне тундры и лесотундры европейского Северо-Востока в автоморфных условиях на суглинистых почвообразующих породах. Температурные наблюдения проводили в 2008–2011 гг. на трех ключевых участках (Сейда, Седьяха и Пышор) в подзоне северной лесотундры и одном участке (Воркута) в подзоне южной тундры (рис. 1). Участки исследований находятся в пределах Воркутинского административного района Республики Коми.

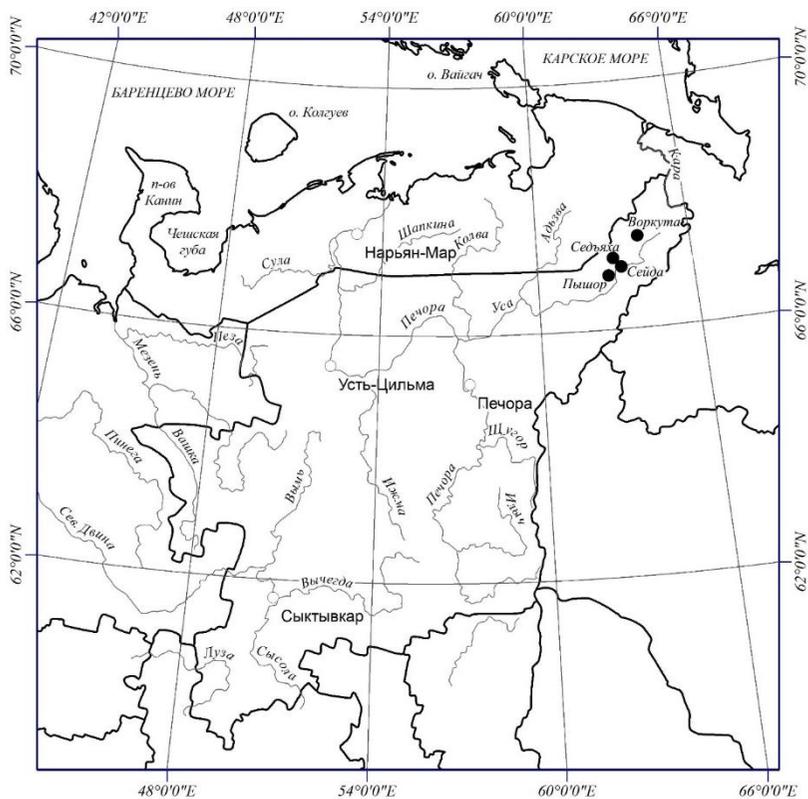


Рис. 1. Географическое положение участков исследований.

Территория исследования в целом характеризуется умеренно-континентальным умеренно-холодным климатом ([Атлас, 1997](#)). Подзона южной тундры и северной лесотундры в регионе характеризуется несплошным (массивно-островным) характером многолетней мерзлоты. На глубину сезонного промерзания и оттаивания в наибольшей степени влияют высота и плотность напочвенного покрова, кустарникового яруса и мощность торфянистого горизонта почвы ([Тыртиков, 1969](#)). В ландшафтах южных тундр региона под кустарничковыми тундрами, как правило, развиты мерзлотные почвы, тогда как под кустарниковыми – немерзлотные ([Шаманова, 1964](#); [Мажитова, 2008](#)). Глубина сезонного промерзания и оттаивания почв южных тундр региона сильно дифференцирована в зависимости от характера растительного покрова и мощности снега ([Мажитова, 2008](#)). Близкое залегание (1–2 м) многолетнемерзлых пород чаще наблюдается при глубине снежного покрова менее 30–50 см. При мощности снега 50–70 см многолетняя мерзлота в почвах может отсутствовать, обнаруживаясь в подстилающих породах на глубине 2 м и более. При мощности снежного покрова более 70 см многолетняя мерзлота, как правило, не отмечается в пределах верхних 2–3 м ([Шаманова, 1964б](#)). Сомкнутый кустарниковый ярус, задерживающий значительное количество снега, и маломощная оторфованная подстилка обуславливают относительно мягкий температурный режим почв и соответственно отсутствие многолетней мерзлоты в почвах и подстилающих породах ([Тыртиков, 1969](#)). В автоморфных суглинистых почвах лесотундры кровля ММП залегает ниже на 0.5–1 м по сравнению с тундровыми профилями ([Шаманова, 1964б](#)) и может не обнаруживаться в пределах почвенного профиля.

Вопросы взаимосвязи типов растительных сообществ с температурным режимом сезоннопромерзающих почв становятся особо актуальными в условиях глубокого залегания или отсутствия многолетнемерзлых пород.

Исследуемые почвы характеризуются наличием криометаморфического горизонта в средней части профиля и отсутствием многолетнемерзлых пород в пределах первого метра от поверхности (глубина залегания кровли ММП составляет 1.5 м и более). Морфологические исследования почв проведены летом 2007 г., до начала температурного мониторинга.

Ниже приводим краткие описания ландшафтов и почв участков исследований.

**Участок Воркута.** Подзона южной тундры. 67°31' N, 64°08' E, 5 км к северо-востоку от г. Воркута. Плоская вершина дренированного водораздельного увала, кочковатый микрорельеф. Ерниково-ивняковая моховая тундра. Кустарниковый ярус 1–1.5 м высотой представлен ерником, ивой. В сложении травянисто-кустарничкового яруса преобладают гипоарктические виды: вороника, голубика при значительном участии багульника, толокнянки, брусники. Из травянистых растений заметное участие имеют бореальные виды: осока шаровидная, золотарник, очанка, овсяница овечья, чемерица Лобеля и княженика. Максимальная мощность снежного покрова снега до 130 см, глубина ММП более 2 м. Почва – глеезем криометаморфический на средних пылеватых суглинках: O(0–5)–Gtx(5–30)–CRM1(30–60)–CRM2(60–89)–BC(89+).

**Участок Седьяха.** Подзона северной лесотундры. 67°03' N, 62°55' E д. Бассейн р. Усы, 6 км к северо-западу от железнодорожной станции Сейда. Плоское межувалистое понижение. Кустарниково-мохово-лишайниковая тундра. Кустарниковый ярус представлен ерником. Кустарнички: голубика, водяника, черника. В напочвенном покрове – зеленые и политриховые мхи, ягель. Максимальная мощность снежного покрова до 120 см, глубина ММП более 3 м. Почва – органо-криометаморфическая на пылеватых суглинках: O(0–10)–CRMg(10–20)–CRM1(20–50)–CRM2(50–80)–CRMС (80+).

**Участок Сейда.** Подзона северной лесотундры. 67°02' N, 63°03' E. Бассейн р. Усы, 1.5 км к юго-западу от железнодорожной станции Сейда. Плоская вершина дренированного приречного увала. Бугорковатый микрорельеф, редкие зарастающие пятна морозного пучения диаметром 30–40 см. Кустарниковая лишайниково-кустарничковая тундра. Кустарнички: багульник, водяника, брусника. В напочвенном покрове – лишайники и политриховые мхи и травы. Максимальная высота снежного покрова до 50 см, глубина ММП более 3 м. Почва – глеезем криометаморфический на легких пылеватых суглинках: O(0–5)–Gox–Bf(5–12)–G(12–18)–Gox(18–20)–CRMg1(20–36)–CRMg2(36–53)–G(53–80).

**Участок Пышор.** Подзона северной лесотундры. 66°53' N, 62°49' E. Бассейн р. Усы, 1.5 км к юго-западу от железнодорожной станции Пышор. Пологий гребень дренированного приречного увала, пятнисто-мелкобугорковый микрорельеф, пятна морозного пучения 30–40 см. Кустарничково-мохово-лишайниковая растительность. Кустарнички представлены черникой, водяникой, голубикой, багульником. В напочвенном покрове – лишайники, политриховые мхи. Максимальная мощность снежного покрова до 30 см, глубина ММП около 1.5 м. Почва – органо-криометаморфическая почва на легких пылеватых суглинках: O(0–5)–CRM1(5–12)–CRM2(12–27)–CRM3(27–45)–ICRMg(45–70+).

Преобладающим типом растительности является кустарничково-моховая тундра, по долинам рек развиты заросли ив. На наветренных элементах рельефа (преимущественно бровках, вершинах и верхних частях склонов увалов) формируются преимущественно кустарничково-мохово-лишайниковые тундры. Лесотундра представлена чередованием низкорослых (7–8 м) елово-березовых редколесий и тундровых ерничково-мохово-лишайниковых сообществ. Лесные сообщества здесь приурочены к наиболее теплым и дренированным местообитаниям ([Леса Республики Коми, 1999](#)). Подзона лесотундры является наиболее чувствительной к климатическим изменениям территорией, характеризующейся значительным разнообразием автоморфных почв, где формируются почвы смежных природных зон: тундровой и северотаежной. В обеих природных зонах экологические факторы (солярная и ветровая экспозиция, мощность снежного покрова, наличие/отсутствие многолетней мерзлоты) определяют строение и состав растительных группировок.

Измерения почвенных температур проводили с помощью цифровых логгеров НОВО Г-12, установленных на глубине 0, 20, 50, 100 см и запрограммированных на 8 измерений в сутки. Установка температурных датчиков на названные стандартные глубины в целом удовлетворительно охватывала верхнюю (20 см), среднюю (50 см) и нижнюю части криометаморфического горизонта. Выделяемая на глубине 100 см почвообразующая порода еще имеет признаки криогенного оструктурирования. Датчики логгеров закрепляли на деревянной рейке, погруженной в скважину (отверстие) диаметром 3 см и глубиной 100 см. Точность измере-

ния датчиков используемых логгеров составляет  $\pm 1\%$  от абсолютного значения.

Для расчетов климатических показателей (среднегодовой температуры воздуха, суммы положительных и отрицательных температур воздуха, среднегодовой суммы осадков) использовали данные метеостанции г. Воркута, расположенной на расстоянии 5–70 км от участков исследований. При расчете основных показателей температуры воздуха и почв использованы данные за гидрологический год (1 октября–30 сентября). Для характеристики температурного режима почв рассчитывали среднегодовые температуры, суммы положительных и отрицательных температур, продолжительность периода с около нулевыми температурами в диапазоне от  $-0.1$  до  $+0.1^\circ\text{C}$ .

В марте 2009 г. в двух профилях провели отбор кернов сезонно-мерзлых горизонтов для характеристики их криогенного строения и определения весовой влажности (льдистости). Отбор кернов выполняли ударным методом ручного бурения, при котором металлическую трубу диаметром 43 мм с толщиной стенок 3 мм забивали в почву с шагом 10–20 см.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### **Характеристика зимнего температурного режима почв.**

Анализ полученных в процессе температурного мониторинга данных достаточно четко определил влияние кустарниковой и кустарничковой растительности на температурное состояние подстилающих их почв (табл. 1).

Сезонное промерзание верхней части тундровых почв обычно начинается в октябре с приходом устойчивых отрицательных температур воздуха, средняя многолетняя дата установления которых по метеостанции Воркута за период 2008–2011 гг. – 16 октября. Устойчивые отрицательные температуры на поверхности почв под кустарничковой растительностью (участки Сейда и Пышор) начинали фиксироваться с середины октября до середины ноября, в зависимости от погодных условий года.

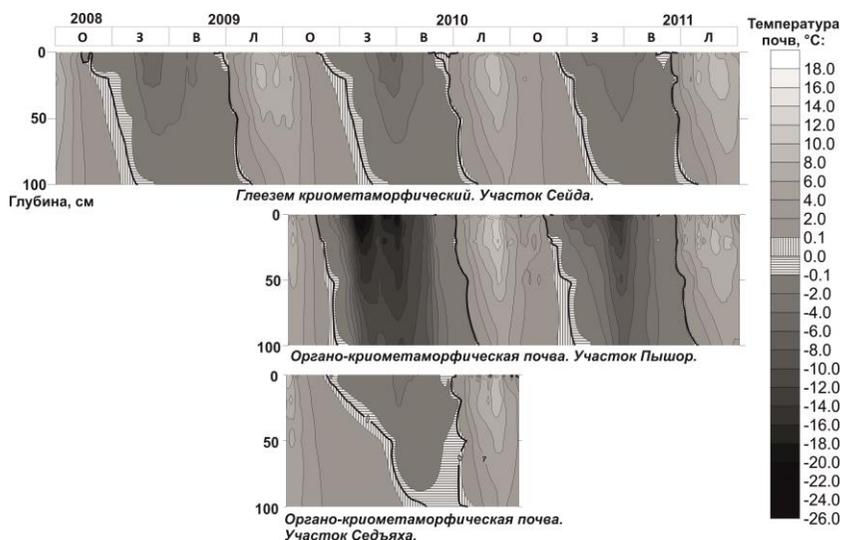
В почвах участков под кустарниковой тундрой (участки Седьяха и Воркута) наступление устойчивых отрицательных температур фиксируется в конце октября–ноябре, что связано с большей аккумуляцией снега кустарниками. Наиболее поздние сроки

**Таблица 1.** Температура воздуха и осадки в период наблюдений по метеостанции Воркута (2008–2011 гг.)

Год	Средняя температура воздуха за год, °С	Сумма температур воздуха, °С		Сумма активных температур воздуха (>10°С)	Сумма осадков, мм	
		отрицательных	положительных		за год	за октябрь–апрель
2008–2009	–4.6	–2873	1205	776	603	321
2009–2010	–6.6	–3570	1175	681	620	273
2010–2011	–4.4	–2733	1170	625	546	306
Средние многолетние	–5.7	–	–	–	573	257

замерзания поверхности почвы отмечены в профиле участка Седьяха, что связано с ландшафтным положением профиля в плоском межувалистом понижении, где активная аккумуляция снега начинается уже в октябре.

На глубине 20 см устойчивые отрицательные температуры в кустарничковой тундре устанавливаются в ноябре, тогда как в почвах кустарниковой тундры в декабре. При промерзании почв на глубине 20 см и ниже переход температуры через 0°С происходит однократно, отрицательные температуры сохраняются до весны. В почвах под кустарничковой растительностью отрицательные температуры в ноябре–декабре достигают глубины 50 см. В более “теплых” почвах кустарниковой тундры сезонное промерзание на этой глубине фиксируется во второй половине декабря–середине февраля. На глубине 100 см отрицательные температуры в кустарничковой тундре устанавливаются в декабре–январе, в кустарниковой тундре данный период смещается на февраль–март. При этом температура средних и нижних горизонтов (глубина 50–100 см) профиля не опускается ниже –1°С. В наиболее “теплой” органо-криометаморфической почве участка Седьяха в 2009–2011 гг. в период от апреля до июня на глубине 100 см регистрировались только отрицательные субнулевые температуры (рис. 2).



**Рис. 2.** Температурные хроноизоплеты почв за 2008–2011 гг.

Диапазон сумм отрицательных температур исследуемых почв на поверхности составил  $-145 \dots -240^{\circ}\text{C}\cdot\text{дней}$  (табл. 2). Суммарный диапазон значений этого показателя в почвах кустарничковых тундр практически не перекрывается с диапазоном в кустарниковых тундрах. Маломощный снежный покров (до 50 см) в кустарничковых тундрах способствует более сильному зимнему охлаждению почв. Самым “холодным” профилем является почва участка Пышор, которая по совокупности температурных показателей близка к тундровым мерзлотным почвам. В почвах под кустарничковой и кустарниковой растительностью на глубине 20 см диапазоны сумм отрицательных температур не перекрываются. На глубине 50 см суммы отрицательных температур снижаются, перекрытие диапазонов также не наблюдается. Очень слабое совпадение температурных диапазонов фиксируется только на глубине 100 см.

Самые низкие температуры на глубинах 0–50 см в почвах кустарничковых тундр фиксируются в феврале. В относительно “теплых” профилях кустарничковых группировок период минимальных среднемесячных температур смещается к марту. Максимальное охлаждение нижних горизонтов (глубина 100 см) отмечается на месяц позже, чем в верхней части профиля, соответственно

**Таблица 2.** Суммы отрицательных и положительных среднесуточных температур почв, °С·дней

Глубина, см	Почвенный горизонт	Гидрологические годы					
		2008–2009		2009–2010		2010–2011	
		отрицательные	положительные	отрицательные	положительные	отрицательные	положительные
Глеезем криометаморфический (участок Воркута)							
0	О	–160	882	–247	779	–483	784
20	Gtx	–78	715	Не опр.			
50	CRM1	–31	556	–146	671	–81	844
100	BC	Не опр.		–54	637	–22	792
Органо-криометаморфическая почва (участок Седьяха)							
0	О	Не опр.		–213	1130	–145	1074
20	CRMg	»		–133	761	Не опр.	
50	CRM1	–109	790		612	–41	664
100	CRMС	–16	583	0	485	0	483
Глеезем криометаморфический (участок Сейда)							
0	О	–451	1068	–432	1158	–341	1096
20	CRMg1	–354	734	–334	781	–254	863
50	CRMg2	–227	545	–206	581	–146	664
100	G	–62	333	–57	362	–29	456
Органо-криометаморфическая почва (участок Пышор)							
0	О	Не опр.		–2402	1346	–1205	1404
20	CRM2	»		–1933	834	–823	879
50	ICRMg	»		–1658	585	–625	564
100	ICRMg	»		–1335	343	–449	281

этот период приходится на март–апрель. Среднемесячные температуры нижних горизонтов для самого холодного месяца варьируют в пределах от –0.4 до –10°C в почвах кустарничковых тундр, от 0 до –0.8 °C в почвах кустарниковых тундр.

**Характеристика осенне-зимнего периода промерзания почв.** Осеннее промерзание почв происходит постепенно. В исследуемых почвах на глубинах 20–100 см фиксируются нулевые завесы<sup>1</sup>. Продолжительность периода таких температур варьирует от нескольких дней до нескольких месяцев, обычно увеличиваясь

<sup>1</sup> Нулевые завесы – температуры длительно сохраняющиеся на определенной глубине, близкие к 0°C ([Геокриология СССР, 1988](#)).

с глубиной. Так, средняя продолжительность периода нулевых завес на глубине 20–50 см составила 35 дней, на глубине 100 см – 55 дней. При этом продолжительность периода нулевых завес с температурами в отрицательном диапазоне ( $-0.1...0^{\circ}\text{C}$ ) обычно в 1.2–1.5 раза больше такового с положительными ( $0...+0.1^{\circ}\text{C}$ ) температурами.

В почвах кустарничковых тундр продолжительность периода нулевых завес обычно не превышает одного месяца. Почвы под кустарничковой тундрой характеризуются более длительным периодом осенне-зимних нулевых завес, продолжительность которых увеличивается с глубиной от одного до четырех месяцев. В тундровых почвах длительный осенне-зимний период около нулевых температур обычно сменяется периодом отрицательных температур по всему профилю, включая гор. CRM. Морфологические исследования показали, что средняя часть профиля автоморфных почв тундры и лесотундры во второй половине зимы находится либо в мерзлом, либо пластичном состоянии. При этом пластичное состояние гор. CRM больше характерно для почв кустарничковой тундры, тогда как в почвах кустарничковых формаций данные горизонты находятся в твердом морозном состоянии.

Средняя часть профиля почв отличается наименьшей льдистостью (табл. 3), характеризуясь отсутствием видимых ледяных включений в пластичном состоянии, либо редкими мелкими кристаллами и гнездами льда диаметром не более 1 мм в полностью замерзшем состоянии. Данные по низкой льдистости средней части профиля почв согласуются с результатами геокриологов, ранее исследовавших криогенное строение сезонно-мерзлого слоя в регионе ([Шаманова, 1964](#); [Бакулин, 1958](#)). В осенне-зимний период влага мигрирует к верхнему фронту промерзания, что способствует дополнительному иссушению средней части профиля, влажность которой приближается к уровню верхнего предела пластичности ([Шаманова, 1964a](#)). При этом в диапазоне температур от 0 до  $-1^{\circ}\text{C}$  суглинистые горизонты продолжают оставаться пластичными, т.к. в почве еще содержится значительное количество незамерзшей влаги ([Шаманова, 1964a](#)).

**Таблица 3.** Весовая влажность и криогенные текстуры исследуемых почв, %

Глубина керна, см	Почвенный горизонт	Криогенные текстуры	Глеезем криометаморфический (участок Сейда)	Глеезем криометаморфический (участок Воркута)
0–20	O+G	Слоистые	50	58
20–30	G/CRM1	Тонкослоистые	36	42
30–40	CRM	Массивные	23	29
40–45	CRM	»	17	23
45–55	CRM	»	18	18
55–65	CRM	»	Не опр.	18

**Роль зимнего температурного режима в функционировании криометаморфического горизонта.** В исследуемых почвах на глубине 20–30 см обычно фиксируется верхняя граница криометаморфического горизонта. Выше, в слое 0–20 см, в автоморфных почвах залегает торфяно-подстилочный и поверхностно-глеевый (в глееземах) горизонт. Таким образом, в целом толща криометаморфических горизонтов совпадает по глубине с современной зоной нулевых завес, наблюдаемых при сезонном промерзании почв.

В автоморфных суглинистых почвах экотонной полосы тундра–лесотундра криометаморфический горизонт морфологически выражен очень четко. К югу от этой полосы – в северной тайге – зимний температурный режим становится существенно мягче, а слой нулевых завес – маломощнее. К северу увеличивается скорость промерзания на фоне более сурового температурного режима (Каверин и др., 2016). Наши исследования также показали, что в почвах северных тундр криометаморфический горизонт имеет менее выраженную структуру, часто сильно оглеен, в почвообразующих породах признаки криометаморфического оструктурирования не наблюдаются.

В связи с вышесказанным, можно предположить, что одним из условий существования криометаморфического горизонта является длительный процесс осенне-зимнего промерзания почвы, характеризующийся установлением продолжительных около нулевых температур в первой половине зимы. При этом широкое распространение почв с криометаморфическим горизонтом, в том

числе в северной тайге, можно объяснить наличием упомянутых температурных условий не только в настоящем, но и в прошлом, когда климат был холоднее ([Андреичева и др., 2007](#)). В данной работе непосредственно не рассматривали механизм формирования криометаморфического горизонта, в связи с отсутствием данных по миграции влаги в гор. CRM перед промерзанием. Однако в геокриологических исследованиях отмечается, что формированию ячеистой и хлопьевидной структуры почвы способствует образование льда-цемента ([Втюрин, 1975](#)). При этом рост ячеистого льда-цемента может сменяться обрастанием льдом частиц при понижении температуры.

**Характеристика летнего и годового температурного режимов почв.** Сезонное оттаивание поверхностных горизонтов почв кустарничковой тундры начинается в первой половине мая. В кустарниковых тундрах в связи с более поздним сходом относительно мощного снежного покрова (100 см и более) этот период наблюдается на 2–4 недели позже. Средняя многолетняя дата установления устойчивых положительных среднесуточных температур воздуха и разрушения устойчивого снежного покрова – 27 мая. Оттаивание почвенных горизонтов связано с периодом прохождения нулевых завес, который значительно короче по сравнению с осенне-зимним. Наибольшая продолжительность весенних нулевых завес фиксируется в поверхностных (0–20 см) или глубоких горизонтах почвы (100 см). В криометаморфическом горизонте на глубине 50 см переход температуры через 0°C происходит достаточно быстро.

Самый теплый месяц в поверхностных горизонтах почвы – июль или август. Максимальные среднемесячные температуры в средней части профиля (50 см) наблюдаются только в августе, в нижних горизонтах (глубина 100 см) – в августе или сентябре. Диапазон сумм температур >0°C на глубине 0 см за период наблюдений во всех почвах составил 779–1404°C·дней. Диапазоны сумм положительных температур на поверхности почвы перекрываются лишь частично. Сравнивая группы почв кустарничковых и кустарниковых тундр, необходимо отметить, что участки под кустарничковой растительностью характеризуются меньшим нагревом поверхности почвы, что, очевидно, связано с большей затененностью их поверхности кустарничковой растительностью. На

глубине 20 см суммы положительных температур снижаются на 10–30% по сравнению с поверхностью. Максимальные суммы положительных температур на глубине 20 см зафиксированы в органо-криометаморфической почве участка Пышор. Однако в целом различия в “притоке” тепла на данной глубине между почвами двух рассматриваемых температурных групп практически отсутствуют. На глубине 50 см суммы положительных температур в почвах кустарниковых участков, наоборот, несколько больше, чем в кустарничковых. На глубине 1 м эта разница составляет уже 20–100%. Повышенные положительные температуры в нижних горизонтах почв кустарниковой тундры связаны с более глубоким залеганием кровли мерзлоты.

Общий диапазон среднегодовых температур на глубине 0, 20, 50 см в исследуемых почвах составил +3...–3°C (рис. 3). В самом “холодном” профиле участка Пышор в 2009–2011 гг. фиксировались отрицательные среднегодовые температуры. При этом в 2009–2010 гг. отрицательные среднегодовые температуры отмечены в пределах очень низких значений, около –3°C, что больше характерно для подгруппы холодных мерзлотных почв южной тундры (Каверин и др., 2014). Диапазоны среднегодовых температур для почв обеих рассматриваемых групп в целом перекрываются, однако в почвах кустарниковых тундр температуры несколько выше.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В сравнительном аспекте исследована специфика температурного режима криометаморфических почв и глееземов криометаморфических, формирующихся под кустарничковой и кустарниковой растительностью в зоне тундры и лесотундры европейского Северо-Востока. Различия по температурному режиму между почвами кустарничковых и кустарниковых тундр обусловлены разной интенсивностью снегонакопления в этих растительных ассоциациях. В условиях автоморфных южнотундровых ландшафтов под кустарничковой тундрой формируются сезоннопромерзающие (немерзлотные) почвы с относительно холодным температурным режимом. Под кустарниковой растительностью формируются почвы с наиболее мягким температурным режимом в тундре. Поч-

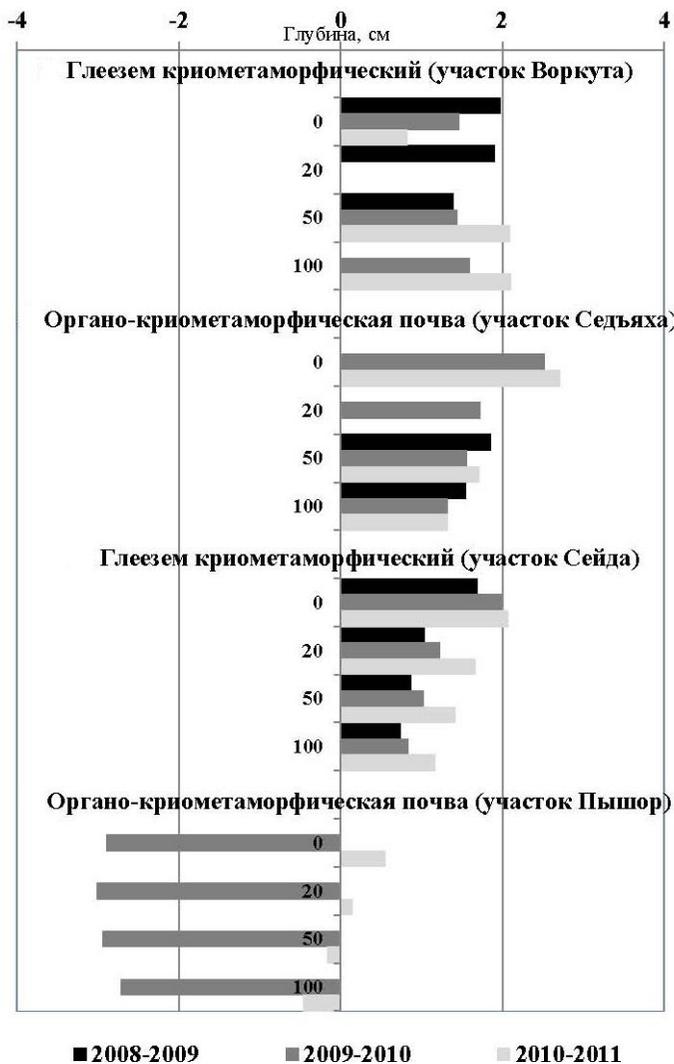


Рис. 3. Среднегодовая температура почв, °С.

вы кустарниковых тундр характеризуются очень продолжительным периодом нулевых завес, длительность которого возрастает с глубиной. При этом средние и нижние горизонты профиля замерзают не полностью, оставаясь в пластичном состоянии при температуре от 0 до  $-1^{\circ}\text{C}$ . Период нулевых завес в почвах кустарничко-

вых тундр обычно не превышает одного месяца. При полном замерзании средней части профиля этих почв формируются массивные криогенные текстуры в виде редких единичных включений льда.

В целом толща криометаморфических горизонтов совпадает по глубине с современной зоной нулевых завес, наблюдаемых при сезонном промерзании почв. В связи с этим можно предположить, что одним из условий сохранения и, возможно, формирования специфической крупитчато-угловатой структуры криометаморфического горизонта является длительный процесс осенне-зимнего промерзания почвы, характеризующийся установлением продолжительных около нулевых температур.

**Благодарность.** Работа выполнена при финансовой поддержке проектов РФФИ № 16-04-00749 “Кислотный профиль как базовый регулятор почвообразовательных процессов (на примере арктических экосистем), научного фонда США “The Circumpolar Active Layer Monitoring Network – CALM”.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. [Андреичева Л.Н., Голубева Ю.В., Марченко-Ваганова Т.И. Развитие природной среды и климата в голоцене на севере Европейской России.](#) Сыктывкар: Геопринт, 2007. 27 с.
2. Атлас Республики Коми по климату и гидрологии / Под ред. Таскаева А.И. М.: Дрофа. Дик, 1997. 115 с.
3. [Бакулин Ф.Г.](#) Льдистость и осадки при оттаивании многолетнемерзлых четвертичных отложений Воркутского района. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 96 с.
4. [Вторин Б.И.](#) Подземные льды СССР. М.: Наука, 1975. 214 с.
5. Геокриология СССР. Европейская территория СССР / Под ред. Ершова Э.Д. М.: Недра, 1988. 358 с.
6. [Елсаков В.В. Материалы спутниковых съемок в анализе значений хлорофилльного индекса тундровых фитоценозов](#) // Исследование земли из космоса. 2013. № 1. С. 60–70.
7. [Каверин Д.А., Пастухов А.В., Жангуров Е.В. Особенности температурного режима светлоземов северотаежных ландшафтов \(европейский Северо-Восток России\)](#) // Изв. Коми НЦ УрО РАН. 2016. № 1. С. 23–29.
8. [Каверин Д.А., Пастухов А.В., Мажитова Г.Г. Температурный режим тундровых почв и подстилающих многолетнемерзлых пород \(европейский Северо-Восток России\)](#) // Криосфера Земли. 2014. № 3. С. 23–32.
9. [Классификация и диагностика почв России.](#) Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
10. [Кононенко А.В.](#) Гидротермический режим таежных и тундровых почв Европейского Северо-Востока. Л.: Наука, 1986. 144 с.

11. Леса Республики Коми / Под ред. Козубова Г.М., Таскаева А.И. М., 1999. 332 с.
12. [Мажитова Г.Г. Температурные режимы почв в зоне несплошной многолетней мерзлоты европейского Северо-Востока России](#) // Почвоведение. 2008. №1. С. 54–67.
13. [Малкова Г.В., Павлов А.В., Скачков Ю.Б. Оценка устойчивости мерзлых толщ при современных изменениях климата](#) // Криосфера Земли. 2011. Т. XV. № 4. С. 33–36.
14. [Оберман Н.Г., Шеслер И.Г.](#) Современные и прогнозируемые изменения мерзлотных условий Европейского северо-востока Российской Федерации // Проблемы Севера и Арктики Российской Федерации. Науч.-информ. бюл. 2009. Вып. 9. С. 96–106.
15. [Пастухов А.В.](#) О генезисе и классификационном положении автоморфных почв на покровных суглинках в микроэкотоне тундра-лесотундра // Вестник СПбГУ. Сер. 3. Биология. 2008. № 3. С. 117–126.
16. [Полевой определитель почв России](#). М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 282 с.
17. [Тонконогов В.Д.](#) Автоморфное почвообразование в тундровой и таежной зонах Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнин. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2010. 304 с.
18. [Гыртыков А.П.](#) Влияние растительного покрова на промерзание и протаивание грунтов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1969. 192 с.
19. [Шаманова И.И.](#) Сезонное промерзание и протаивание грунтов центральной части Печорского угольного бассейна: Автореф. дис. ... к. г. н. М., 1964а. 21 с.
20. [Шаманова И.И.](#) Сезонное промерзание и протаивание почв и горных пород // Геокриологические условия Печорского угольного бассейна. Под ред. Бобова Н.Г., Братцева Л.А. М.: Наука, 1964б. С. 88–118.
21. [Harsch M.A., Hulme P.E., McGlone M.S., Duncan R.P.](#) Are treelines advancing? A global meta-analysis of treeline response to climate warming // Ecology Lett. 2009. V. 12. P. 1040–1049. [doi:10.1111/j.1461-0248.2009.01355.x](https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01355.x)
22. IPCC, 2014: [Climate Change 2014](#): Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Ed. Pachauri R.K., Meyer L.A. Geneva, Switzerland: IPCC, 2014. 151 p.
23. [Mazhitova G., Malkova G., Chestnykh O., Zamolodchikov D.](#) Active-layer spatial and temporal variability at European Russian circumpolar-active-layer-monitoring (CALM) sites // Permafrost and Periglacial Processes. 2004. V. 15(2). P. 123–139.
24. [Schuur E.A.G., Abbott B.W., Bowden W.B., Brovkin V., Camill P., Canadell J.P., Chapin F.S., Christensen T.R., Chanton J.P., Ciais P., Crill P.M., Crosby B.T., Czimczik C.I., Grosse G., Harden J., Hayes D.J., Hugelius G., Jastrow J.D., Kleinen T., Koven C.D., Krinner G., Kuhry P., Lawrence D.M., McGuire A.D., Natali S.M., O'Donnell J.A., Ping C.L., Rinke A., Riley W.J.,](#)

Romanovsky V.E., Sannel A.B.K., Schädel C., Schaefer K., Subin Z.M., Tarnocai C., Turetsky M., Waldrop M., Walter-Anthony K.M., Wickland K.P., Wilson C.J., Zimov S.A. [High risk of permafrost thaw](#) // Nature. 2011. V. 480. P. 32–33. doi:10.1038/480032a

## **THE SPECIFICITIES OF THE TEMPERATURE REGIME OF SEASONALY FREEZING SOILS OF TUNDRA LANDSCAPE OF EUROPEAN NORTH EAST OF RUSSIA**

**D. A. Kaverin, A. V. Pastukhov**

*Institute of Biology, Komi Science Center Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Kommunisticheskaya str., 28, Syktyvkar, 167982 Russia*

The specificities of temperature regime of automorphic clayey soils forming under the suffruticous and shrub vegetation within the zone of tundra and forest tundra in the European North-East were studied. As the objects of investigation we chose the organic cryometamorphic soils and cryometamorphic gleezems; in the both soil types the CRM cryometamorphic horizon is developed. The soils are formed in conditions of long-termed seasonal freezing at the absence (deep occurrence) of the permafrost rocks. The dynamics near the zero temperatures (zero curtains) is characterized. The hypothesis, concerning the role of zero curtains in the sustaining of the specific angular-grainy structure within the mass of cryometamorphic horizons is formulated. The mass of cryometamorphic horizons and the depth of present-day zero curtains, which observed at the long-term seasonal soil freezing, correlate to each other. The impact of suffruticous and shrub vegetation on the specificities of winter and summer soil temperature regime is determined. We discovered that the main differences between the soils developing under suffruticous and shrub vegetation tundras are stipulated by the different intensity of the snow accumulation within these areas. The soils that are developed under the shrub vegetation are warmer than soils developed under the suffruticous tundra, where permafrost may occur at the depth of 2–3 cm. In general, seasonally freezing tundra soils are located in the middle of the range of the automorphic clay loamy soils in the tundra-taiga ecotone of European North-East of Russia, and occupy the niche between permafrost tundra and non-permafrost north taiga soils.

*Keywords:* soil temperature regime, cryometamorphic horizon, zero curtains.

**Ссылки для цитирования:** Каверин Д.А., Пастухов А.В. Особенности температурного режима сезоннопромерзающих почв тундровых ландшафтов европейского Северо-Востока России // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2017. Вып. 87. С. 3-21. doi: 10.19047/0136-1694-2017-87-3-21

D.A. Kaverin, A.V. Pastukhov The Specificities of the Temperature Regime of Seasonally Freezing Soils of Tundra Landscape of European North East of Russia, Byulleten Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva, 2017, Vol. 87, pp. 3-21. doi: 10.19047/0136-1694-2017-87-3-21